

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2010

Т. 1

ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ

ч. 1

Сборник материалов
VI Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2010

УДК 528:528.9:622.1
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор, ректор СГГА, Новосибирск
А.П. Карпик

Кандидат технических наук,
директор Института геодезии и менеджмента СГГА, Новосибирск
С.В. Середович

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой картографии и геоинформатики СГГА, Новосибирск
Д.В. Лисицкий

Экс-президент Международной картографической ассоциации, вице-президент
Международного общества «Цифровая Земля», доктор наук, Чешская
Республика
Милан Конечны

Генеральный директор ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск
В.И. Обиденко

С26 ГЕО-Сибирь-2010. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография,
маркшейдерия. Ч. 1: сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-
2010», 19–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 213 с.

ISBN 978-5-87693-381-2 (т. 1, ч. 1)
ISBN 978-5-87693-371-3

В сборнике опубликованы материалы VI Международного научного
конгресса «ГЕО-Сибирь-2010» направления «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 978-5-87693-381-2 (т. 1, ч. 1) ©
ISBN 978-5-87693-371-3

ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Обиденко В.И. Совершенствование системы обеспечения территорий пространственными данными.....	8
Карпик А.П., Стефаненко Н.И. Оценка состояния арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС после аварии 17 августа 2009 года	16
Середович В.А., Куликова Л.Г., Антонович К.М., Новоевский В.Т., Куликов А.В., Сучков И.О. Развитие универсального метрологического геодезического комплекса академии	24
Гергардтов С.Г. Спутниковая система координатного обеспечения в границах мегаполиса.....	30
Ашраф А. Бешр, Рябова Н.М., Сальников В.Г., Рахимбердина М.Р. Исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на точность измерений цифровым нивелиром.....	33
Мусбех Р. Калуп, Хуэй Ли Анализ движения и повреждения моста на основе GPS-системы мониторинга.....	38
Ашраф А. Бешр, Р. Эхигиатор-Иругхе, Эхигиатор О.М. Анализ структурной деформации цилиндрических резервуаров для хранения нефти с использованием геодезических измерений	43
Хорошилов В.С. О развитии в геодезии идеи выбора понижающих коэффициентов для обоснования точности геодезических измерений	49
Тетерин Г.Н., Синянская М.Л. Феномен прямого угла и прямоугольности в геодезии.....	54
Телеганов Н.А. Один из методов решения линейной засечки на эллипсоиде в системе геодезических координат	58
Скрипникова М.А. Определение изгиба и крена стенок шлюзовой камеры	61
Скрипников В.А., Скрипникова М.А. К вопросу проектирования схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений.....	66
Пошивайло Я.Г., Радченко А.В., Чахлова А.П. Повышение информативности топографических планов путем применения растровых баз данных.....	69
Полещенков В.Н., Любимая Л.С. Совершенствование технологии обработки результатов измерений для создания геодезического обеспечения проектирования и строительства	75
Петухова Т.А. Системно-целевой подход к проектированию транслинейных сооружений	78
Малков А.Г. О совершенствовании методики измерений направлений способом круговых приемов	81
Лесных Н.Б., Егорова С.А. Свойства ошибок и поправок нивелирных и линейно-угловых сетей.....	85
Лесных Н.Б. Две ошибки проверки гипотезы отсутствия систематических влияний.....	91
Карев П.А., Калюжин В.А., Павлова А.И. О точности элементов	

приведения и центрирования в линейно-угловых геодезических построениях	97
Зверев Л.А. Методика выполнения полевого и камерального контролей при современной технологии крупномасштабной съемки	103
Егорова С.А. О законе распределения остаточных ошибок уравнивания.	108
Бударова В.А. Технология обработки результатов геодезического обеспечения 3D сейсморазведки на территориях месторождений нефти и газа	112
Боков М.А., Буренков Д.Б., Полянский А.В., Пупков Ю.И., Сердаков Л.Н., Мурзинцев П.П. Исследования точности измерения превышений лазерным трекером API Traker 3 в ИЯФ СО РАН	119
Басаргин А.А. Разработка методики цифрового моделирования деформаций и осадок фундаментов зданий и сооружений по результатам геодезических измерений	125
Барлиани А.Г. Модифицированный алгоритм Тихонова для решения вырожденных систем уравнений.....	130
Мизин В.Е. Проектирование полигонометрического хода методом моделирования.....	133
Мизин В.Е. Предрасчет точности координат полигонометрического хода для целей мониторинга земель линейных объектов.....	137
Скрипникова М.А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений.....	141
Дударев В.И. Преобразование основных систем координат, применяемых в космической геодезии	145
Дударев В.И. Классификация систем координат, применяемых в космической геодезии	154
Елагин А.В. Вычисление высот квазигеоида по коэффициентам глобальной модели гравитационного поля земли EGM2008	160
Суздаlev А.С. Математическое моделирование эволюции геофизического поля Земли по результатам обобщенного сферического гармонического анализа	163
Дементьев Ю.В. О редукциях силы тяжести.....	167
Маноенков А.В. Спектральный анализ годографов смещений точек земной поверхности	173
Дементьев Ю.В., Кулик Е.Н., Дергачева Е.В. Построение планетарной цифровой модели рельефа и ее приложения	179
Гуляев Ю.П., Павловская О.Г. Геодезическое выявление закономерностей реакции оползней на взрывы и разгрузку склонов.....	184
Воскобойникова Г.М. Автоматическое оценивание времен вступлений волн от сейсмических источников разной природы	188
Астраханцев В.Д. Определение динамики деформаций сооружения геометрическим нивелированием в сжатые сроки без использования осадочных марок	192
Седухина Г.Ф. Проблемы локации источника сейсмических волн с	

помощью малой сейсмической группы	196
Павловская О.Г. Оценка точности определения скорости оползня	202
Мазуров Б.Т., Некрасова О.И. Алгоритм аппроксимации гравитационного влияния конусообразных форм земного рельефа	205
Лобанова Т.В., Мазуров Б.Т., Ибатуллина Е.А., Дорогова И.Е., Дербенев К.В. Анимационное представление движений и деформаций на техногенном геодинамическом полигоне	211
Барлиани А.Г. Коррелятная версия уравнивания и оценки точности геодезических сетей по методу псевдонормального решения	214

CONTENTS

Obidenko V.I. Improvement of the system for the spatial dataware support of the territories	8
Karpik A.P., Stefanenko N.I. Assessment of the state of the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station arch-gravity dam after the disaster of august 17, 2009.....	16
Seredovich V.A., Kulikova L.G., Antonovich K.M., Novoevskiy V.T., Kulikov A.V., Suchkov I.O. The improvement of unique metrologic geodetic complex of Siberian state geodetic academy	24
Gergardtov S.G. GPS positioning within megapolis	30
Ashraf A. Beshr, Ryabova N.M., Salnikov V.G., Rahimberdina M.R. Studying the effect of vibration of «tripod –level» system on the measurements accuracy of digital levels.....	33
Mosbeh R. Kaloop, Hui Li Analysis of bridge movements and damage based on GPS monitoring technique	38
Ashraf A. Beshr, R.A. Ehigiator-Irughe, Ehigiator O.M. Structural deformation analysis of cylindrical oil storage tank using geodetic observations.....	43
Khoroshilov V.S. About development in a geodesy of idea of a choice of lowering factors for a substantiation of accuracy of geodetic measurements	49
Teterin G.N., Sinyanskaya M.L. The phenomenon of right angle and squareness in geodesy.....	54
Teleganov N.A. One of the methods for solving linear intersection on the ellipsoid in geodetic coordinate system	58
Skipnikova M.A. Determination of the lock chamber walls heeling and bend.	61
Skipnikov V.A., Skipnikova M.A. The problem of designing horizontal control network for monitoring of hydraulic structures horizontal displacements.	66
Poshivailo Ya.G., Radchenko A.V., Chakhlova A.P. Improvement of topographic plans informational content due to raster databases application.....	69
Poleshchenkov V.N., Lyubivaya L.S. Improvement of the techniques for processing measurement data to be used in geodetic support of design and construction	75
Petukhova T.A. Systems-target approach to translinear structures design	78
Malkov A.G. Improvement of the techniques for direction measurement by the method of rounds.....	81
Lesnykh N.B., Yegorova S.A. Errors and corrections properties in leveling- and linear-angular networks.....	85
Lesnykh N.B. Two errors of checking the hypothesis of systematic effect absence	91
Karev P.A., Kalyuzhin V.A., Pavlova A.I. Accuracy of reduction and centering elements in linear-and-angular geodetic networks	97
Zverev L.A. Field- and office control procedures with modern techniques of large-scale survey	103
Yegorova S.A. The law of residual adjustment error distribution	108

Budarova V.A. Technology of processing of results of geodetic maintenance 3D seismic prospecting in territories of oil fields and gas.....	112
Bokov M.A., Burenkov D.B., Polyansky A.V., Pupkov Yu.I., Serdakov L.N., Murzintsev P.P. Research of elevation measurement accuracy by laser tracker API Traker 3 at the institute of nuclear physics of the Siberian division of russian academy of sciences	119
Basargin A.A. Development of the methods for digital modeling of the deformations and settlements of buildings and structures foundations by the results of geodetic measurements	125
Barliani A.G. Modified Tikhonov algorithm for degenerated combined equations solution	130
Mizin V.Ye. Traverse designing by modeling	133
Mizin V.Ye. Predesign of a traverse coordinates accuracy for linear objects areas monitoring	137
Skripnikova M.A. Possibility of high-precision total station application for measuring engineering structures deformations	141
Dudarev V.I. Transformation of the basic coordinates systems applied in the space geodesy.....	145
Dudarev V.I. Classification of coordinates systems applied in the space geodesy	154
Yelagin A.V. Computation of quasigeoid heights by coefficients of global model of the gravitational field of Earth EGM2008.....	160
Suzdalev A.S. Mathematical simulation of the Earth geophysical field evolution by the results of generalised spherical harmonic analysis	163
Dementiev Yu.V. Gravity reductions.....	167
Manoenkov A.V. Spectrum analysis of hodographs curve displacement control points of land surface	173
Dementiev Yu.V., Kulik E.N., Dergacheva E.V. Global digital elevation model and applications.....	179
Gulyayev Yu.P., Pavlovskaya O.G. Geodetic detection of the regularity of the sliding reaction to the explosion and the slope discharge.....	184
Woskoboynikova G.M. Automatic estimation of the arrival times from seismic sources of the different nature.....	188
Astrahancev V.D. Rapid deformation dynamics of construction determination by geometrical leveling without settlement marks	192
Sedukhina G.F. Problems of location of seismic waves by a small seismic group	196
Pavlovskaya O.G. Sliding rate accuracy estimation	202
Mazurov B.T., Nekrasova O.I. Algorithm of approximation of gravity influence of cone-shaped forms of earthly relief	205
Lobanova T.V., Mazurov B.T., Ibatullina E.A., Dorogova I.E., Derbenev K.V. Animation of movement and deformations on a technogenic geodynamic ground.....	211
Barliani A.G. Correlation-adjustment and accuracy ranking of geodetic networks by pseudonormal solution	214

УДК 528

В.И. Обиденко

ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ

Рассмотрены вопросы совершенствования системы обеспечения территорий пространственными данными и функции органов государственного геодезического надзора, осуществляющего государственное регулирование в области геодезии и картографии и оказывающих государственные услуги по обеспечению потребителей пространственными данными. Представлена разработка ФГУП центр «Сибгеоинформ», позволяющая автоматизировать исполнение полномочий органами госгеонадзора и перевести оказываемые ими услуги по обеспечению потребителей пространственными данными в электронный вид. Предложен механизм для реализации положений Концепции по созданию Российской инфраструктуры пространственных данных в части класса базовых пространственных объектов «Геодезические сети».

V.I. Obidenko

Federal State Unitary Enterprise “Sibgeoinform” Centre, Novosibirsk

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM FOR THE SPATIAL DATAWARE SUPPORT OF THE TERRITORIES

The paper deals with the improvement of the system for the spatial dataware support of the territories and the functions of the state geodetic supervision bodies which are to regulate geodesy and mapping and render services on providing spatial data to the customers. The Federal State Unitary Enterprise “Sibgeoinform” Centre presents its project which enables automation of the state geodetic supervision bodies functions and computerization of their services in providing spatial data to the consumers. The mechanism offered by the centre is to realize the clauses of the concept on the establishment of the Russian spatial data infrastructure concerning the class of the basic spatial objects “Geodetic networks”.

Социально-экономическое развитие территории Российской Федерации зависит от многих факторов, среди которых наряду с наличием соответствующих природных и людских ресурсов, производственной и транспортной инфраструктурой важную роль занимает рациональное управление имеющимися ресурсами для достижения максимального экономического эффекта.

Одним из существенных факторов, влияющих на качество управления территориями и, в конечном итоге, на их социально-экономическое развитие

является обеспечение территорий достоверными и актуальными пространственными данными, которые важны для эффективных решений по управлению территориями. Поэтому принятая концепция развертывания инфраструктуры пространственных данных является своевременной и актуальной на современном этапе.

Выполнение геодезических работ и создание картографической продукции межведомственного назначения организует Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), которая, в соответствии с Положением о Службе [1], является федеральным органом исполнительной власти, в функции которой входит осуществление исполнительных, распорядительных, разрешительных, надзорных и иных функций в области геодезической и картографической деятельности, относящихся к ведению Российской Федерации, при этом вся создаваемая продукция помещается в федеральный картографо-геодезический фонд. Для своих собственных нужд выполняют геодезические и картографические работы с помещением их результатов в ведомственные картографо-геодезические фонды Минобороны, Минприроды, Минсельхоза, Минтранса, Минрегиона России [2].

Для обеспечения межведомственного взаимодействия, согласования стандартов качества и безопасности для потребителей вновь создаваемой продукции, доступности и возможности оперативного использования уже имеющихся пространственных данных необходимо государственное регулирование геодезической и картографической деятельности. В настоящее время задачи по лицензированию геодезической и картографической деятельности, учету и регистрации геодезических и картографических работ, выдаче разрешений на использование материалов и данных федерального картографо-геодезического фонда (ФКГФ), контролю качества выполняемых работ будут решать отделы геодезии и картографии в территориальных органах Росреестра, которые будут организованы в 81 субъекте РФ, вместо 20 территориальных управлений госгеонадзора.

Исполнение полномочий новых отделов направлено на исключение фактов дублирования при выполнении новых геодезических и картографических работ и обеспечение качества получаемых при этом материалов и данных, повышение степени доступности имеющихся в ФКГФ материалов, и, в конечном итоге, на обеспечение курируемой территории пространственными данными. Поэтому совершенствование деятельности вновь создаваемых структур является актуальным в современных условиях и может быть рассмотрено в следующих аспектах:

- 1) Оптимизация полномочий отделов геодезии и картографии с целью приведения действующих нормативных документов в соответствие с современным законодательством;

- 2) Совершенствование системы государственных услуг по обеспечению потребителей исходными пространственными данными.

Одним из наиболее актуальных направлений совершенствования в деятельности органов власти и управления по обеспечению геопространственными данными является переход на электронные носители. На государственном уровне в период за 2008–2010 гг. принят ряд решений, обязывающих федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления внедрять в практику своей деятельности информационные технологии для межведомственного информационного взаимодействия и оказания государственных и муниципальных услуг в электронном виде. Целью при этом является построение в Российской Федерации информационного общества, ускорение социально-экономического развития страны, снижение уровня коррупционности и повышение уровня жизни населения.

В связи с этим одним из наиболее актуальных направлений совершенствования деятельности отделов геодезии и картографии является переход на безбумажные технологии и электронный формат работы, информатизация и автоматизация деятельности.

С целью выработки научно обоснованного подхода к задаче автоматизации их деятельности рассмотрим основные полномочия и функции этих структурных подразделений Росреестра [1, 3, 4, 5] (табл. 1).

Таблица 1. Полномочия территориальных органов Росреестра в сфере геодезии и картографии

Номер пункта в Положении о ТО Росреестра	Вид и содержание полномочий территориального органа Росреестра в сфере геодезии и картографии
1	2
1.	Оказание государственных услуг в сфере: – геодезии и картографии; – наименований географических объектов; – навигационного обеспечения транспортного комплекса – (кроме вопросов аэронавигационного обслуживания пользователей воздушного пространства Российской Федерации). Функции: – государственный геодезический надзор; – государственный метрологический надзор в области геодезической и картографической деятельности
7.1.26	Осуществляет: выдачу в установленном порядке разрешения на пользование материалами и данными федерального картографо-геодезического фонда
7.1.27	регистрацию геодезических и картографических работ
7.1.28	лицензирование геодезической и картографической деятельности
7.1.29	выявление и предотвращение незаконной (без лицензий) геодезической и картографической деятельности
7.1.30	участие в качестве эксперта при рассмотрении дел о правонарушениях в области геодезии и картографии
7.1.31	подготовку в соответствии с законодательством Российской Федерации экспертных заключений о степени секретности геодезических и картографических материалов и данных

7.1.32	государственный геодезический надзор за геодезической и картографической деятельностью, передачей геодезических и картографических материалов и данных в картографо-геодезические фонды, а также за хранением и использованием этих материалов и данных
7.1.33	предоставление субъектам геодезической и картографической деятельности соответствующих сведений о геодезической и картографической изученности местности на участках планируемых работ
7.1.34	согласование в установленном порядке проектов положений о местных системах координат, хранение параметров перехода (ключей) от местной системы координат к государственной системе координат и каталогов (списков) координат геодезических пунктов в местной системе
7.1.35	представительство интересов Российской Федерации по делам, связанным с рассмотрением вопросов об исключительном праве на результаты интеллектуальной деятельности в области геодезии и картографии
7.1.36	надзор за правильным отображением государственной границы Российской Федерации и территории Российской Федерации
7.1.37	учет геодезических пунктов
7.1.38	ведение дежурной справочной карты с отображением на ней изменений границ между субъектами Российской Федерации, границ муниципальных образований, а также изменений местности, положения географических объектов и их наименований
7.3.3	Организует: подготовку землеустроительной документации для делимитации и демаркации государственной границы Российской Федерации, а также землеустроительной документации для установления границ между субъектами Российской Федерации, границ муниципальных образований
7.3.4	создание в пределах своей компетенции картографической и геодезической основы государственного кадастра недвижимости
8.6	Имеет право: проверять соблюдение организациями порядка учета, хранения, размножения и использования данных и материалов, полученных в результате проведения геодезических и картографических работ, выполнение мероприятий по защите этих материалов и данных от несанкционированного доступа
8.7	привлекать в установленном порядке специалистов других организаций (по согласованию с их руководителями) для приемки геодезических и картографических работ и проведения проверок, связанных с осуществлением государственного геодезического надзора

На основе анализа основных полномочий единых территориальных органов Росреестра в сфере геодезии и картографии можно разделить их на несколько целевых групп (рис. 1).

Рассмотрим более детально одну из сформированных выше целевых групп полномочий и функций территориальных органов Росреестра в сфере геодезии и картографии – «Геодезические сети».

Группа полномочий «Геодезические сети» включает в себя учетно-регистрационные функции территориальных органов Росреестра по учету пунктов государственных геодезических сетей на территории курируемого субъекта Российской Федерации, надзорные функции в части охраны

геодезических пунктов, а также оказание государственной услуги по предоставлению координат и высот пунктов геодезических сетей потребителям – субъектам геодезической деятельности. В табл. 2 приведено основное содержание полномочий этой группы [1, 3, 4, 5].



Рис. 1. Схема полномочий единого территориального органа Росреестра (ЕТОР) в сфере геодезии и картографии

Таблица 2. Группа полномочий «Геодезические сети»

Содержание полномочий	Ссылка на пункт руководящего нормативного документа
учет геодезических пунктов	[4], 7.1.37
учет пунктов государственной геодезической сети и осуществление сбора сведений об их сохранности	[5], 16
астрономо-геодезические, геодезические, нивелирные и гравиметрические пункты, наземные знаки и центры этих пунктов (далее – геодезические пункты), в том числе размещенные на световых маяках, навигационных знаках и других инженерных конструкциях и построенные за счет средств федерального бюджета относятся к федеральной собственности и находятся под охраной государства	[3], Ст 16, п. 1

Объем и трудоемкость работ, выполняемых отдельным территориальным Управлением Росреестра по исполнению данной группы полномочий, в настоящее время определяется количеством пунктов государственных геодезических сетей (ГГС), расположенных на курируемой территории, и применяемой технологией выполнения работ.

Государственная геодезическая сеть, созданная по состоянию на эпоху 1995 г., состоит из 26 пунктов космической геодезической сети, 131 пункта доплеровской геодезической сети, 164306 пунктов астрономо-геодезической сети 1–2 классов, около 300000 пунктов ГГС 3–4 классов.

Таким образом, число пунктов классных геодезических построений составляет около 464000, или на один ЕТОР после их создания в каждом

субъекте Российской Федерации (общим количеством 81 офис) будет приходиться, в среднем, 5700 пунктов. Для крупных по площади субъектов РФ – Республика Саха (Якутия) и Красноярский край – число пунктов соответственно составляет 55 000 и 35 000.

К числу вышеуказанных пунктов геодезических сетей следует добавить реперы нивелирования I–IV классов, сети сгущения (сети полигонометрии и триангуляции 1–2 разрядов), пункты спутниковых геодезических сетей (ФАГС, ВГС, СГС-1), пункты опорных межевых сетей, пункты планируемых к развитию дифференциальных спутниковых станций.

Общее количество пунктов различных геодезических построений на территории России может составить более одного миллиона пунктов.

При этом следует иметь ввиду, что каждый геодезический пункт, подлежащий учету и охране, помимо главной информации о нем (название, 2 плановые координаты и высота над уровнем моря в государственной системе координат и высот), сопровождается дополнительной и вспомогательной информацией: координаты и высота пункта в местных системах координат и высот, класс пункта, тип центра и наружного знака, номер и название объекта работ, по которому данный пункт был заложен и определен и т.д. Важно также, что геодезические пункты имеют координаты в разных системах координат (СК): обязательно в СК 1942 г. и в СК 1995 г. и, кроме того, в системе координат 1963г. и местных системах координат.

Таким образом, основным источником трудоемкости работ отделов геодезии и картографии при исполнении полномочий из группы «Геодезические сети» является большое количество (от нескольких десятков до сотни тысяч) пунктов геодезических построений различных порядков на курируемой территории, значительное количество информации по каждому пункту, а также, в основном, аналоговая форма представления необходимой информации о геодезических пунктах.

Для снижения трудоемкости работ по исполнению полномочий в области геодезических сетей специалистами Управлений геодезии и картографии (УГК) бывшей Роскартографии Федеральным государственным унитарным предприятием (ФГУП) центр «Сибгеоинформ» в период за 2003–2009 гг. разработано автоматизированное рабочее место инспектора государственного геодезического надзора (АРМ УГК), одна из подсистем которого называется «Работа с материалами и данными геодезического фонда», она решает задачу по переводу процесса работ с геодезическими сетями в электронный формат [6]. В данной подсистеме АРМ УГК для всех 20 действовавших в структуре Роскартографии УГК сформированы и заполнены электронные базы данных по государственным геодезическим сетям 1–4 классов на всю территорию России и разработан необходимый инструментарий для ведения этой работы в компьютерном виде, что стало существенным шагом в автоматизации деятельности органов государственного геодезического надзора и значительно повысило их возможности оперативно, не прибегая к помощи бумажных фолиантов изданных каталогов координат пунктов ГГС, удовлетворять заявки потребителей о предоставлении сведений по пунктам ГГС.

Однако для полной автоматизации этой работы необходимо информационное наполнение электронной базы данных подсистемы АРМ УГК «Работа с материалами и данными геодезического фонда» сведениями по всем видам геодезических построений, включая нивелирные сети I–IV классов, сети сгущения 1–2 разряда, опорные межевые сети, специальные сети.

Кроме того, с целью полного перевода деятельности Госгеонадзора на компьютерные технологии необходимо разработать соответствующие модули АРМ УГК для обеспечения его связи по сетям общего пользования в рамках единой информационно-коммуникационной среды с порталом Росреестра и потенциальными потребителями его услуг.

Реализация задачи по вводу в электронный банк данных АРМ УГК недостающей информации по всем видам геодезических построений, а также разработка его опций для обмена информацией по сети Интернет позволит впервые сформировать единый информационный ресурс о пунктах геодезических, нивелирных и специальных сетей на территорию России, полностью автоматизировать процесс исполнения органом государственного геодезического надзора полномочий в группе «Геодезические сети», перейти на оказание этой услуги потребителям в электронный вид.

Сформированные в ФГУП центр «Сибгеоинформ» в данной подсистеме АРМ УГК в рамках планируемых в 2010 г. работ в каждом ЕТОР (в 81 субъекте Российской Федерации) электронные банки данных координат геодезических пунктов (около 500000 пунктов) фактически могут являться основой для формирования класса **базовых пространственных объектов** Российской инфраструктуры пространственных данных (РИПД) под условным названием «Геодезические пункты», а объединенные территориальные Управления Росреестра на начальном этапе формирования организационной структуры РИПД могут стать одним из ее компонентов, а именно: организациями, «...обеспечивающими накопление, обработку, хранение и предоставление...» сведений о пунктах ГГС в качестве «...групп базовых пространственных данных и метаданных...» о них. Такой подход полностью соответствует принципам, заложенным в «Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 21 августа 2006 г. № 1157-р, в том числе следующим ее положениям:

- Максимальное использование уже созданных в Российской Федерации пространственных данных и баз таких данных;
- Система сбора, обработки, хранения и предоставления потребителям пространственных данных должна быть территориально распределенной;
- На начальном этапе организационную структуру РИПД предлагается формировать из организаций, находящихся в ведении федеральных органов исполнительной власти и занимающихся созданием и ведением баз пространственных данных.

Таким образом, эффективное обеспечение территорий пространственными данными в настоящее время возможно не только за счет создания новых наборов таких данных, но и за счет правильной организации инфраструктуры

уже имеющихся пространственных данных на основе компьютерных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 01 июня 2009 г. № 457 «О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии».
2. Яблонский, Л.И. Предложения по концептуальным основам развития отрасли геодезии и картографии [Текст] / Л.И. Яблонский // Геодезия и картография. – 2009. – №9. – С. 2–9.
3. Федеральный закон от 26.01.1995 г. № 209-ФЗ «О геодезии и картографии» (в ред. Федеральных законов от 10.01.2003 № 13-ФЗ, от 10.01.2003 № 15-ФЗ, от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 03.06.2005 № 57-ФЗ, от 18.12.2006 № 231-ФЗ, от 26.06.2007 № 118-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, от 30.12.2008 № 313-ФЗ).
4. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 05.10.2009 г. № 395 «Об утверждении типового положения о территориальном органе федеральной службы государственной регистрации и картографии».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 марта 2000 г. № 273 «Об утверждении положения о государственном геодезическом надзоре за геодезической и картографической деятельностью» (в ред. Постановлений Правительства РФ от 17.03.2005 №134 и от 14.12.2006 №767).
6. Обиденко, В.И. Автоматизация деятельности территориальных органов государственного геодезического надзора. На пути к построению информационного общества [Текст] / В.И.Обиденко, С.П. Нефедов // Геодезия и картография. – 2009. – №9. – С. 51–57.

© В.И. Обиденко, 2010

УДК 528.2

А.П. Картик

СГГА, Новосибирск

Н.И. Стефаненко

Филиал ОАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С.

Непорожнего», Саяногорск

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АРОЧНО-ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПОСЛЕ АВАРИИ 17 АВГУСТА 2009 ГОДА

A.P. Karpik

SSGA, Novosibirsk

N.I. Stefanenko

The branch of the public corporation “RusGidro” – P.S. Neporozhny “Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Station”, Sayanogorsk

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE SAYANO-SHUSHENSKAYA HYDROELECTIC POWER STATION ARCH-GRAVITY DAM AFTER THE DISASTER OF AUGUST 17, 2009

Введение

Саяно-Шушенская арочно-гравитационная плотина возведена на многоводной реке Енисей и является одной из крупнейших в мире. Максимальная высота плотины достигает 242м, длина по гребню 1074м, ширина по гребню и основанию 25 и 106 м соответственно. Полная емкость водохранилища – 31,3км³, полезная - 15,3км³. Установленная мощность ГЭС при расчетном напоре 194 м составляет 6400 МВт. Максимальный сбросной расход воды через эксплуатационный водосброс и гидроагрегаты составляет 13300м³/с.

Саяно-Шушенская ГЭС возводилась в период с 1972 по 1989 годы. Несовершенство расчетных методов того времени и отличное от проектного возведение плотины привело в процессе наполнения водохранилища к перегрузке первых столбов и увеличению зоны растягивающих напряжений, что в свою очередь привело к образованию трещин в бетоне напорной грани и разуплотнению в основании. Фильтрационный расход к 1995 году составлял 549л/с в скальном основании плотины и 458л/с - через бетон. Проведенные ремонтные работы в период с 1996 по 2004 годы в бетоне напорной грани и основании позволили подавить интенсивную фильтрацию, дополнительно обжечь бетон нижней части плотины и в целом улучшить напряженно-деформированное состояние плотины. К моменту аварии состояния арочно-гравитационной плотины оценивалось как исправное (нормальный уровень безопасности).

Авария 17 августа 2009 года

17 августа 2009г. в 8 часов 13 минут 14 секунд местного времени произошел полный сброс нагрузки Саяно-Шушенской ГЭС с потерей собственных нужд.

В ходе аварии произошло полное разрушение строительных конструкций, относящихся к зданию ГЭС, типа МАРХИ на участке от ГА-2 до ГА-4. Полностью разрушена колонна подкрановой эстакады, расположенная напротив ГА2 с отметки 327 м по отметку 341 м.

На ГА-2, ГА-7 полностью обрушено монолитное перекрытие машинного зала на отметке 327 м с поддерживающими его колоннами. На ГА-9 монолитное перекрытие, не имея опоры на колонны на отметке 320 м, начало опускаться и получило деформации, несовместимые с дальнейшей эксплуатацией. На ГА-2, ГА-7, ГА-9 произошло полное разрушение кольцевой стены генератора. На других гидроагрегатах конструкции получили повреждения различной степени тяжести. Все несущие строительные конструкции машинного зала претерпели непроектное воздействие потоком воды

По визуальным наблюдениям наибольшие повреждения здания ГЭС отмечаются на отметках 327 и 320 м. На отметке 315 разрушения зафиксированы существенно меньше, на отм. 305 м. повреждений фундаментов и конструкций практически не зафиксировано.

Состояния плотины после аварии

На момент аварии УВБ Саяно-Шушенского водохранилища составлял 537.1 м. С 18 по 26 августа наблюдался небольшой рост уровня верхнего бьефа и как следствие увеличение наклонов плотины в нижний бьеф максимально до 1.5 мм. Перемещения гребня плотины в секции 33 на 26 августа 2009 года при УВБ равном 537.6 м составили 126.9 мм при максимально наблюдаемых в 2006 году 142 мм. Суммарный расход по основанию и берегам составил 81.8 л/сек. В отремонтированной зоне бетона между отметками 332-359 м фильтрационный расход, составил 3.3 л/сек. Измеренные показатели не превысили соответствующие значения для аналогичной отметки уровня верхнего бьефа предыдущих лет. Новых очагов фильтрации и роста расходов через напорный фронт плотины и основание после аварии не зафиксировано.

После откачки воды из здания ГЭС 27 августа были проведены замеры по трехосным щелемерам, расположенным на межблочных швах, между агрегатными блоками здания ГЭС на отметке 306м, и выполнен цикл наблюдений по продольному гидростатическому нивелиру.

По данным измерений трехосных щелемеров дополнительных раскрытий, выходящих за пределы сезонных изменений, фиксируемых на протяжении многих лет, не отмечено.

Характер эпюры и величины, полученные из измерений вертикальных перемещений марок продольного гидростатического нивелира идентичны эпюрам, полученным ранее при аналогичном УВБ, что говорит об отсутствии деформаций фундаментов массивной части агрегатных блоков (рис. 1).

В после аварийном периоде, система «плотина-основание» Саяно-Шушенской ГЭС по-прежнему находится в нормальном эксплуатационном

состоянии, ни один из критериальных показателей, установленных Декларацией безопасности, не приблизился к первому предупреждающему критерию. Изменения контролируемых показателей после аварии соответствуют изменению гидростатической нагрузки и температурным воздействиям на плотину.

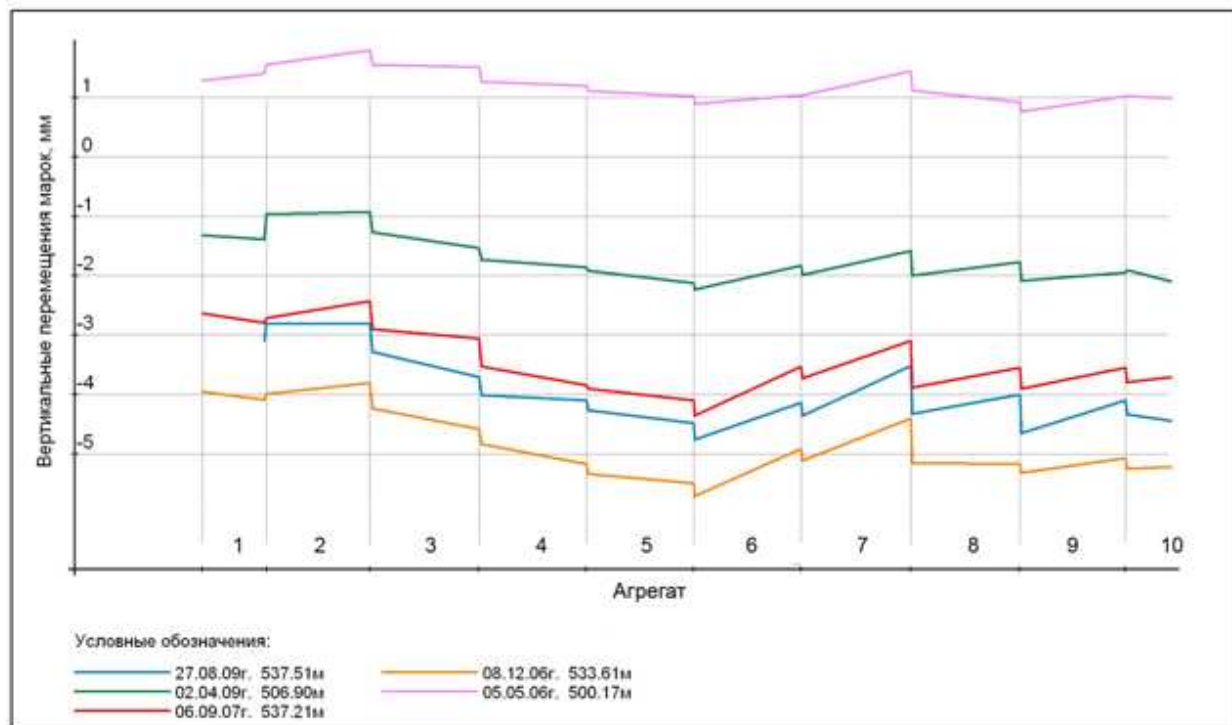


Рис. 1. Вертикальные перемещения фундаментов агрегатных блоков здания ГЭС на отметке 306 м по данным продольного гидростатического нивелира

К некоторым вопросам о возможных причинах аварии

В различных научно-технических журналах и средствах массовой информации высказываются версии возможных причин аварии произошедшей на Саяно-Шушенской ГЭС. Рассмотрим две из них, а именно:

1. О возможности передачи усилия от плотины на сооружения машинного зала [1];
2. О предельных вибрациях гидроагрегата №2 якобы фиксируемых перед аварией.

По первому вопросу. Саяно-Шушенская плотина имеет достаточно большие перемещения, максимальная величина которых фиксируется на гребне. За период с 1990 по 2009 годы необратимые перемещение секции 18 составили 45 мм, при максимально наблюдаемых 106.7 мм. Но следует отметить, что на отметке гребня плотина не передает нагрузку зданию ГЭС, а может «толкать» только воздух. Плотина и здание ГЭС контактируют на двести с лишним метров ниже, через анкерные опоры турбинных водоводов, а на отметке 359 м необратимые смещения секции 18 составляют только 7 мм. Нельзя не учитывать, что гидроагрегаты № 9-10 расположены в секциях 32 и 34

соответственно, где наблюдаются максимальные смещения плотины в нижний бьеф в отличие от гидроагрегата №2. Поэтому вероятность передачи нагрузки от плотины на гидроагрегат №9,10 будет в два и более раза больше чем на гидроагрегат №2 из-за больших перемещений (рис. 2).

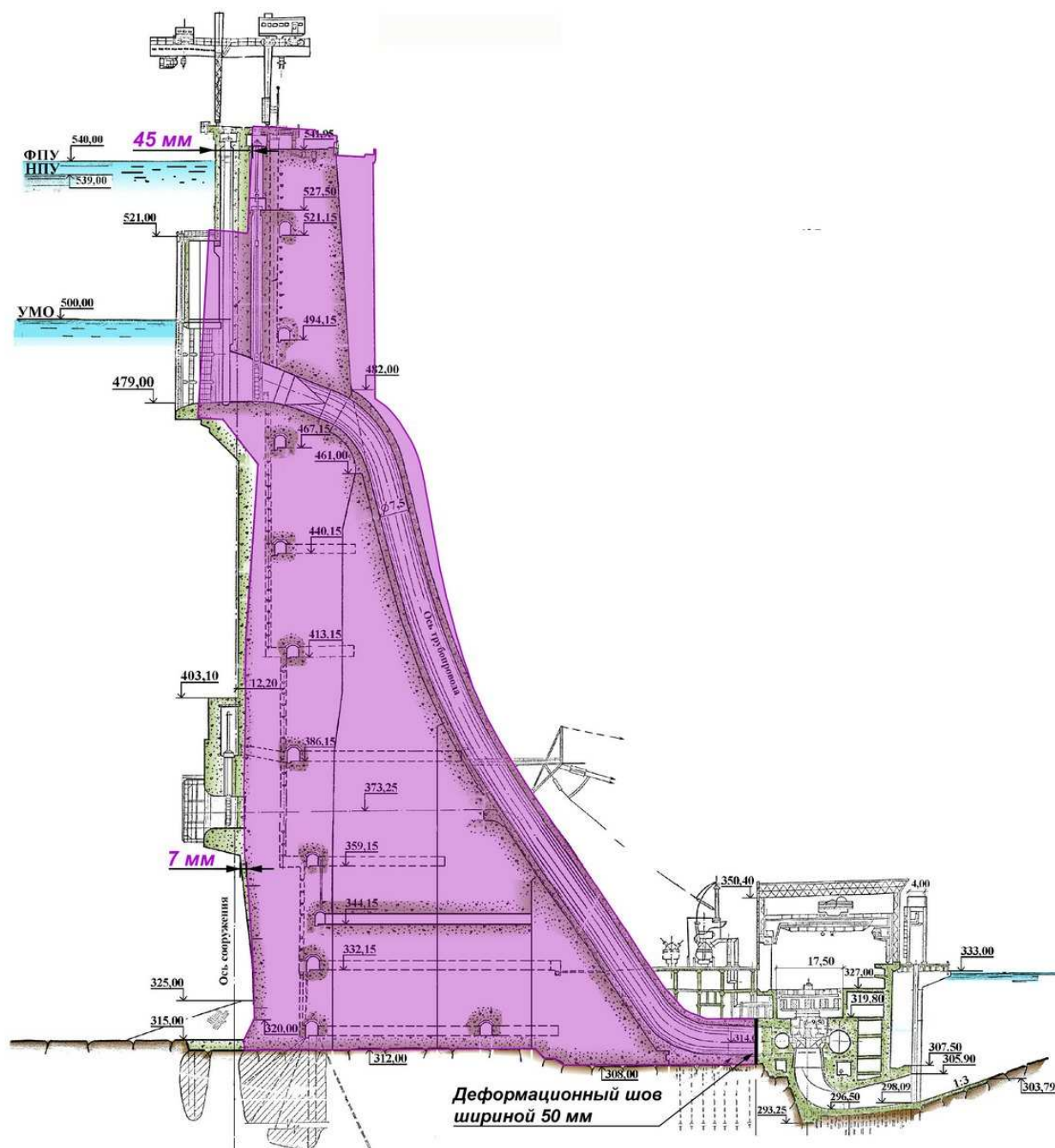


Рис. 2. Необратимые перемещения плотины в секции 18

Отмечается, что необратимые перемещения в основании плотины фиксировались с самого начала заполнения водохранилища и до 1990 года - года проектного наполнения до НПУ, равного 540 м (после ремонта бетона напорной грани НПУ установили равным 539 м). В основании плотины секции 18, где расположен гидроагрегат №2, разрушение которого и привело к катастрофе 17августа, деформации на отметке 310 м. составляли около 12 мм, за период с 1982 по 1989 год. Но за период нормальной эксплуатации (с 1990 по

2010 года) необратимых деформаций основания на отметки 310 м., в зоне расположения фундаментов гидроагрегатов не зафиксировано (рис. 3.). Отсутствуют также и необратимые закрытия деформационного шва отделяющего плотину от здания ГЭС. Конструкция сопряжения анкерной опоры и агрегатного блока Саяно-Шушенской ГЭС предполагает достаточно большие взаимные смещения этих конструкций. Деформационный шов шириной 50мм и мягкая прокладка толщиной 50мм, отделяющая конический участок трубопровода длиной 11м, специально предусмотрены в проекте напорного тракта. Эти конструктивные решения позволяют избежать взаимодействия бетонных массивных конструкций (плотины и здания ГЭС) и передачу между ними неконтролируемой нагрузки. Конический участок металлической оболочки длиной 11 метров играет роль упругого-пластического элемента, компенсирующего взаимные продольные, поперечные и угловые перемещения бетонных блоков. По данным трехосных щелемеров, сезонный размах раскрытия шва составляет около 2.5 мм, необратимых закрытий шва за 15 лет наблюдений не установлено.

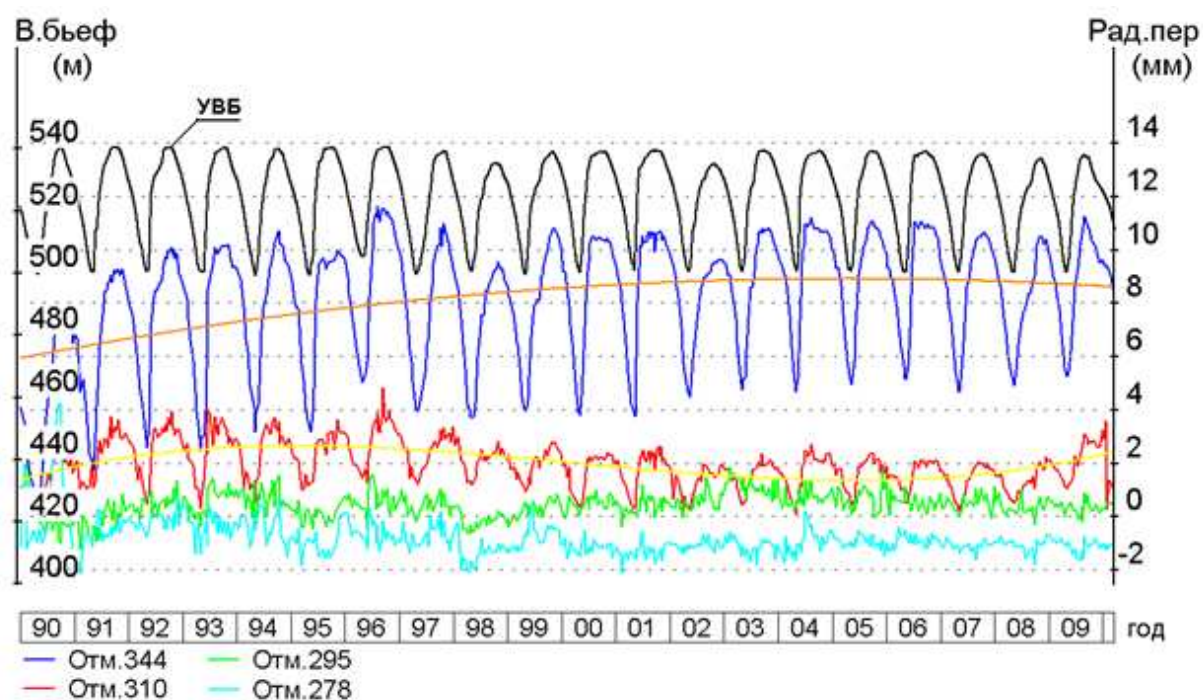


Рис. 3. Перемещения в основании секции 18 измеренные по обратным отвесам

Из вышеизложенного следует, что необратимые деформации плотины не могли явиться причиной аварии произошедшей на СШГЭС 17августа 2009года.

По второму вопросу. Вопросам оценки сейсмической обстановки в районе гидроузла на СШГЭС уделяется достаточно большое внимание. Для ведения непрерывного режима сейсмической обстановки в 1990 году введена в работу сейсмологическая станция п. «Черемушки», где по договору с СШГЭС Геофизическая служба СО РАН г. Новосибирска ведет непрерывный мониторинг сейсмической обстановки в районе гидроузла. На плотине функционирует автоматизированный сейсмометрический комплекс, который

работает в ждущем режиме, но имеет «предзапись». Комплекс включается на регистрацию сейсмособытия после возникновения сигнала с определенными (запускающими) параметрами, но при этом происходит и запоминание показаний сейсмометров в течение предшествующих 20 секунд.

17 августа 2009 года автоматизированным сейсмокомплексом (данные были расшифрованы после аварии) было зарегистрировано динамическое воздействие на плотину, возникшее в результате аварии в здании ГЭС (рис. 4).

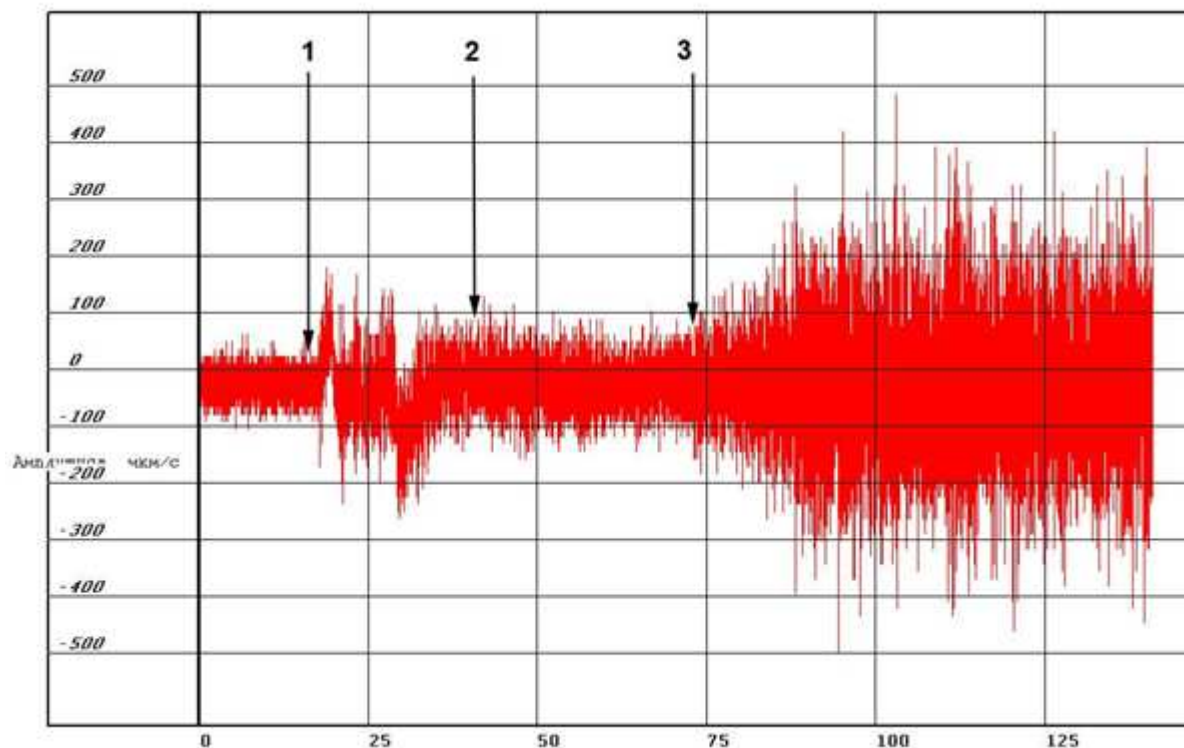


Рис. 4. Сейсмограмма динамического воздействия на Саяно-Шушенскую плотину (секция 33, отметка 344 м)

В момент аварии реакция плотины на выброс и удар ротора о конструкции машинного зала явилась запускающим импульсом для сейсмокомплекса, и в течение 17,7 секунд до возникновения динамического воздействия регистрировались фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

Последующие показания сейсмометра можно интерпретировать следующим образом:

- В течение последующих 32,5 секунд зарегистрированы затухающие низкочастотные колебания с периодом около 4,5 секунд и максимальной амплитудой 125 мкм, которые явились следствием выброса и падения ротора гидроагрегата №2;
- Далее в течение 74 секунд происходили полихромные колебания с периодом от 0,05 до 0,18 секунд с максимальной амплитудой до 120 мкм;
- Вызванные разрушительным воздействием на конструкции здания ГЭС потока воды из рабочей камеры ГА-2;

– С этого момента и до конца записи зарегистрированы нарастающие по амплитуде колебания с периодом от 0,07 до 0,15 секунд и максимальной амплитудой до 450 мкм, вызванные воздействием ГА-7 и ГА-9, вращающихся в угонном режиме.

Опыт эксплуатации сейсмокомплекса показал возможность регистрации сейсмометрическими датчиками, установленными в теле плотины, ее реакции (в диапазоне колебаний от 0.5 до 20 Гц) на различные режимы работы гидроагрегатов: при их запуске, останове и переходе из зоны в зону. В связи с этим можно констатировать, что 17-го августа в течение 17.7 секунд, предшествующих аварии, сейсмокомплексом, были зафиксированы только фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

Авария возникла в результате срыва крышки турбинного блока из-за разрушения крепления шпилек произошел вертикальный выброс турбины гидроагрегата № 2 с находящимся на ее валу ротором генератора, разрушение здания ГЭС и его затопление. Все 9 турбин были остановлены (ГА-6 находился в нерабочем состоянии из-за ремонта), и весь расход реки Енисей пошел через водосбросную плотину.

На IV Всероссийском совещании гидроэнергетиков, которое проходило в Москве 25-27 февраля, Главный инженер ОАО «Ленгидропроект» Борис Николаевич Юркевич на заключительном пленарном заседании сказал: «Особенность этой аварии, которая очень сильно психологически довлела над всеми нами, в том, что она произошла в штатных условиях. Она произошла, когда все работало исправно, выполнялись регламенты по ремонту, выполнялись требования по эксплуатации. Никто ничего не нарушил, станция полностью соответствовала всем нормам и требованиям, эксплуатационный персонал выполнял все предписанные регламенты. И, тем не менее, это произошло.

Это дало нам повод говорить о том, что авария носила системный характер. Системный в том плане, что это нарушение взаимодействия с основными частями некоего единого целого, под которым подразумевается вся наша отрасль, гидроэнергетика. Речь идет о том, что в нашей отрасли разрушились взаимосвязи, которые были, если не оптимальными, но в предыдущие годы, лет 30 назад, они существовали. Разрушились взаимосвязи, будем говорить, продуктивные, положительные взаимосвязи между службами эксплуатации, проектировщиками, научными организациями, службами, которые контролируют финансовые потоки. Это все в целом мы называем разбалансированием системы. Это и привело к тому, что произошло. Если говорить о технических причинах, об этих шпильках, то та система не должна была допустить того, чтобы на шпильке висели 75 жизней и разрушение целой станции».

Полностью присоединяюсь к тому, что было сказано на совещании Б.Н. Юркевичем по поводу причин аварии. Считаем, что именно таким образом и надо расценивать данную аварию и задача которая должна ставиться перед

эксплуатационным персоналом, проектными организации состоит в том, чтобы полностью реконструировать всю систему (в сфере НТД, проектирования, мониторинга и оценки состояния и т.д.) а не ограничиться только тем, чтобы ликвидировать возможность повторения конкретно данной аварии на сооружениях.

Выводы:

1. Анализ результатов натурных наблюдений показывает, что деформации плотины не могли явиться причиной аварии;
2. До возникновения динамического воздействия в течение 17,7 секунд с начала записи имели место только фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тетельмин В.В. Анализ необратимых процессов в створе плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство, 2010. № 2.

© А.П. Картик, Н.И. Стефаненко, 2010

УДК [006:528] + 378

В.А. Середович, Л.Г. Куликова, К.М. Антонович,

В.Т. Новоевский, А.В. Куликов, И.О. Сучков

СГГА, Новосибирск

РАЗВИТИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АКАДЕМИИ

Дается описание деятельности метрологической службы СГГА, обеспечивающей исследования, разработку, испытания и внедрение современных методов и эталонных средств измерений топографо-геодезического назначения.

V.A. Seredovich, L.G. Kulikova, K.M. Antonovich, V.T. Novoevskiy, A.V. Kulikov, I.O. Suchkov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE IMPROVEMENT OF UNIQUE METROLOGIC GEODETIC COMPLEX OF SIBERIAN STATE GEODETIC ACADEMY

The SSGA metrological service activities which ensure the investigations, developments, verification and use of the various methods and etalon measuring instruments for geodetic and surveying purposes are considered.

Точность средств измерений (СИ) при проведении топографо-геодезических работ определяет качество и производительность измерений. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие СИ, обусловленное прогрессом в компьютерной технике (автоматизация), информационных технологиях, средствах связи в геодезии и других областях техники. В картографии, архитектуре, строительстве и навигации широко используются тахеометры, нивелиры, лазерные сканеры, приемники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и другие автоматизированные средства измерений. Это вызывает необходимость совершенствовать методы оценки точности используемых СИ для обеспечения единства измерения в различных местах и условиях. Закон об обеспечении единства измерения устанавливает обязательную сертификацию СИ при выполнении топографо-геодезических работ. Учитывая тенденции развития СИ, необходимость выполнять научные исследования в этом направлении, в 1996 г. был создан Центр метрологической службы СГГА. Он был призван обеспечить правильность и точность используемых СИ, как в учебных целях, так и в научных исследованиях. Метрологическая служба СГГА решает на своем уровне проблему обеспечения системы единства измерений (СОЕИ), действуя в рамках Федерального закона

от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», который заменил собой Закон РФ от 27 апреля 1993 г. № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений». СОЕИ является важнейшим условием социально-экономического развития страны, обеспечения безопасности граждан, общества и государства, повышения качества и конкурентоспособности товаров, работ и услуг, научно-технического прогресса, она необходима для осуществления государственного контроля и оценки соответствия продукции установленным требованиям, создает основу для честной торговли на внутреннем и международном рынках.

За прошедшие годы метрологическая служба СГГА превратилась в современный научно-исследовательский центр, обеспечивающий исследования, разработку, испытания, внедрение современных методов и эталонных средств измерений, автоматизированных контрольно-измерительных лазерных систем и комплексов. Служба производит метрологическое обеспечение геодезических средств измерений, их разработку и утверждение в установленном порядке; поверку и ремонт практически любых СИ топографо-геодезического назначения. Подтверждением этого служит государственный сертификат аккредитации службы на право проведения метрологической аттестации СИ, лицензия на ремонт СИ, а также диплом и золотая медаль Сибирской Ярмарки за разработку и создание эталонного комплекса и нормативных документов государственного статуса по метрологическому обеспечению геодезических СИ (рис. 1, 2).



Рис. 1. Дипломы, сертификаты и лицензии метрологической службы СГГА

Уникальностью метрологического геодезического комплекса (УМГК) СГГА является его специальная многофункциональность, которая характеризуется тремя отраслями:

– Образовательной - учебные и практические мероприятия по подготовке и переподготовке кадров с целью освоения новых приборов и технологий. Ежегодно при измерении базиса и полигона проходят практику 15-20 студентов, 5-10 студентов участвуют в проведении исследований геодезических приборов на базисе и полигоне в рамках НИР, 3-5 студентов проходят дипломное проектирование, 3-5 аспирантов и соискателей защищают кандидатские и докторские диссертации;

– Научной - экспериментальные исследования новых технологий и методов решения научных и прикладных задач современной четырехмерной пространственно-временной геодезии (спутниковых геодезических измерений, наземных топографических съёмок, цифрового геометрического нивелирования, разработка принципов построения локальных метрологических полигонов, совершенствование конструкции эталонных линейных и пространственных базисов и разработка технологии метрологического контроля их линий с помощью СПА);

– Промышленной - поверки (периодические и первичные при выпуске из производства, первичные при ввозе по импорту, первичные после ремонта) и метрологические испытания в полевых условиях геодезических средств измерений, используемых в различных отраслях промышленности.



Рис. 2. Патенты, сертификаты и методики метрологической службы СГГА

При УМГК созданы эталоны, нормативные документы и получены патенты на изобретение:

– Эталонный универсальный компаратор рабочий эталон 1-го разряда для поверки, калибровки и испытания теодолитов и тахеометров (рис. 3). В 2009 г. в СГГА создана вторая эталонная установка ЭУ – 2 средняя квадратическая погрешность измерения вертикальных и горизонтальных углов $0,3''$;

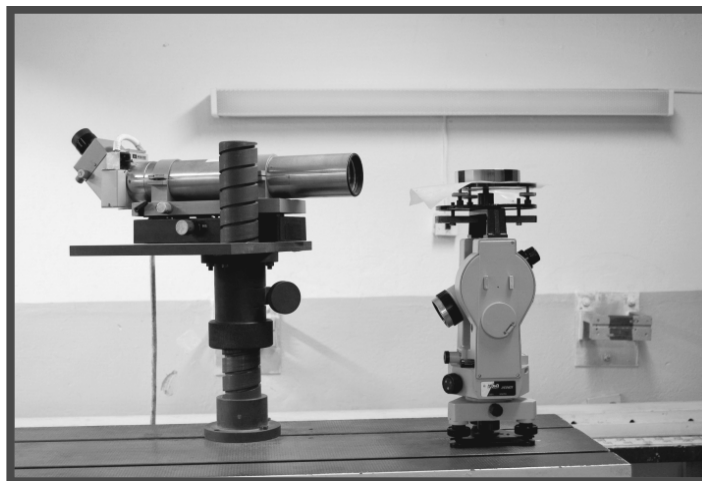


Рис. 3. Компаратор для поверки, калибровки и испытания теодолитов и тахеометров

– Эталонный универсальный компаратор - рабочий эталон 1-го разряда для поверки, калибровки и испытания нивелиров (рисунок 4) всех типов - средняя квадратическая погрешность измерения угла $i = 0,15''$;

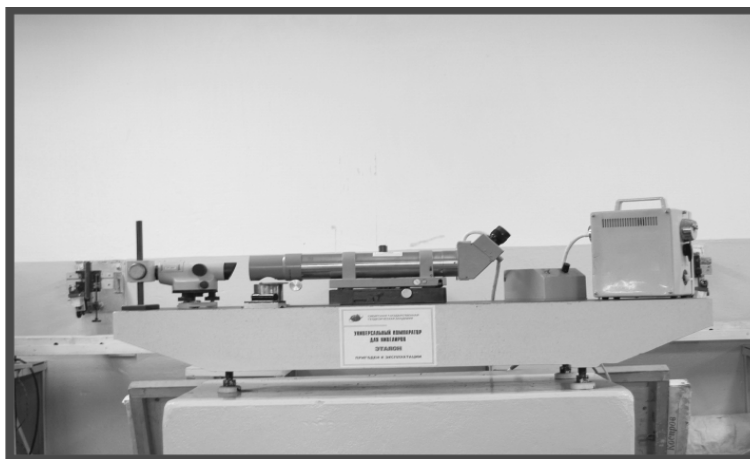


Рис. 4. Эталонный универсальный компаратор для поверки, калибровки и испытания нивелиров

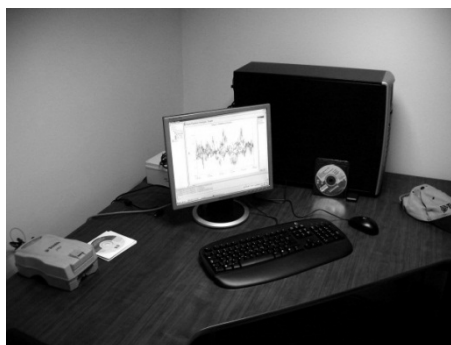
– Базис пространственный эталонный им. О.П. Сучкова является рабочим эталоном 2-го разряда. Применяется для поверки, калибровки и испытания эталонной спутниковой аппаратуры, теодолитов, электронных тахеометров, лазерных сканеров, светодальномеров и радиодальномеров, нивелиров. Средняя квадратическая погрешность измерения длины $(0,3 + 1 \cdot 10^{-6}L)$ мм где L в мм.

Получен сертификат утверждения типа средств измерений. Базис занесён в государственный реестр СИ и допущен к применению в Российской Федерации (рис. 5);



Рис. 5. Спутниковые измерения на одном из пунктов Базиса им. О.П. Сучкова

– Полигон геодезический эталонный является рабочим эталоном 2-го разряда (см. схему в докладе Антоновича К.М. и Струкова А.А. в материалах данной конференции) - предназначен для хранения и передачи в трехмерном пространстве рабочим СИ размера единиц длины, плоского угла и напряженности гравитационного и магнитного полей Земли посредством следующих метрологических параметров: геоцентрических координат, разностей геоцентрических координат, астрономических широт, долгот и азимутов, составляющих отклонения отвеса в плоскостях меридиана и первого вертикала, высот квазигеоида, нормальных высот, разностей нормальных высот, ускорений силы тяжести и магнитных азимутов. Применяется для проверки, калибровки и испытаний навигационной и геодезической спутниковой приёмной аппаратуры систем GPS/ГЛОНАСС. Отличительной особенностью данного эталона является наличие постоянно действующей базовой станции (рис. 6).



а) антенна б) приемник Trimble Net R5 с сервером

Рис. 6. Постоянно действующая базовая станция СГГА

Средняя квадратическая погрешность измерения длины на полигоне составляет $(2+2\cdot 10^{-7}L)$ мм, где L в мм. На основании положительных результатов испытаний получено свидетельство об утверждении типа средств измерений. Полигон занесён в государственный реестр СИ и допущен к применению в Российской Федерации.

В настоящее время в СГГА создаётся интерференционный компаратор для исследования и поверки штриховых мер длины (инварных проволок и лент), светодальномеров, спутниковых и лазерных систем (рис. 7). Диапазон измерения на компараторе до 25 м, погрешность измерения $0,25 L$ мкм, где L в метрах.



Рис. 7. Интерференционный компаратор

Использование данного компаратора позволит оценить погрешности измерений дальности, а также моделировать и исследовать программные продукты, поставляемые для лазерных сканеров, для измерительной системы «цифровой нивелир – кодовая рейка».

Все перечисленные достижения метрологической службы СГГА свидетельствуют о том, что она динамично развивается в соответствии с возникающими задачами производства, науки, образования.

© В.А. Середович, Л.Г. Куликова, К.М. Антонович,
В.Т. Новоевский, А.В. Куликов, И.О. Сучков, 2010

УДК 551.5

С.Г. Гергардтов

ОАО «РИРВ», Санкт-Петербург

СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ГРАНИЦАХ МЕГАПОЛИСА

S.G. Gergardtov

"Russian Institute of Radionavigation and Time", St. Petersburg

GPS POSITIONING WITHIN MEGAPOLIS

В настоящее время стало актуальным обеспечение различных отраслей городского хозяйства прецизионной координатной информацией, причем на постоянной основе. Оптимальным решением этой проблемы является использование средств спутниковой навигации и геодезии, работающих по системам ГЛОНАСС и GPS. При этом для координатного обеспечения мегаполисов, таких как Санкт-Петербург, целесообразно создание постоянно действующей инфраструктуры в виде сетей базовых станций.

Начиная с 2006 года технология высокоточного определения координат с использованием спутниковых навигационных систем внедряется в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». На территории Санкт-Петербурга была создана, аттестована и сертифицирована в качестве средства измерения инфраструктура в виде десяти постоянных базовых станций ГЛОНАСС/GPS с удалением друг от друга не более 20 километров, подключенных к общегородской корпоративной информационной сети. Зона покрытия системы - около 3000 кв. км. На этом этапе базовые станции использовались только для поддержки режима постобработки измерений. Единый сервер системы производит регистрацию файлов измерений всех станций и их выдачу по запросам авторизованных потребителей (разработку ПО осуществляло ЗАО «Институт Телекоммуникаций»).

Активное участие в оснащении системы спутниковым оборудованием принял «Российский институт радионавигации и времени» (РИРВ).

Для оснащения базовых станций использованы спутниковые одночастотные двухсистемные приемники НТ-101М и антенны геодезического качества разработки ОАО «РИРВ». Это наряду с привлекательными экономическими характеристиками обеспечило информационную безопасность и максимальную независимость системы от зарубежных технологий.

На первом этапе основными потребителем системы являлась геодезическая служба Водоканала, в оснащении которой также принял активное участие ОАО «РИРВ» (институтом было поставлено 11 комплектов двухсистемных геодезических ГЛОНАСС/GPS-приемников Гео-161, контроллеров и программного обеспечения постобработки).

Постоянно функционирующая инфраструктура обеспечила возможность работы в любой точке города без развертывания временных базовых станций, что до двух раз повысило производительность геодезических работ.

Одним из результатов внедрения первой очереди было создание геоинформационной системы с высокоточной координатной основой (ПО разработано компанией Балтрос) с прецизионными данными об объектах инженерной инфраструктуры Водоканала.

Используя потенциал созданной системы, в 2008 году ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и ОАО «РИРВ» приступили к реализации следующего этапа её развития - реализации режима дифференциального определения координат в реальном времени, в том числе с субметровой и даже сантиметровой точностью, в том числе непосредственно в городской системе координат. Был разработан новый сервер, обеспечивший поддержку режимов навигации и геодезической съемки в реальном времени, а также инфраструктура в виде беспроводной корпоративной VPN-сети для трансляции ее данных по запросам подключенных к сети мобильных клиентов – аварийных и линейных бригад Водоканала, а также геодезических служб.

Сервер системы, используя измерения станций в реальном времени формирует контрольно-корректирующую информацию в формате RTCM, и транслирует ее по сети с использованием международного стандарта Ntrip (объединяя функции стандартного Ntrip-сервера и NTRip-кастера). Это позволяет осуществлять поддержку различных режимов работы потребителя – традиционной геодезической съемки, съемки или навигации в режиме RTK (кинематики в реальном времени), а также обычной навигации в дифференциальном режиме.

Кроме основных задач программа сервера производит настройку работы станций, отображение их состояния, обеспечивает альтернативную серверу первой очереди регистрацию данных (для использования в служебных целях), периодический контроль работоспособности станций, а также индикацию времени и места подключения клиентов системы. Вся работа сервера документируется.

Потребители системы, используя клиентское ПО, могут получать данные из беспроводной сети как с помощью персонального компьютера, ноутбука, КПК так и самих спутниковых приемников, поддерживающих работу по протоколу NTRip. В системе реализован как стандартный дифференциальный режим с трансляцией корректирующих поправок, так и геодезический с использованием кадров для высокоточных координатных определений. В рамках Ntrip клиент также получает оперативную информацию о состоянии и географии сети, в свою очередь сервер автоматически получает от него информацию о месте подключения.

Мобильные информационно-навигационные комплексы, используемые ГУП Водоканал в качестве подвижной аппаратуры потребителя системы включают спутниковую геодезическую аппаратуру, полевой планшетный компьютер со специализированным ПО, а также радиомодем SkyLink.

В 2008 году осуществлялись опытная эксплуатация и испытания системы, которые подтвердили возможность достижения заданных точностных характеристик, в том числе непосредственно в местной СК на уровне 0.1 метра и лучше.

В настоящее время система используется для навигационного обеспечения мобильных рабочих мест, которыми оснащаются линейные и аварийные бригады предприятия и обеспечивает возможность динамического отображения положения пользователя в реальном времени непосредственно на картографическом фоне, включающем информацию об инженерных сетях.

Для проведения высокоточных координатных определений в реальном времени ОАО «Российский институт радионавигации и времени» разработан двухчастотный геодезический ГЛОНАСС/GPS- приемник «Изыскание».

Данная система и примененные в ней технические решения достаточно универсальны, базируются на стандартных протоколах и могут использоваться для прецизионного координатного обеспечения многих городских служб или организаций – транспортников, энергетиков, строителей, геодезистов, различных аварийных служб и т.д. С помощью системы могут решаться такие задачи, как прецизионная навигация, поиск подземных коммуникаций, вынос в натуру при проведении строительных работ, различные виды геодезических и кадастровых работ и многое другое.

© С.Г. Гергардтов, 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ СИСТЕМЫ «ШТАТИВ – НИВЕЛИР» НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ЦИФРОВЫМ НИВЕЛИРОМ

Достижение результатов, которые соответствуют спецификации любого проекта, например, мониторинг структурной деформации, знание определения точности измерений полученных с помощью применяемых геодезических приборов являются неизбежными. Таким образом, для достижения высокой точности результатов измерений во время нивелирования с использованием цифровых нивелиров необходимо, чтобы прибор не перемещался по отношению к объекту. Во многих ситуациях нивелирования, цифровой нивелир подвергается вибрациям. В данной статье представлено исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на измеренные превышения и расстояния с применением цифровых нивелиров.

Ashraf A. Beshr, N.M. Ryabova, V.G. Salnikov, M.R. Rahimberdina
SSGA, Novosibirsk

STUDYING THE EFFECT OF VIBRATION OF «TRIPOD –LEVEL» SYSTEM ON THE MEASUREMENTS ACCURACY OF DIGITAL LEVELS

In order to achieve the results that meet specifications of a given project, for example monitoring the structural deformation, the knowledge of determination the accuracy of the applied surveying instruments is inevitable. So, to achieve high accuracy results during leveling using digital levels, it is of great importance that the instrument does not move relative to the object. In many situations of leveling the digital level is subjected to shocks and vibrations. This paper investigates the effect of vibration of «tripod –level» system on the measurements accuracy of digital levels.

К настоящему времени появились цифровые нивелиры, в основе которых лежит электронное считывающее устройство. Цифровые нивелиры обладают рядом технических преимуществ: улучшенная система автоматического считывания по рейке со специальным штрих-кодом, более точное измерение расстояний, оптико–электронный лимб горизонтального круга, карта памяти для хранения данных, компенсатор. По сравнению с оптическими нивелирами цифровые нивелиры имеют большую точность. Благодаря высокой точности, а так же компенсатору и автоматическому вводу инструментальных поправок в результаты измерений, цифровые нивелиры позволяют проводить работы по нивелированию I, II классов точности [1]. Возможность измерения расстояний позволяет быстро выравнивать плечи в нивелирных ходах вперед и назад,

обеспечивая высокую надежность результатов, и оптимизируя распределение влияния случайных ошибок. Также цифровые нивелиры используются для определения деформаций инженерных сооружений и оборудования.

Существует целый ряд факторов, оказывающих влияние на возникновение ошибок в результатах измерений цифровыми нивелирами. При выполнении наблюдений за деформациями инженерных сооружений идеальных условий практически не бывает. И поэтому в процессе выполнения измерений могут возникнуть ошибки при взятии отсчетов по рейке, обусловленные, прежде всего, ошибкой «взгляда». Одной из причин возникновения такой ошибки является влияние вибрации на систему «штатив – нивелир». В данной статье представлено исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на измеренные превышения и расстояния с помощью цифровых нивелиров. Целью исследования является определение оценки и пригодности цифрового нивелира для выполнения геодезических работ в условиях действия вибрации, а также величины изменения отсчетов в зависимости от изменения силы действия вибрации на систему «основание – штатив – нивелир».

Вибрация - это механическое колебательное движение системы с упругими связями; движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений по крайней мере одной координаты. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие от движения транспортных средств, машин, механизмов и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия. Источником такого дисбаланса может быть неоднородность материала вращающегося тела, несовпадение центра массы тела и оси вращения, деформация деталей, а также неправильная установка и эксплуатация оборудования.

Основные параметры вибрации: частота, амплитуда смещения, скорость, ускорение, период колебания. В производственных условиях почти не встречается вибрации в виде простых гармонических колебаний. При работе машин и оборудования обычно возникает сложное колебательное движение, которое является аperiodическим, имеющим импульсный или толчкообразный характер. При выполнении нивелирования в условиях работы действующего оборудования всегда имеются указанные колебательные движения. На отдельных участках промплощадки довольно часто имеют место резонансные колебания с частотой 5-50 Гц и амплитудой 50-200 мкм.

Исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на точность результатов нивелирования, полученных оптическими нивелирами, начались выполняться в связи с применением высокоточного геометрического нивелирования для определения деформаций работающего промышленного оборудования [2]. Исследованиями было установлено, что авторедукционные нивелиры с визуальным отсчитыванием не только не уступают уровенным нивелирам, но и, в ряде случаев, превосходят их по эксплуатационным качествам.

Для достижения влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на точность измерений цифровым нивелиром было выполнено экспериментальное

исследование в лаборатории СГГА с использованием кодовой рейки и цифрового нивелира Trimble DiNi № 706531.

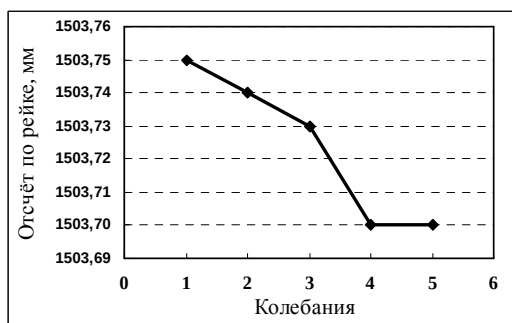
Для имитации вибрации на ножке штатива был зафиксирован электрический вентилятор. Для создания различных частот колебаний штатива на лопасти вентилятора был помещен эксцентрик с дополнительной массой. Эксперимент проводился в дневное время при естественном освещении и температуре 24⁰ С. Измерения были произведены на четырех станциях, на которых выполнялось три серии отсчетов по рейке при расстояниях: 5,51 м, 9,93 м, 16,17 м, 20,67 м. Сначала были выполнены измерения при выключенном вентиляторе при различных расстояниях до рейки. Затем включался вентилятор, тем самым, передавая штативу, вибрационное воздействие с частотой ≈ 10 Гц, и выполнялись измерения при включенном вентиляторе. По окончании этих измерений к лопасти вентилятора крепился эксцентрик (на различные расстояния от оси вращения прибора) и измерения повторялись.

В каждой серии измерений производилось по 25 отсчетов по рейке. Для каждого расстояния изменение параметра вибрации выполнялось 5 раз. Для анализа результатов вычислялась средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения превышений m_h по формуле Бесселя

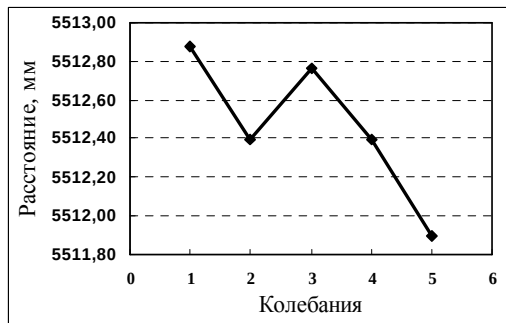
$$m_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{3(n-1)}}, \quad (1)$$

где v_i – отклонение результата i -го измерения в отдельном приеме от среднего значения в программе измерений.

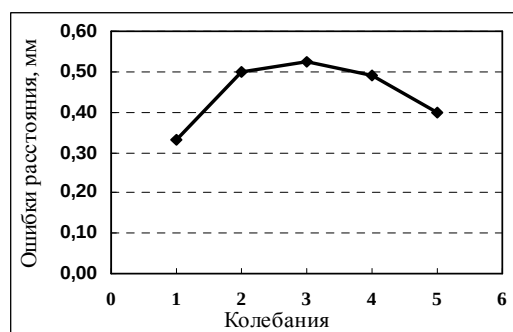
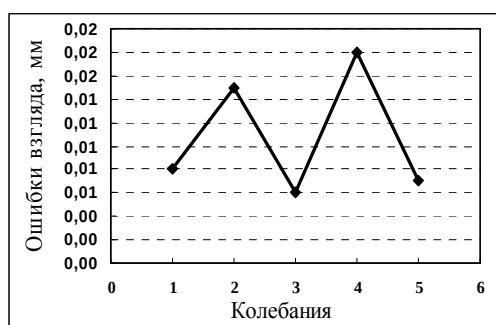
На основе полученных измерений цифровым нивелиром были вычислены для каждой установки рейки величины СКО. Результаты выполненных исследований приведены в табл. 1. В зависимости от полученных результатов были построены графики, на которых по оси абсцисс откладывается величина колебания штатива, а по оси ординат – измеренные (отчеты и расстояния) и их ошибки. Один из таких графиков для расстояния 5,51 м показан на рис. 1.



а)



б)



в) г)

Рис. 1. Результаты исследований при расстоянии от цифрового нивелира до рейки 5,51 м

Таблица 1. Исследование влияния вибрации системы «штатив – цифровой нивелир» на точность измерений

S	Расстояние от цифрового нивелира до рейки									
	5,51 м					9,93 м				
N серий	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
среднее значение отсчётов, мм	1503,75	1503,74	1503,73	1503,70	1503,70	1437,29	1437,30	1437,28	1437,29	1437,30
среднее значение Расстояний, мм	5512,9	5512,4	5512,8	5512,4	5511,9	9925,2	9920,7	9922,8	9929,2	9929,4
Ошибка взгляда, мм	0,008	0,015	0,006	0,018	0,007	0,007	0,015	0,011	0,012	0,008
СКО расстояния, мм	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	1,1	1,7	1,1	0,9	0,8
S	16,17 м					20,67 м				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
среднее значение отсчётов, мм	1508,19	1508,19	1508,18	1508,17	1508,21	1483,98	1483,99	1484,13	1483,94	1483,92
среднее значение Расстояний, мм	16168,2	16167,2	16168,0	16167,9	1616,3	20666,1	20671,0	20673,8	20661,6	20659,5
Ошибка взгляда, мм	0,019	0,022	0,020	0,027	0,029	0,021	0,049	0,325	0,025	0,059
СКО расстояния, мм	0,9	1,5	0,8	0,9	1,0	3,8	6,5	5,0	6,6	4,7

где 1: без вибрации штатива, 2: вибрация штатива без эксцентрика, 3: вибрация штатива с эксцентриком (позиция 1), 4: вибрация штатива с эксцентриком (позиция 2), 5: вибрация штатива с эксцентриком (позиция 3)

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) По мере увеличения расстояния от нивелира до рейки происходит увеличение ошибки взгляда и СКО расстояния;

2) Из приведенной табл. 1 следует, что 9,93 м является наилучшим расстоянием в условиях влияния вибрации штатива с эксцентриком в позиции 3 и 16,17 м в условиях влияния вибрации штатива с эксцентриком в позиции 1.

Практически, наиболее эффективный метод для ослабления влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на результаты измерений заключается в том, что система «штатив – нивелир» должна быть изолирована от источника вибрации с помощью внешних устройств стабилизации посредством установки между источником вибрации и объектом виброзащиты дополнительного устройства. Нами предлагается устанавливать под штатив виброизоляторы (подкладки из войлока и резины), обладающие выраженной упругостью и вязкостью. Их упруго-вязкие элементы обеспечивают непрерывную защиту прибора от чрезмерных динамических воздействий, способных вызвать разъюстировку или отказ. Автор работы [2] выполнял аналогичный способ ослабления влияния вибрации на ошибку измерений различными геодезическими способами при определении деформаций АЭС, ГРЭС и ТЭЦ. Исследования автора показали, что с применением виброизоляционных прокладок точность определения превышения на станции при помощи высокоточного нивелира ухудшается всего на 5-15%.

Нами так же были выполнены исследования влияния вибрации для указанных расстояний на систему «штатив – цифровой нивелир» с применением амортизаторов (из мягкой резины), которые так же устанавливались под ножки штатива. Исследованием установлено, что их применение уменьшает величину ошибки взгляда на 40-60%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соболева, Е.Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования I, II классов с применением цифровых нивелиров [Текст]: дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук / Е.Л. Соболева. – Новосибирск, 2008. – 186 с.

2. Уставич, Г.А. Разработка методов, средств и технологий геодезических измерений при монтаже и эксплуатации оборудования инженерных сооружений в условиях влияния возмущающих воздействий [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Г.А. Уставич. – Новосибирск, 1992. – 400 с.

© Ашираф А. Беир, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников, М.Р. Рахимбердина, 2010

УДК [528.48:624.21]+528:629.783

Мусбех Р. Калун, Хуэй Ли

Харбин, Китай

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ И ПОВРЕЖДЕНИЯ МОСТА НА ОСНОВЕ GPS-СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Представлена методика определения деформаций моста Юунгхи в Китае при помощи RTK-GPS системы мониторинга. Был использован фильтр Кальмана для корректировки временных рядов данных GPS. Установлено, что причиной трещин моста является сдвигающая сила, которая возникает из-за движения южной башни и в основном нелинейных перемещений моста из-за транспорта.

Mosbeh R. Kaloop, Hui Li

Harbin Institute of Technology (HIT), Harbin, China

ANALYSIS OF BRIDGE MOVEMENTS AND DAMAGE BASED ON GPS MONITORING TECHNIQUE

This paper uses RTK-GPS observation system to determine the deformation of Yonghe Bridge in China. To determine the operational safety and causes of bridge cracks, movements of bridge must be monitored under different stress factors such as wind speed, temperature change and traffic load. Kalman filter (KF) was used for adjusting the time series GPS data. In the analysis of the periodic components of the series, it was found that the high frequencies obtained from power spectral density (PSD) and short-time Fourier transformation (STFT) reflected the expected movements and cracks of the bridge. Finally, it was found that the cause of cracks were the shear force which due to movement of south tower and mostly non-linear movements of bridge due to traffic load effects.

Global positioning system (GPS) was proven a very useful tool for monitoring deformation of many man-made and natural structures such as dams, bridges, tall building and slopes [1]. KF is an algorithm applicable to all types of GPS positioning data, especially for deformation applications [2].

In order to minimize the spectral leakage of the signal energy to other frequencies, it is proposed that the signal should be multiplied with a window function, whose amplitude slowly approaches zero at the edges before the transformation was performed. In this paper, the periodogram code from Matlab with Hanning window was used to determine the PSD of GPS signals [5]. In the phase plane, formed by time and frequency, the frequencies can be displayed on a two-dimensional time-frequency plane that is called a short-time Fast Fourier

Transformation (STFT). It is possible to identify the energy content of the signal at different frequencies.

The studied bridge is Yonghe Bridge, this bridge has four lanes with the total length of 510.00 meters. Main span of the bridge is 260m (Fig. 1). GPS was permanently installed on the two tower tops of the bridge and bank near the bridge. In the coordinate system, Y-axis shows the traffic direction but X-axis shows the lateral direction and the Z-axis gives the vertical direction of the bridge. The reference station refreshes RTK correction messages for the GPS monitoring stations with a frequency of 20 Hz on each direction.

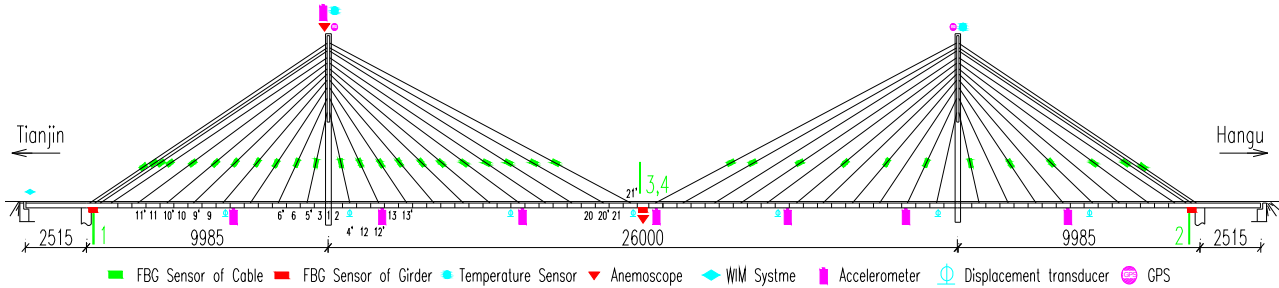


Fig. 1. Diagram of Yonghe bridge in China and the SHM system

The tower in the Tianjin side (southern tower (ST)) and the tower on the Hangu side of (northern tower (NT)) were observed at the same time intervals, so it is possible to compare the movements of these towers with each other.

Figs. 2 show the residuals scatter of each coordinates pair (X vs Y) at northern and southern original GPS signals deformation. These signals were collected from June 2007 to June 2008. Observations were collected from 11.00 am to 12.00 pm for local time of China. From Figs. 2, it can be seen that the residuals of the ST and NT in two directions X and Y have approximately similar behavior, and the correlation coefficient between X and Y-directions at southern tower is 0.97, whereas at NT it is 0.88.

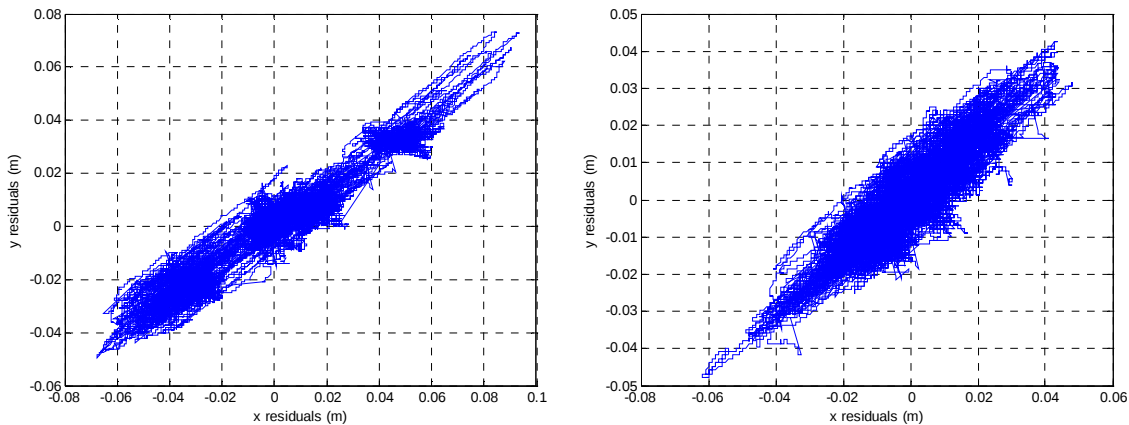


Fig. 2 The residual of original GPS data at (a) ST and (b) NT

On the other hand, it can be found that the correlations between two movements of towers are 0.39, 0.36, and 0.58 (as shown in Table 1); this reveals that the

movements of towers in two directions are not dependent on each other, whereas the bridge was symmetrical. KF is a strong tool to eliminate noises according to the noise characteristics in the kinematics models. The mathematical form of the KF presents in [4] was used in this paper. According to formulas, assuming that the design matrix and the transition matrix are identity matrix and the covariance of observations are assumed equal weight whereas the standard deviations (SD) of the signals are not available. The covariance matrix of the dynamic model noise was estimated from accelerometer data. The results show that the noises can effectively be removed and the useful signals can be extracted from original signals using KF.

Table 1. The correlation coefficient between the GPS signals

	XST	YST	XNT	YNT
XST	1.00	0.9689	-0.3678	-0.5856
YST		1.00	-0.3973	-0.3973
XNT			1.00	0.8845
YNT				1.00

Where, the ST and NT Coordinates (XST, YST) and (XNT, YNT), respectively.

From Fig. 3, it can be noticed that, the residuals between the original and KF signals are clear (30%) because the noise of signals is high. SD of GPS signals after april 2008 are high. This indicates that the cracks had affected on tower movements after this time. X-direction movements of the ST demonstrate an increase starting from the initiation of observation until February 2008 (8.87 cm) and later on, a decrease is seen in this movement. On the NT there are reverse direction movements of the tower (3.05 cm) until December 2007 and a later on, a distortion was seen in this movement. However, on this side the maximum increase in the movement becomes significant in December 2007 on the NT and as with the ST, after February 2008 a decrease was observed.

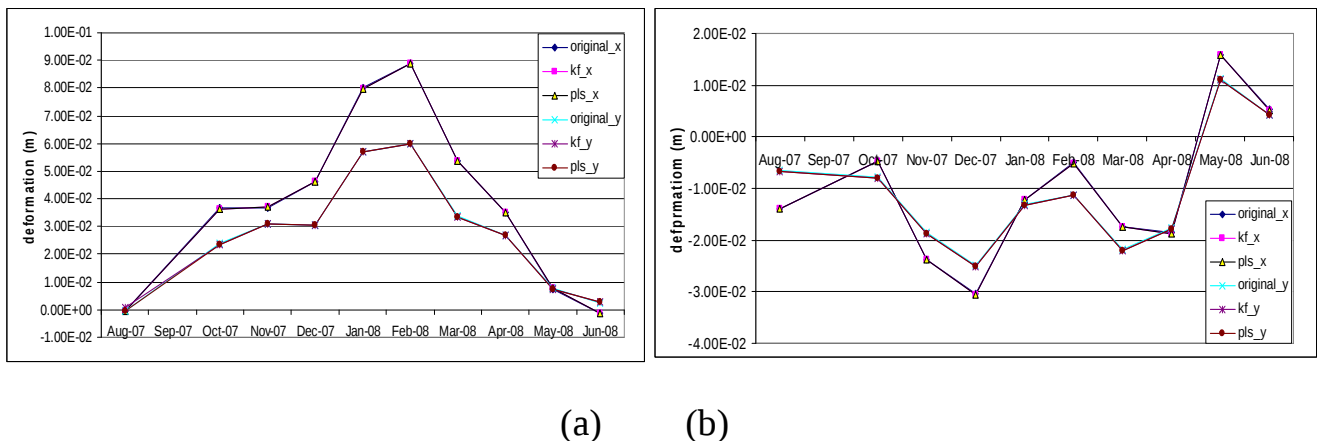


Fig. 3. The deformation of (a) ST and (b) NT in two directions

Y-direction movements of the ST demonstrate an increase starting from the initiation of observation until February 2008 (5.98 cm) and later on, a decrease was seen. On the other hand, over similar time duration Y-direction movements of the NT are observed in the reverse direction with respect to that of the other tower, the change in movements was 2.51 cm in December 2007. Thus, the X and Y-directions

movement of ST was observed in the load and velocity of the traffic flow and then in reverse directions. The reason for the observation of the X-direction movements to be in the same direction and the Y-direction movements under applied loads from December 2007 to March 2008, approximately, and then in a reverse direction for other date monitoring is because the Bridge is almost non-linear movement, the symmetrical in structure and cracks effects. The maximum deformation values of ST occurred between the period from October 2007 to April 2008. This reveals that the cracks might occur about these times, but actually, these cracks affected on the bridge after April 2008.

After elimination of noise component from the movements original data time series of bridge towers in the X and Y-directions, PSD and STFT components in the series were determined (Fig.4). These components were examined in the high frequency changes, which occur over short-term movements as a result of high frequency. Tenth-order Butterworth Infinite impulse response (IIR) filter was used to design the high pass filter.

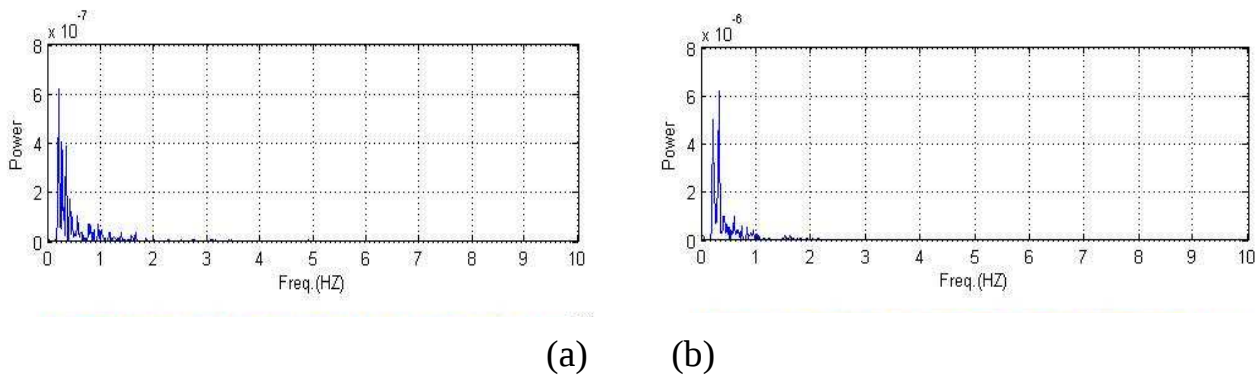


Fig. 4. The power spectrum signals for (south tower) Y-direction signals
(a) June 2007, (b) June 2008

From Fig. 4, the maximum powered high frequencies for movements of towers in X and Y-directions are not the same, however, frequencies in June 2008 have higher powers. Distortion frequency of towers in two directions is happened between October 2007 to and after April 2008.

In addition, the high frequency reactions of the ST in the X and Y-directions are 0.3125 HZ in april 2008 and 0.3516 HZ in January 2008, whereas the high NT frequencies are 0.3711 HZ and 0.3516 HZ in December 2007, respectively. This indicates that the high power frequency expressed to the maximum movements of towers and cracks effects, whereas the bridge is symmetrical it was determined that the towers demonstrated don't have similar movements and frequency under affecting loads. In addition, the movements of the ST bridge in the X-direction are much larger in size, when compared to X and Y-directions movements of the towers.

Deformation analysis is performed also by using the certain epoch's results. deformation values are detected according to the results of unload case, mean KF vector on June 2007, estimation interval onwards. For example, the test value of X-direction can be determined by using the following formulae:

$$T_i = \frac{d_i^2}{\sigma_{d_i}^2}, \quad (1)$$

$$d_i = X_i - X_c, \quad (2)$$

$$\sigma_{d_i}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_c^2. \quad (3)$$

Where: T_i - the test value of X-direction deformation at the i^{th} estimation interval; d_i - difference mean KF vector at the i^{th} estimation interval according to unload case estimation interval (c); σ_i and σ_c - the variance of X-direction KF estimation at the i^{th} and at the unload case estimation interval; $\sigma_{d_i}^2$ - the variance of the difference vector.

If $T_i \geq F(1-\alpha, 2, d_f)$, F-test depends on d_f degree of freedom at the 95% confidence level. It is considered that the difference vector, d_i , is significant and that there is indeed a deformation in the X-direction component [3].

Analysis the results shows that deformation values in X and Y-directions of the ST occurred on the period from October 2007 to April 2008 and October 2007 to May 2008, respectively. For the NT, deformation is distorted in X-direction and it occurred on the period from October 2007 to May 2008 in Y-direction. It can be seen also that T-values in two directions for the ST are larger than it for the NT. So the movements of ST and NT are abnormal from October 2007 in Y-direction, and the ST deformation is greater than the deformation in NT in two directions.

Conclusions

Based on the presented analysis of bridge deformation, the following results can be summarized:

1. Kalman filter technique can be used to remove the noise of GPS signals to improve its accuracy by 30%;
2. Based on the analysis of time series frequency, it was found that the peak values of frequency deviate from constant value along the time axis when non-stationary displacement responses arise and cracks effect. The instability of higher power frequency reveals to the movements of bridge towers;
3. The statistical analysis shows that the movements of southern and northern towers increased significantly from October 2007 in Y-direction, and the movements of the southern tower are greater than northern tower deformation in two directions.

References

- [1] Loves J.W, Teskey W.F et all (1995) Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology. Journal of surveying engineering 121:1 35-40.
- [2] Chen Y, Ding X et all (2000) A multi-antenna GPS system for local area deformation monitoring. Earth planetes space journal 52: 873-876.
- [3] Chen Y (1983) Analysis of deformation surveys – A generalized method. Department of Surveying Engineering Technical Report No. 94, University of New Brunswick, Fredericton.
- [4] Mosbeh R.Kalooop, Hui Li (2009) Monitoring of bridge deformation using GPS technique; KSCE Journal of Civil Engineering; Vol. 13; No.6; 423-431.
- [5] Mathworks. Matlab, Release 12, The Mathworks, Inc, (2008).

УДК 528.48: 528.235

Ашраф А. Бешр, Р. Эхиатор-Иругхе

СГГА, Новосибирск

О.М. Эхиатор

Нигерия

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Разработка эффективных методов выявления и анализа деформаций вертикальных стальных цилиндрических резервуаров является актуальной задачей, поскольку ее успешное решение вносит важный вклад в обеспечение надежности, долговечности и безопасности эксплуатации резервуаров. Представлена методика выполнения измерений и анализа наблюдений для определения деформаций вертикальных цилиндрических резервуаров.

Ashraf A. Beshr, R.A. Ehigiator-Irughe

SSGA, Novosibirsk

O.M Ehigiator

Nigeria

STRUCTURAL DEFORMATION ANALYSIS OF CYLINDRICAL OIL STORAGE TANK USING GEODETIC OBSERVATIONS

The main purpose of structural deformation monitoring scheme and analysis is to detect any significant movements of the structure. An effective approach is to model the structure by using well-chosen discrete points located on the surface of the structure which, when situated correctly, accurately depict the characteristics of the structure. It can then be said that any movements of those points represent deformations of the object. Large, aboveground oil storage tanks are examples of structures that must be routinely surveyed to monitor their stability and overall integrity.

This paper outlines the procedure of geodetic monitoring system of circular oil storage tanks and presents the analysis of the resulted observations to determine the values of their deformation.

Any movements of the monitoring point locations (and thus deformations of the structure) can be detected by maintaining the same point locations over time and by performing measurements to them at specified time intervals enabling direct point displacement comparisons. A common approach for this method is to place physical targets on each chosen discrete point to which measurements can be made. However, there are certain situations in which monitoring the deformations of a large structure using direct displacement measurements of targeted points is uneconomical, unsafe,

inefficient, or simply impossible. Reasons for this limitation vary, but it may be as simple as placement of permanent target prisms on the structure is too difficult or costly.

To obtain correct object point displacements (and thus its deformation), the stability of the reference stations and control points must be ensured [1]. The main conclusion from the many papers written on this topic states that every measurement made to a monitored object must be connected to stable control points. This is accomplished by creating a reference network of control points surrounding a particular structure.

A relatively methodology for structural data analysis of monitoring structural deformation system of large oil storage tanks is presented in this paper. This method of deformation analysis utilizes a combination of coordinates of several discrete points located on the surface of the tanks and its accuracy for different epochs of observations.

The studied circular oil storage tanks are located in local governmental area of delta state in Nigeria, which forms a common boundary with the Bight of Benin by the Atlantic Ocean. Tanks were constructed between the period 1967 and 1970. Storage tanks, which are used by most oil companies in Nigeria, are cylindrical in shape. There are ten crude oil tanks each one of them has 21m high and diameter 76m.

As a result of tanks age, geological formation of the soil around tanks in this area in Nigeria, non uniform settlement of tanks foundations, loading and off loading of oil and temperature of the crude will cause stress and strain for tanks membrane and settlement of sediments. The tanks tend to undergo radial deformation or out of roundness. So, monitoring the structural deformation of these circular oil storage tanks must be done by using accurate geodetic observations and analysis methods.

To develop a reliable and cost effective monitoring system of any tank of the studied ten storage oil tanks, deformation monitoring scheme consists of measurements made to the monitored object from several monitoring stations that are referred to several reference control points (assumed to be stable). To obtain correct object point displacements (and thus deformation), the stability of the monitoring stations must be ensured. This is accomplished by creating a reference network of monitoring stations surrounding a particular structure (Fig. 1).

Monitoring the structural deformation for one of these tanks is presented in this paper. The circular cross section of the studied tank (tank № 2) is divided into 20 points, as shown in figure 1. These monitoring points are suited at the outer surface of the tank and placed at the same level 2.0 m from the tank base. For each epoch of observations at any time k , the measurements are done at three oil levels 3m, 10 m and 19 m.

The methodology of monitoring structural deformation of oil storage tank utilizes a combination of using intersection process (geodetic surveying with angular and distance measurements) by using total station Sokkia SET1 130R and leveling by using precise automatic level with parallel plate micrometer.

The survey stations (control points and monitoring stations) are located planimetrically by total station traverse while their elevations are determined using precise leveling.

The monitoring stations are connected to the existing control networks at Forcados terminal. However, it is important to state that the monitoring stations, surrounding the studied tank, were first established in 1999 by Geodetic Positioning Services Limited. All recent control established were referred to the control established in 1999 after confirming their integrity. National Nigerian Geodetic Control specifications for 2nd order deformation study were followed.

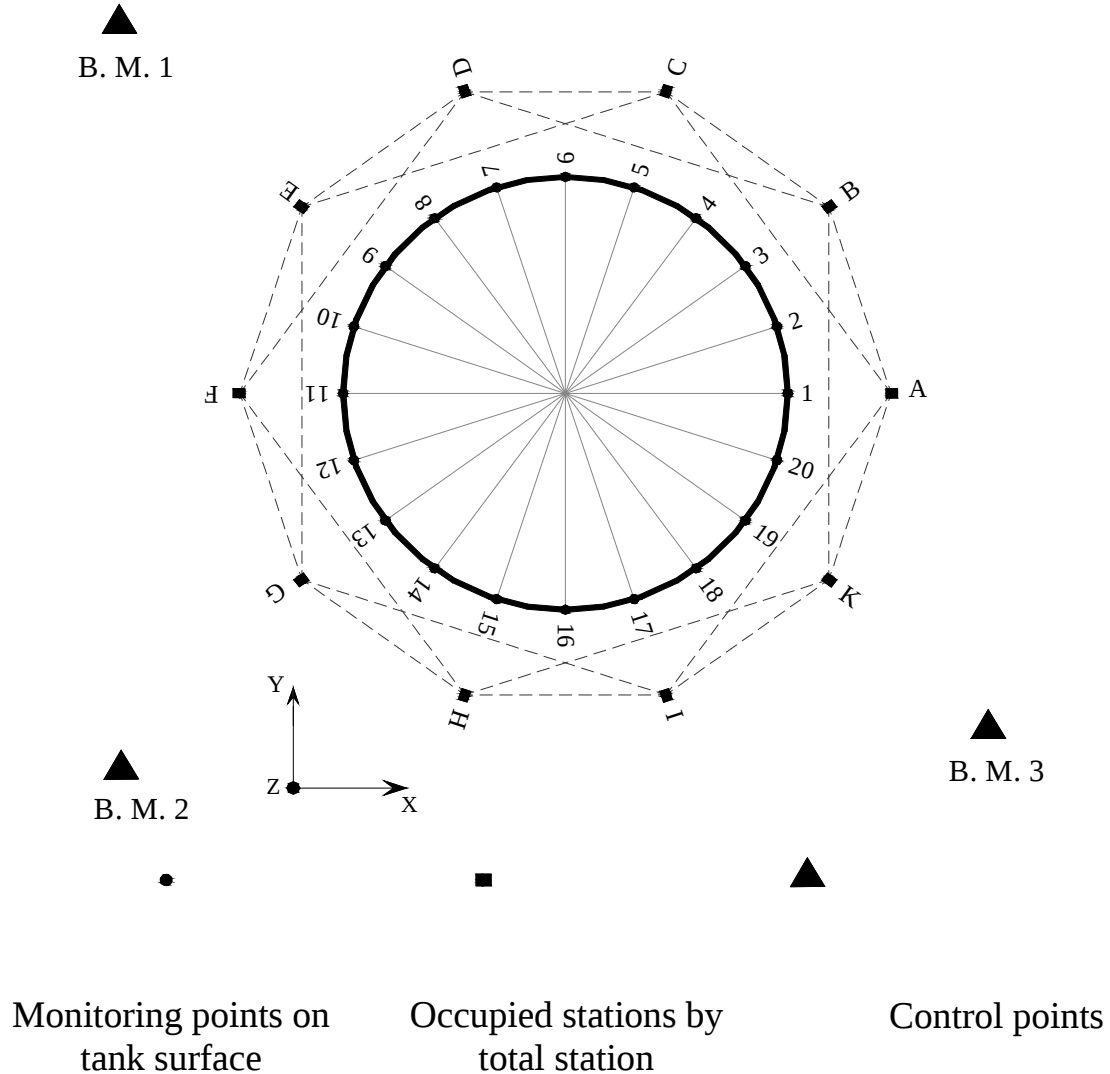


Figure 1. Structural deformation monitoring system for circular oil storage tank

Calibrations of the used total station were done to confirm the specified accuracy for measuring distances and angles. For carrying out leveling during the process of monitoring, some precautions were done for example conducting a two peg test before levelling; all survey lines were leveled independency in opposite directions; all survey stations are to be change points and back sights and foresights are to be equidistant to within 30cm maximum, sighting distance is 40m.

The horizontal coordinates (X, Y) of monitoring points (points 1, 2, 3... 20, Fig. 1) were calculated by using formulae of intersection in dependence on the angular

and linear measurements from total station to these points. For example for point 1 (fig. 1), the coordinates can be calculated by using the following formulae [4]:

$$(1) \quad \left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{X_A \cot \alpha_B + X_B \cot \alpha_A + Y_A - Y_B}{\cot \alpha_A + \cot \alpha_B}, \\ Y_1 &= \frac{Y_A \cot \alpha_B + Y_B \cot \alpha_A + X_A - X_B}{\cot \alpha_A + \cot \alpha_B}, \end{aligned} \right\}$$

where: X_A, Y_A, X_B, Y_B – coordinates of stations A, B; α_A, α_B – horizontal angles measured from stations A, B.

The elevations of all monitoring 20 points were calculated by using precise leveling. The invar staff is fixed vertically at the monitoring points on the outer surface of the tank. Left and right readings on the staff at each point were taken.

Structural analysis is required to determine whether significant movements are occurred between the monitoring campaigns or not. Geometric modeling is used to analyze spatial horizontal and vertical displacements of the monitoring points on the outer surface of the tank.

Point displacements Δ_J are calculated by differencing the adjusted coordinates of this point J for the most recent survey campaign $(k+1)$, from the coordinates obtained at reference time (k) , as following:

$$\Delta_J = \begin{bmatrix} X_J^{(K+1)} - X_J^{(K)} \\ Y_J^{(K+1)} - Y_J^{(K)} \\ Z_J^{(K+1)} - Z_J^{(K)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_J \\ \Delta Y_J \\ \Delta Z_J \end{bmatrix}, \quad (2)$$

where: $X_J^{K+1}, Y_J^{K+1}, Z_J^{K+1}$ - the adjusted coordinates at time t_{k+1} ; X_J^K, Y_J^K, Z_J^K - the adjusted coordinates at time t_k ; $K=1,2,\dots,m$ (m – number of epochs of observations); $J=1,2,\dots,n$ (n – number of monitoring points (in this case $n=20$)).

Each movement vector has magnitude and direction expressed as point displacement coordinate differences. These vectors describe the displacement field over a given time interval. Displacements that exceed the amount of movement expected under normal operating conditions will indicate possible abnormal behavior. Comparison of the magnitude of the calculated displacement and its associated survey accuracy indicates whether the reported movement is more likely due to survey error [1].

$$|D_J| < (E_J)$$

where: D_J - the magnitude of the displacement for point J , which can be calculated as following:

$$|D_J| = \sqrt{(\Delta X_J)^2 + (\Delta Y_J)^2 + (\Delta Z_J)^2} \quad (3)$$

But E_J - the maximum dimension of combined 95% confidence ellipse for point J , it can be calculated as following [2]:

$$E_J = 1.96 \sqrt{(m_{\Delta_J}^{K+1})^2 + (m_{\Delta_J}^K)^2} \quad (4)$$

where: $m_{\Delta_J}^{K+1}$ - the standard error in position for the most recent survey; $m_{\Delta_J}^K$ - the standard error in position for the (initial) or reference survey.

Then if $|D_J| < E_J$ – the point isn't moved; else $|D_J| > E_J$ – the point is moved.

So the resulting coordinates of monitoring points must be converted into meaningful engineering values by using the suggested analysis method. Point displacements in horizontal and vertical components are calculated individually by differencing the adjusted coordinates between two epochs of observations (between 2003 and 2004; between 2003 and 2008). The comparison of the magnitude of the calculated displacement and its associated surveying accuracy will be done for both two periods of time (one year (from 2003:2004) and five years (from 2003: 2008)). This comparison indicates whether the reported movement is more likely due to surveying error or not. One of these comparisons is presented in table 1.

Analysis the results in table 1 show that, in this period of time (from February 2003 until August 2004) all the monitoring points are moved in horizontal direction except point (STUD 4) because the difference in horizontal component exceeds the expected surveying error at these points. For vertical direction, all the points are moved except points (STUD 16, STUD 20, STUD 1, STUD 12, STUD 14 and STUD 4).

In the other hand, analysis the results in the period of February 2003 to October 2008 show that all the monitoring points on the tank surface are moved from their positions. In horizontal components the values of deformation ranged from 4.01 mm to 103.94 mm but in the vertical components the deformation values ranged from 0.2 mm to 23.27 mm.

Table 1. Comparison the magnitude of the calculated coordinate differences and its associated surveying accuracy (in the period from February 2003 until August 2004)

Point	For horizontal components					For vertical component		
	ΔX_J mm	ΔY_J mm	$\sqrt{\Delta X_J^2 + \Delta Y_J^2}$ mm	$E_J^{horiz} =$ $1.96\sqrt{m_{\Delta X_J}^2 + m_{\Delta Y_J}^2}$ mm	Movement or not	ΔZ_J mm	$E_J^{ver} =$ $1.96\sqrt{m_{\Delta Z_J}^2}$ mm	Movement or not
STUD 6	-16	-65	66.94	7.46	Yes	12.03	3.83	Yes
STUD 16	27	20	33.60	10.00	Yes	2.88	4.92	No
STUD 7	-96	-56	111.14	7.20	Yes	30.64	4.29	Yes
STUD 17	14	0	14.00	10.00	Yes	5.00	4.93	Yes
STUD 8	14	-1	14.04	8.29	Yes	30.88	2.11	Yes
STUD 18	24	16	28.84	9.94	Yes	5.54	4.81	Yes
STUD 9	-26	-19	32.20	8.61	Yes	28.45	2.16	Yes
STUD 19	-27	-11	29.15	9.81	Yes	7.33	4.58	Yes
STUD 10	14	-5	14.87	8.87	Yes	24.38	2.67	Yes
STUD 20	31	5	31.40	9.62	Yes	0.96	4.24	No
STUD 11	13	-2	13.15	9.13	Yes	11.52	3.24	Yes
STUD 1	-16	10	18.87	9.40	Yes	0.06	3.81	No
STUD 12	-21	22	30.41	9.38	Yes	11.26	3.76	Yes
STUD 2	46	-5	46.27	9.15	Yes	12.56	3.29	Yes
STUD 13	-15	7	16.55	9.61	Yes	0.32	4.21	No
STUD 3	-20	-16	25.61	8.88	Yes	10.48	2.70	Yes
STUD 14	-14	3	14.32	9.79	Yes	3.48	4.56	No

STUD 4	-1	-3	3.16	8.63	No	1.13	2.20	No
STUD 15	12	16	20.00	9.93	Yes	8.89	4.79	Yes
STUD 5	6	15	16.16	8.34	Yes	4.44	2.05	Yes

Conclusion

Based on the presented analysis, the following results can be summarized:

1. The proposed surveying monitoring technique of large circular oil storage tanks can provide valuable deformation data of the structural members and movements of buildings;
2. The suggested technique of analysis the structural deformation observations can be used to identify and determine the values of deformation for any structure between any two epochs of observations;
3. The studied oil tank (tank № 2) has great deformation values which reach up to 104 mm in horizontal component and 25 mm in vertical, so structural solution must be founded to solve these problems.

References

- 1) Gairns, C. Development of semi-automated system for structural deformation monitoring using a reflectorless total station/ C. Gairns // M.Sc. Thesis. – Department of Geodesy and Geomatics Engineering – University of New Brunswick, 2008. – 118 pp.
- 2) Vanatwerp, R. L. Engineering and design: deformation monitoring and control surveying/ R. L. Vanatwerp// Engineer manual. – U.S Army corps of engineering. EM 1110-1-1004. – Washington. – U.S, 1994. –141 pp.
- 3) Ashraf, A. Beshr. Accurate surveying measurements for smart structural members/ Ashraf A. Beshr// M.Sc. Thesis. – Mansoura university. – Mansoura. – Egypt, 2004. – 194 pp.
- 4) Ehigiator-Irughe, R. Environmental safety and monitoring of crude oil storage tanks at the Forcados terminal/ R. Ehigiator-Irughe// M. Eng Thesis.- Department of civil engineering, university of Benin, Benin City. Nigeria. – 2005. - 281 pp.

© *Aupaf A. Beup, P. Эхузамор-Иргызе, O.M. Эхузамор, 2010*

УДК 528.5: 528.48

В.С. Хорошилов

СГГА, Новосибирск

О РАЗВИТИИ В ГЕОДЕЗИИ ИДЕИ ВЫБОРА ПОНИЖАЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В статье рассматривается идея выбора понижающих коэффициентов для обоснования точности геодезических измерений для различных инженерно-геодезических работ.

V.S. Khoroshilov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ABOUT DEVELOPMENT IN A GEODESY OF IDEA OF A CHOICE OF LOWERING FACTORS FOR A SUBSTANTIATION OF ACCURACY OF GEODETIC MEASUREMENTS

In article the idea of a choice of lowering factors for a substantiation of accuracy of geodetic measurements for various engineering-geodetic works is considered.

При строительстве инженерных сооружений, контроле геометрических параметров технологического оборудования, оценке технического состояния зданий и сооружений, проведении контрольно-монтажных измерений одним из основных условий качественного выполнения работ является обоснованное назначение необходимой точности геодезических измерений. В целом ряде работ при назначении точности геодезических измерений вводится понятие «понижающего коэффициента» для последующего перехода от технологических допусков (в соответствии с нормативно-технической документацией на объект контроля) к точности измерений.

Впервые связь предельной погрешности измерений с величиной контролируемого размера показана в работе Н.Н. Маркова [1], где на основе вероятностного метода для нормального закона распределения теоретически обоснована связь погрешности измерений с вероятностью неправильно принятых и неправильно забракованных деталей. И как результат теоретических исследований - введение понижающих коэффициентов (0,2-0,35) при назначении точности измерений при разбраковке деталей для размеров от 1 до 500 мм с учётом существующих допусков на изготовление. По-существу, данная работа явилась отправной точкой ряда работ при выборе понижающих коэффициентов для оценки качества сборки изделий в машиностроении и самолётостроении, как наиболее «продвинутых» отраслей в области

обеспечения нормативной документацией. Так, значения коэффициентов (0,079-0,31) от величин допусков на обработку по проверяемым размерам и классам точности использовались для оценки качества изделий самолётостроения в работе В.М. Сапожникова [2]; значения коэффициентов (0,15-0,50) – для оценки качества сборки изделий машиностроения в работах А.Н. Журавлёва [3], В.С. Демина [4], В.Н. Чупырина [5].

Опыт производства геодезических работ при строительстве и монтаже оборудования различных инженерных объектов показал, что «при монтаже элементов различных объектов используется весь арсенал средств и методов, известных в инженерной геодезии, метрологии, машиностроении в тесном их переплетении» [6], поэтому достаточно остро встала задача нормирования точности геодезических измерений и вполне естественно, что взгляды геодезистов обратились именно к машиностроению.

Использование понижающих коэффициентов при назначении точности в области геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования при строительстве цементных заводов автор находит в работе Г.Г. Асташенкова [7]. Значения коэффициентов (0,167-0,25) предлагаются для практических целей монтажа технологического оборудования; значения (0,10-0,25) от машиностроительного допуска – для определения смещения элементов оборудования, что на наш взгляд отражает несколько завышенную точность геодезических измерений и в тоже время оправдывает попытку автора в силу отсутствия нормативной документации в области геодезического контроля привести ясность в данном вопросе.

В работе Б.Н. Жукова [8] приводятся значения коэффициентов (0,2-0,6) для приёмки изготавливаемых деталей; при выверке оборудования автор считает, что значение коэффициента следует соизмерять с уровнем собираемости элементов; при контроле деформационных состояний оборудования - коэффициент желательнее назначать как при приёме деталей, с чем трудно согласиться. На наш взгляд, при оценке деформационных состояний оборудования (например, в случае выпуска продукции с большим количеством брака) следует контролировать наиболее важные узлы оборудования технологической линии и при этом повышать точность измерений по мере приближения контролируемого параметра к границе допустимого значения с целью его дальнейшей корректировки. В последующей работе Б.Н. Жукова [13] предложены значения коэффициентов (0,2-0,5) для оценки технического состояния сооружений и конструкций на основе введения понятия степени ответственности объекта контроля.

В дальнейшем автор находит использование понижающих коэффициентов в работе П.И. Барана [9], где значения коэффициентов (0,20-0,35) рекомендуется назначать при расчёте точности размерных цепей с вероятностью $p=0,954$ при «обычных требованиях» и $p=0,987$ при «повышенных требованиях» к точности отдельных элементов оборудования.

В тоже время отметим, что во всех вышеперечисленных источниках по геодезическим работам имеет место перенос знаний из области машиностроения в область геодезии (наверное, это можно объяснить опытом

производственной работы самих авторов); при этом каких-либо подтверждающих расчётов или обоснования для назначения величины значения понижающих коэффициентов не приводится.

Появление понижающих коэффициентов в нормативной документации отражено в ГОСТ 26433.0-85 [10]. Так, для измерений выполняемых в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов, а также при контроле точности разбивочных работ принимают значение коэффициента равное 0,2; а для измерений, выполняемых в процессе производства разбивочных работ – 0,4. При этом отмечается, что для большинства практических случаев расчёт точности осуществляется для обеспечения полной собираемости конструкций в соответствие с планами контроля точности составляющих параметров с приёмочным уровнем дефектности 4% по ГОСТ 23616-79.

Удачно, по мнению автора, данная задача решена в работе Ю.В. Столбова [11], в которой на основании введения 10% предельной погрешности измерений в строительстве как нормы СЭВ, на основании расчётов размерных цепей получены значения коэффициентов (0,225-0,5) для различных по степени ответственности контрольных измерений на строительные и монтажные работы.

Подобно [11] в работе С.П. Войтенко [12] на основании расчёта размерных цепей в зависимости от степени влияния составляющих погрешностей при работах в строительстве получено значение понижающего коэффициента для разбивочных работ и контрольно-монтажных измерений, равное 0,3.

Подобно [11] в работе А.А. Побережного [16] на основании введения 10% и 20% предельной погрешности измерений на основании расчётов размерных цепей получены значения коэффициентов (0,15-0,66) для различных видов геодезических работ с учетом точности технологического процесса на строительные и монтажные работы сооружений аэродромов.

В работе автора [14] решение задачи оптимального выбора средств измерений для геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования осуществлялось в результате построения математической модели эффективности геодезического метода измерений на основе полного факторного эксперимента [15]. В результате экспериментальных исследований были определены интервалы варьирования факторов (выбор подобласти), в пределах которой математическая модель является линейной и адекватной. Были получены интервалы варьирования фактора «точность» для различных категорий контроля в зависимости от степени ответственности технологической линии (0,10-0,20 – усиленный контроль; 0,20-0,30 – нормальный контроль; 0,30-0,45 – пониженный контроль; 0,45-0,60 – ослабленный контроль).

Построенные математические модели эффективности геодезического метода используются при реализации технологической схемы оптимального выбора средств измерений при монтаже технологического оборудования различных инженерных объектов для принятия решения с помощью экспертной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марков, Н.Н. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях [Текст] / Н.Н. Марков, Г.Б. Кайнер, П.А. Сacerдотов.- М.: Машиностроение, 1967.- 390 с.
2. Сапожников, В.М. Технологические методы и средства контроля качества в самолетостроении [Текст] / В.М. Сапожников, И.М. Дунаев.- Изд. Машиностроение, 1973.- 446 с.
3. Журавлев, А.Н. Допуски и технические измерения. [Текст] / А.Н. Журавлев.- М.: Высшая школа, 1981.- 256 с.
4. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник в 2 т.- Т.2 Монтаж машин и агрегатов [Текст] / под ред. В.С. Демина, П.П. Алексеенко.- М.: Машиностроение, 1983.- 360с.
5. Чупырин, В.Н. Технический контроль в машиностроении [Текст] / В.Н. Чупырин, А.Д. Никифоров.- М.: Машиностроение, 1987.- 512 с.
6. Большаков, В.Д. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве [Текст] / под ред. В.Д. Большакова.- М.: Недра, 1976.- 354 с.
7. Руководство по геодезическому обеспечению монтажа и эксплуатации технологического оборудования цементной промышленности [Текст] / М.: Недра, 1983.- 112 с.
8. Жуков Б.Н. Задачи нормирования точности измерений при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования и некоторые пути их решения [Текст] / Б.Н. Жуков.- Сб. «Геодезические работы при монтаже и эксплуатации технологического оборудования», Новосибирск: НИИГАиК, 1982, С.10-17.
9. Баран, П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования [Текст] / П.И. Баран.- М.: Недра, 1990.- 234 с.
10. ГОСТ 26433.0-85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения. М.: Изд. стандартов, 1986, 14 с.
11. Столбов, Ю.В. Статистические методы контроля качества строительно-монтажных работ [Текст] / Ю.В. Столбов.- М.: Стройиздат, 1982.- 86 с.
12. Войтенко С.П. Принципы расчета точности геодезических работ при монтаже элементов строительных конструкций и технологического оборудования [Текст] / С.П. Войтенко.- Сб. «Геодезическое обеспечение строительства, монтажа и эксплуатации инженерных сооружений», М.: ЦНИИГАиК, 1988, С.61-65.
13. Жуков, Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий [Текст] / Б.Н. Жуков.- Новосибирск: СГГА, 2003.- 356 с.
14. Хорошилов, В.С. Решение задачи оптимального выбора методов и средств геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования инженерных объектов [Текст] / В.С. Хорошилов.- Екатеринбург: Изв. ВУЗов «Горный журнал», № 3, 2007.- С.37-43

15. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.- М.: Наука, 1976.- 280 с.

16. Побережный, А.А. Обоснование точности геодезических работ по обеспечению высотного положения взлетно-посадочных полос аэродромов [Текст] / А.А. Побережный.- Авт. диссер. на соиск. уч. степ. к.т.н, Новосибирск, 2009, 20 с.

© В.С. Хорошилов, 2010

УДК 528 (091)

528 (092)

Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская

СГГА, Новосибирск

ФЕНОМЕН ПРЯМОГО УГЛА И ПРЯМОУГОЛЬНОСТИ В ГЕОДЕЗИИ

В статье рассматриваются роль и значение прямого угла и свойства прямоугольности в теории и практике геодезии, формирование и развитие геодезической технологии. Отмечается их историческая значимость.

G.N. Teterin, M.L. Sinyanskaya

SSGA, Novosibirsk

THE PHENOMENON OF RIGHT ANGLE AND SQUARENESS IN GEODESY

The role and the significance of the right angle, the properties of the squareness in the theory and practice of geodesy as well as the formation and development of the geodetic technology are considered. Their historic significance is stated.

Около 10 тысячелетий назад человек перешел в строительстве жилищ от круглой формы к прямоугольной. Примерно в это же время (или чуть позднее) начали делить земельные угодья прямыми линиями с прямым углом между ними. Много ранее прямой угол люди стали использовать в организации окружающего пространства и ориентировке в нем. Все это возможно предопределило некую заданность развития геометрического и геодезического знания.

По крайней мере, это правомерно поскольку геодезия характеризуется как система знаний о геометрических построениях на земной поверхности.

Объяснение феномена раннего появления и использования прямого угла в деятельности людей лежит в сфере влияния внешней среды.

Это влияние в работе [1] выражено и сформировано в виде принципов влияния: принцип «Вертикаль-горизонталь» (ПВГ) и «Принцип четырех направлений» (П4Н). Они оказывали фундаментальное влияние на развитие геодезии в течение всей ее истории. Главной характеристикой и составной частью этих принципов является прямой угол.

Этот угол стал важнейшей характеристикой всей окружающей среды и всего пространства, как и два геометрических свойства – перпендикулярность и параллельность. Но наиболее наглядно эти геометрические свойства выражены в фигуре человека.

В геометрии фигуры человека вполне четко и очевидно заложено шесть главных направлений, представленных стрелками на рис. 1. Ими в человека заложена пространственная система координат. Эта «система координат»,

заложенная в человека внешней средой («принципы влияния») и вся встроенная в него система прямых углов (условий перпендикулярности и параллельности) позволяет человеку не только отлично «строить» систему ориентации в пространстве, но и «строить» простейшие геометрические фигуры на земле.

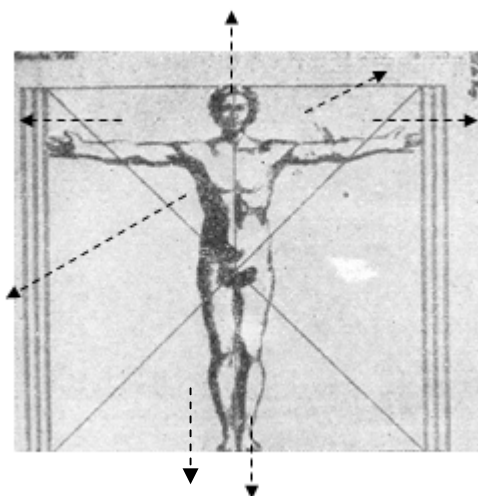


Рис. 1. Геометрия фигуры человека

Роль прямого угла в жизни человека, общества, цивилизации огромна. Это предопределено всей физиологией человека, которая подчинена и устроена с учетом прямого угла. Все подвижные части человека в суставах имеют пределы движений в диапазоне одного или двух прямых углов. Вертикаль человека перпендикулярна разрезу глаз и линии плеч. Вся «геометрия» человека подчинена условиям перпендикулярности и параллельности – основному геометрическому свойству окружающего пространства. Эти соответствующие геометрические свойства человека определялись как основа гармонии, красоты, как основной закон и фундамент мироздания.

Как только человек начал создавать сложные механические системы (охотничий лук) и организовывать окружающее пространство, так прямой угол стал в некотором роде их сердцевинной. Первые отрасли (строительство и земледелие) в хозяйственной деятельности людей формировались изначально на использовании прямого угла. Вся искусственная, вторичная среда, созданная человеком, прямоугольна – прямолинейна, с соблюдением в ней условий параллельности и перпендикулярности. Реализация этих геометрических условий была возложена на человека.

В земледелии, в его организации (землеустройстве) геометрическую основу составляет межевание. В этой основе геометрический каркас создают прямые линии, прямые углы, соответствующие фигуры в виде квадрата и прямоугольника [1]. Правильная (геометрическая) система межевания земельных угодий берет свое начало в 3-ем тысячелетии до н.э. Но попытки деления угодий прямыми линиями на прямоугольные четырехугольники были много ранее – возможно в 5-6 тысячелетиях до н.э. Еще до изобретения специальных средств измерений (мерной веревки, землемерного креста)

человек мог построить на местности простейший квадрат, обходясь тем, «чем бог послал» ему в его фигуре [3].

В первых геометрических построениях на земле, которые необходимы были человеку и в которых прямой угол был важнейшей составляющей, реализация их происходила исходя из принципа «самодостаточности». Действительно, «выстроив» свое тело, его «геометрию» в нужном варианте (прямой взгляд, вытянутые в сторону руки) и продолжив линии рук и взгляда в пространстве и отметив эти линии на земле вешками (колышками), получали прямой угол в пространстве [3]. Естественно, его вершина находилась в точке стояния человека.

Далее нетрудно перейти к построению простейших фигур: квадрата, прямоугольного четырехугольника и треугольника путем отложения по полученным направлениям заданных отрезков с использованием пошаговой меры. Построение таких фигур при размежевании земель показано в работах [1,2,3]. Реализацию «геометрии» в строительстве и межевании осуществляли геодезисты, землемеры. Потребовалось создание соответствующих геометрических геодезических инструментов: мерной веревки, землемерного креста, ватерпаса, хорбаты и т.д. Геометрия в жизни человека есть условие его существования и процветания. Реализацию этого «геометрического» миропорядка осуществлял, в какой-то мере, только геодезист, в разные исторические времена носивший разные наименования, в том числе и геометра. В результате и была создана соответствующая технология. С глубокой древности в геодезии сформировалась прямоугольно-прямолинейная технология [2], использовавшаяся в земледелии, строительстве и военном деле в течение почти пяти тысячелетий. В основе этой технологии было построение на местности прямых углов и прямых линий.

Геодезия в своей деятельности, связанной с геометрией объектов и явлений окружающего пространства, реализует указанные два «принципа влияния»-ПВГ и П4Н [1].

В геодезических инструментах и системах, с помощью которых осуществляется измерение и построение линий и поверхностей в пространстве, в качестве их частей имеются линии (оси) и плоскости, во взаимном положении которых заложено важнейшее требование перпендикулярности и параллельности. Выполнение этого условия осуществляется с помощью поверок. Основные поверки представляют собою поверки прямого угла: поверки уровня, поверки перпендикулярности осей и плоскостей. Эти поверки характерны не только для современных геодезических приборов, но еще в большей степени для инструментов древнего и нового времени. Качество и точность приборов определялась степенью соблюдения при их создании основных геометрических требований. Точность измерений, по крайней мере, в древние времена зависела от точности построения и измерения прямых углов и линий на местности.

Второй важнейшей функцией прямого угла в геодезии, были системы координат, которые во все времена были прямоугольными. В измерении и моделировании пространства необходимым условием является ориентировка в

нем. Поэтому, как правило, определяется главная ориентирующая линия в пространстве (на местности или модели), которая затем определяется как одна из осей координат (см. П4Н). К ней под прямым углом проводится вторая ось. Этим обеспечивается возможность координатизации окружающего пространства (в плоскости). Для трехмерного пространства ориентируется уже две оси (или плоскости), на базе которых строится пространственная система координат.

В координатизации окружающего пространства и угловых измерениях роль прямого угла, как важнейшая составная часть сохраняется, поскольку эти измерения выполняются в пределах одного, двух – четырех прямых углов (для широт, долгот с добавлением соответственно северная или южная, восточная или западная).

На протяжении многих столетий использовалось понятие румба – угловая величина, определявшаяся в пределах прямого угла (какой-либо четверти круга). Столь же велика роль прямого угла в моделировании, контроле объектов и явлений окружающего пространства.

В инженерной геодезии при возведении сооружений и контроле их геометрии важнейшее значение имеют условия перпендикулярности и параллельности. Эти два важнейших свойства окружающего пространства есть свойство прямого угла (или двух прямых). Формировавшаяся или формируемая геодезическая технология в существенной части предопределяла возможность реализации этих геометрических требований.

Пока прямой угол остается некой «нормой» окружающей среды, пока сохраняется «геометрия» человека, до тех пор рассмотренное значение прямого угла в геодезии будет сохраняться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тетерин, Г.Н. Феномен и проблемы геодезии. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 95 с.
2. Тетерин, Г.Н. История геодезии (до XXV.). – Новосибирск: Альянс-Регион, 2008. – 300 с.
3. Тетерин, Г.Н. Древние измерительные системы и два принципа влияния (ПВГ и П4Н) [Текст] / Тетерин Г.Н., Тетерина М.Л. // «ГЕО-Сибирь-2009» V Междунар. выставка и науч. конгр. Т. 1, ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 123–124.

© Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская, 2010

УДК 528.23

Н.А. Телеганов

СГГА, Новосибирск

ОДИН ИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ЗАСЕЧКИ НА ЭЛЛИПСОИДЕ В СИСТЕМЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

В статье рассматривается один из возможных способов решения линейной засечки на эллипсоиде в системе геодезических координат на средние расстояния.

N.A. Teleganov

SSGA, Novosibirsk

ONE OF THE METHODS FOR SOLVING LINEAR INTERSECTION ON THE ELLIPSOID IN GEODETIC COORDINATE SYSTEM

The paper deals with one of the possible solutions of the ellipsoid linear intersection in the geodetic coordinate system for average distances.

Широкое применение в практике геодезических работ различных радиотехнических и спутниковых средств позволяет измерять с высокой степенью точности расстояния между точками земной поверхности, удалёнными друг от друга на сотни километров. А это значит, в настоящее время, представляется возможность и «наземным путем» передачи геодезических координат с высокой точностью на значительные расстояния порядка $S \approx 0.1R$.

Одним из методов решения такой задачи может служить линейная засечка на эллипсоиде.

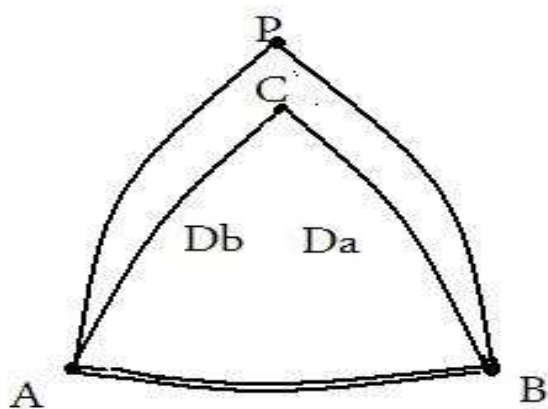


Рис. 1

Предлагаемый ниже способ позволяет решать линейную засечку на эллипсоиде в системе геодезических координат. Решение базируется на применении двух теорем: так называемой «расширенной теоремы Лежандра и теореме Клеро для геодезической линии эллипсоида.

Условно решение этой задачи можно разбить на 3 этапа:

- Редуцирование на эллипсоид непосредственно измеренных наклонных дальностей D_A и D_B (рис. 1);

- Вычисление углов из решения

линейного сфероидического треугольника с применением расширенной теоремы Лежандра;

– Определение координат В, L точки Q и обратных азимутов A_{CA} и A_{CB} на основании теоремы Клеро.

Редуцирование на эллипсоид наклонных дальностей D_A и D_B осуществляется по известным формулам высшей геодезии. При этом, поправками за переход от длин нормальных сечений на эллипсоиде SA и SB к длинам геодезических линий из-за их малости можно пренебречь.

На втором этапе – решение сфероидического линейного треугольника ACB, сначала треугольник решается как плоский, а затем, применяя «расширенную теорему Лежандра» можно вычислить сфероидические углы $-\beta_i$

$$\beta_i = \beta_i^* + \varepsilon/3 + \varepsilon/60 \times k(m^2 - S_i^2) + \varepsilon/12 \times (k_i - k)/k.$$

Здесь: β^* - плоский угол;

ε – сферический избыток;

k – кривизна поверхности;

$$k_i = 1/R_i^2; k = (k_A + k_B + k_C)/3; m^2 = (S_A^2 + S_B^2 + S_C^2)/3; \varepsilon = \rho'' P_0/R^2 \times (1 + m^2/(8R^2));$$

$$P_0 = \sqrt{p(p - Sa)(p - Sb)(p - Sc)}; p = (S_A + S_B + S_C)/2.$$

Имея сфероидические углы - β_i ($i = A, B, C$) и, применяя теорему Клеро для геодезических линий AC и BC на эллипсоиде:

$$N_i \cos B_i \sin A_{iC} = - N_C \cos B_C \sin A_{Ci} \quad (i = A, B),$$

можно из решения таких двух уравнений с двумя неизвестными найти обратный азимут и широту точки C:

$$A_{CA} = \arctg \{ \ctg \beta_C - (N_B \cos B_B \sin A_{BC}) / (N_A \cos B_A \sin A_{AC} \sin \beta_C) \},$$

$$B_C = \arctg \{ \tg [\arccos((N_A \cos B_A \sin A_{AC}) / (a \sin A_{CA}^*))] \sqrt{1 + e^2} \}$$

В этих формулах принято:

– $N = a / (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$ – радиус кривизны первого вертикала;

– a, e^2 – параметры эллипсоида;

– $A_{CA}^* = A_{CA} \pm 180$.

Долгота точки C вычисляется по известным формулам [2, стр.110]:

$$L_C = L_A + \Delta L,$$

$$\Delta L = \Delta \lambda - \sin A_0 \{ \beta_1 \sigma + \beta_2 \sin \sigma \cos(2\sigma_1 + \sigma) + \dots \},$$

$$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1; \beta_1, \beta_2 - \text{постоянные коэффициенты}; \sigma = \sigma_2 - \sigma_1;$$

$$\sigma_1 = \arctg(\tg U_A / \cos A_{AC}); \sigma_2 = \arctg(\tg U_C / \cos(A_{CA} - 180));$$

$$A_0 = \arcsin(\cos U_A \sin A_{AC}); \lambda_i = \arctg(\sin A_0 \tg \sigma_i) \quad (i = 1, 2).$$

Формулы для вычисления обратных азимутов и широты являются строгими «замкнутыми», а формула вычисления долготы – ряд.

Для проверки теоретических выводов были выполнены сравнительные вычисления координат точки C и обратных азимутов при расстояниях $D_A = 420$ км и $D_B = 320$ км. Наибольшие расхождения составили:

в широте – 0.005”;

в долготе – 0.004”;

в азимутах – 0.03”.

При этом сравнение производилось по трем различным способам решения главной геодезической задачи на эллипсоиде для больших расстояний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов, В.П. Курс сфероидической геодезии [Текст] / В.П. Морозов. - М.: Недра, 1979. - 296 с.
2. Телеганов, Н.А. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем [Текст] / Н.А. Телеганов, А.В. Елагин. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 238 с.

© Н.А. Телеганов, 2010

УДК 528.48:681.7

М.А. Скрипникова

СГГА, Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБА И КРЕНА СТЕНОК ШЛЮЗОВОЙ КАМЕРЫ

Предлагается методика определения изгиба и крена стенок шлюзовых камер. Методика основана на комплексном применении электронных тахеометров и лазерных приборов вертикального проектирования. Даны рекомендации по методике измерений прибором ZL200.

M.A. Skripnikova

SSGA, Novosibirsk

DETERMINATION OF THE LOCK CHAMBER WALLS HEELING AND BEND

The methods for determining the lock chambers walls bend and the heel are offered. The methods are based on the complex application of the total station and laser devices with vertical projection. The recommendations on measurements by ZL200 device are given.

При увеличении необратимых деформаций стенок шлюзовых камер возникает задача получения максимального объема информации о геометрических параметрах шлюзовой камеры. Максимальный объем информации в настоящее время может дать применение для измерений наземных лазерных сканеров. Трёхмерное изображение объекта позволяет выполнять практически любые измерения в реальном масштабе. Однако, при незначительных, до 1-2 мм, приращениях деформаций между циклами измерений, точность современных лазерных сканеров недостаточна. Поставленная задача может быть с успехом решена комплексным применением высокоточных электронных тахеометров и приборов вертикального проектирования.

Для решения задачи определения крена и изгиба стенок необходимо задать исходные направления. С учетом поставленной задачи и условий выполнения измерений точками исходными направлений будут точки двух створов для каждой из стенок (рис. 1). Точки одного из створа располагаются по верху стенок (створы АВ и CD), а другого створа – в основании стенок (створы A_1B_1 и C_1D_1 должны располагаться напротив точек створов АВ и CD). Для удобства дальнейших вычислений расстояния AA_1 и BB_1 , а также CC_1 и DD_1 необходимо делать равными.

Следует отметить, что решить задачу определения изгиба и крена стенок можно с применением и одного из створов для каждой стенки. Однако для контроля результатов измерений нами рекомендуется применять по два створа.

Важной составной частью технологической схемы выполнения створных измерений является выбор конструкции марок и их закрепления. Марки створов АВ и CD будут находиться всегда в хороших условиях и доступ к ним возможен практически в любое время дня и года. Марки же створов A_1B_1 и C_1D_1 с начала мая по середину октября будут находиться под водой и на уровне дна шлюза. Поэтому их конструкция должна учитывать данный факт, а также возможность их повреждения при осушенной камере.

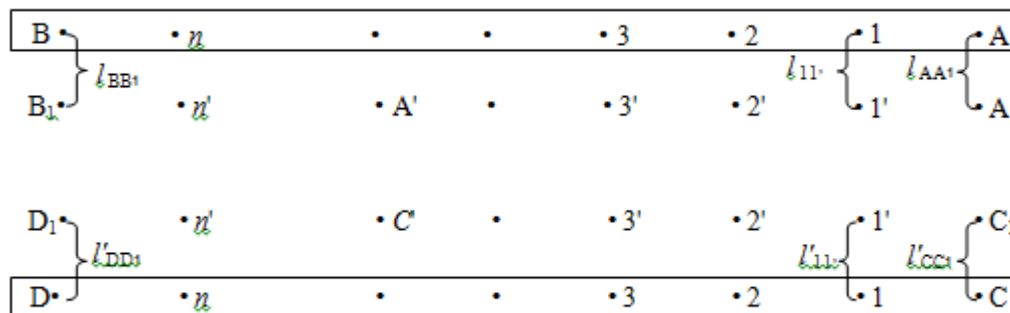


Рис. 1. Схема створов шлюзовой камеры

Предусматривается возможность принудительного центрирования марок створов АВ и CD путем применения переходника в виде резьбового соединения трегера теодолита или тахеометра, а также створной марки, со всеми марками створов. Выбор конструкции марок обуславливается выбором способа выполнения створных измерений. В свою очередь выбор способа створных измерений обуславливается конструкцией шлюза и условиями измерений.

Так как для определения крена стенок и их изгиба створные измерения необходимо выполнять на двух уровнях, то влияние внешних условий на результаты измерений будут различными. Длина створов не позволяет применить струнно-оптический способ створных измерений. Поэтому наиболее оптимальным с организационной точки зрения будут являться способы створных измерений, основанные на применении оптических приборов. К таким способам относятся способ подвижной марки по программе последовательных створов и малых углов [1].

Так как для определения вертикальности стенок будет применяться вертикальное проецирование оптическими и лазерными приборами, то с целью уменьшения ошибки за наклон и разворот линейки (палетки) расстояние l между створами АВ и A_1B_1 , а так же CD и C_1D_1 делается минимальным. Кроме того, марки створов A_1B_1 и C_1D_1 должны быть установлены под прямым углом к створам, соответственно, АВ и CD.

Створные измерения необходимо выполнять при таком состоянии внешних условий, когда колебания светового луча будут носить случайный характер. Необходимо отметить, что при выполнении измерений в апреле или октябре следует ожидать минимального влияния боковой рефракции, так как вода в камере шлюза отсутствует.

Непосредственно выполнение створных измерений по верху стенок производится с принудительным центрированием теодолита и створной марки. При реализации способа подвижной марки теодолит устанавливается в начале створа (точка А) и примерно посередине (прямой ход), а затем в конце створа (точка В) и также примерно посередине (обратный ход). С целью ослабления влияния турбулентных явлений измерения необходимо выполнять в прямом и обратном направлениях дважды.

При реализации способа малых углов измерения также производятся с двух конечных точек створа. При этом целесообразно применять тахеометры, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения угла $1,0''$.

Производство створных измерений по дну камеры шлюза выполняется без принудительного центрирования теодолита или тахеометра. Створная марка центрируется принудительно по центру крестообразной насечки донной марки. Для уменьшения ошибки за центрирование теодолита высота его над точками А и В делается минимальной. Так как в электронном тахеометре вводится поправка в измеренные углы за наклон оси вращения, то его применение при реализации способа малых углов предпочтительнее.

Итак, результаты створных измерений поверху стенок позволяют определить их изгиб поверху. Результаты створных измерений по маркам дна камеры позволяют задать опорную линию. Для определения величины изгиба стенок шлюза на разной высоте, а также их наклона необходимо относительно створов A_1B_1 и C_1D_1 в каждом цикле измерять величины l_1 и l' (рис. 2).

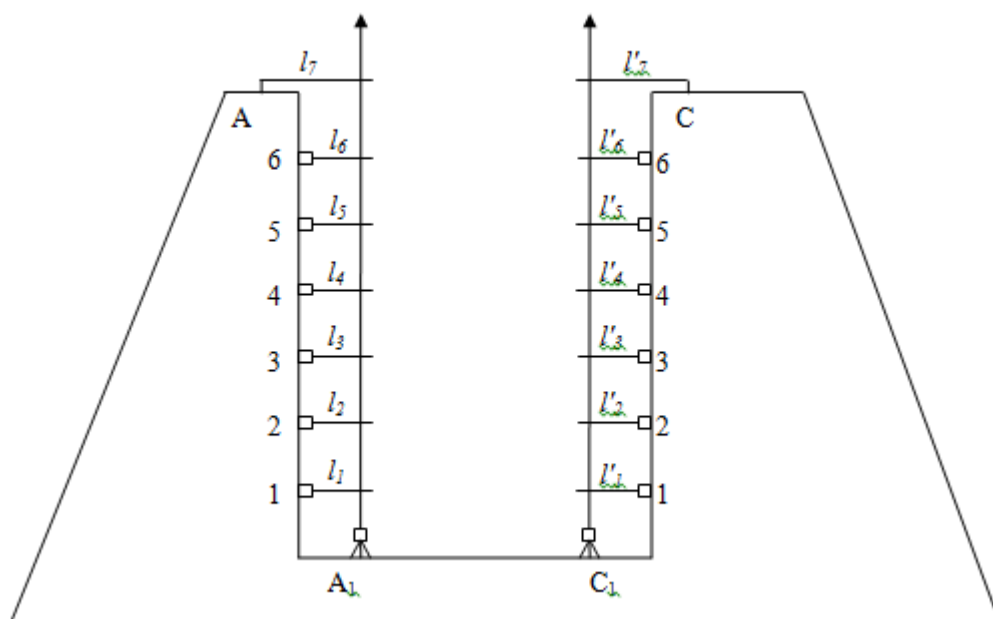


Рис. 2. Схема определения крена стенок шлюзовой камеры

Данные отрезки можно определить вертикальным проецированием на разные высоты стенок. Для однозначной установки линейки (палетки) на точках стенок шлюза необходимо на их плоскостях закрепить металлические пластины размером $\approx 40 \times 40$ мм или выбранные места тщательно очистить от различных наслоений, а затем выполнить шлифовку бетонной поверхности.

Производство вертикального проецирования может выполняться оптическими или лазерными приборами вертикального проецирования. Измерения выполняются в каждой точке створов A_1B_1 и C_1D_1 .

Основными источниками ошибок проецирования будут ошибки центрирования прибора вертикального проецирования, отсчета по линейке или палетке, за влияние внешних условий и за шероховатость плоскости стенок шлюза при установке к ним линейки.

Наибольшую ошибку при выполнении измерений может оказать влияние внешних условий, к которым в основном относится влияние турбулентности воздуха.

Применение лазерных приборов вертикального проецирования более удобно в организационном отношении, чем оптических. Поэтому нами рекомендуется в данном случае применять эти приборы.

В лабораторных условиях было выполнено определение стабильности показаний одного из современных лазерных приборов вертикального проектирования. Особенностью исследуемого прибора ZL200 является возможность автоматически устанавливать компенсатор в отвесное положение, фокусировать лазерный луч с пульта дистанционного управления, возможность автоматизированного смещения направления лазерного луча. Поскольку глубины шлюзовых камер не превышают 40 метров, то для определения стабильности положения луча во времени, прибор был установлен на расстояние 40 метров от визирной цели.

Разворот зенит-луча на 90° был выполнен при помощи пентапризмы. Положения центра лазерного луча после включения прибора фиксировалось по палетке с точностью 0,1 мм, в течении 60 минут с интервалом в 5 минут. Анализ данных измерений показал, что положение луча стабилизируется с точностью до 0,1 мм через 30 минут.

На рис. 3 приведены результаты измерений положения лазерного пучка во второй серии измерений. Вторая серия измерений была выполнена через один час после первой. В ней второй отсчёт на каждом временном интервале брался после повторной фокусировки луча. На рисунке видно, что стабилизация положения пучка наступает примерно через 30 минут после включения прибора. Различие показаний в отсчётах, обусловленных работой автоматизированного фокусирующего устройства, незначительны и сравнимы с точностью отсчитывания. Приём измерений прибором ZL200 должен состоять из двух полуприёмов. Измерения необходимо начинать, для данного прибора, через 30 минут после включения прибора. Между полуприёмами необходимо выполнять небольшой наклон прибора и повторное горизонтирование. Это позволит выполнить контроль работы устройства автоматического горизонтирования. В полуприёме берутся два отсчёта с перефокусировкой между ними и аналогично два отсчёта при повороте прибора на 180° . Измерения на каждой марке по стенке должны начинаться и заканчиваться отсчитыванием по верху стенки.

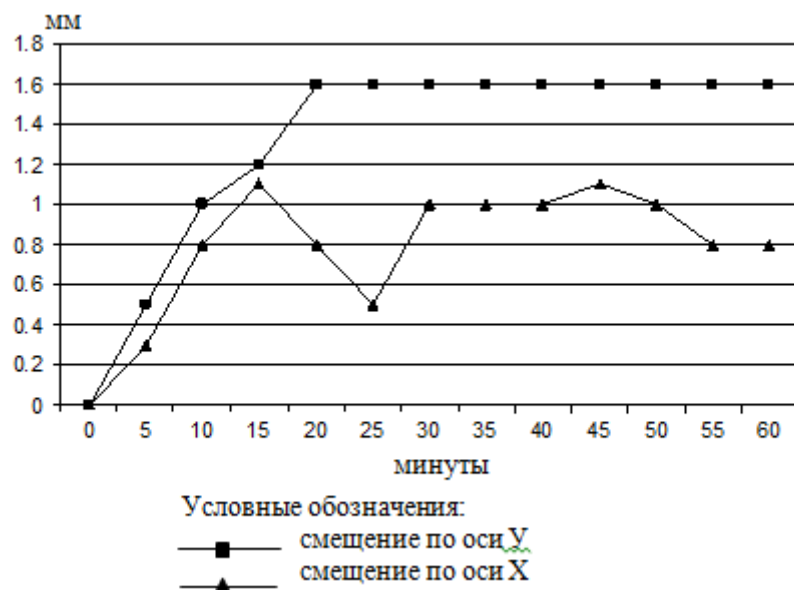


Рис. 3. Изменение положения центра лазерного луча

В общем случае порядок вычислений при определении изгиба стенок и крена включает в себя:

- 1) Вычисление нестворностей по створам низа и верха стенок;
- 2) Вычисление разностей l и l' для каждого горизонта и ряда;
- 3) Сравнение полученных разностей между горизонтами и рядами;
- 4) Построение графиков изгиба стенок по горизонтам и наклона по рядам;
- 5) Выявление минимальных и максимальных деформаций стенок;
- 6) Определение величины сближения верха стенок в результате их наклона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карлсон, А.А. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами // Карлсон. – М.: Энергия, 1980. – 200 с.

© М.А. Скрипникова, 2010

УДК 528.48:626

В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ПЛАНОВОГО ОБОСНОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассматривается методика измерения определения горизонтальных смещений. Точность определения координат пунктов предлагается повысить исключением из методики угловые измерения. Для определения устойчивости пунктов исходной основы рекомендуется применять спутниковые геодезические приёмники.

V.A. Skripnikov, M.A. Skripnikova

SSGA, Novosibirsk

THE PROBLEM OF DESIGNING HORIZONTAL CONTROL NETWORK FOR MONITORING OF HYDRAULIC STRUCTURES HORIZONTAL DISPLACEMENTS

The techniques for the monitoring of horizontal displacements are considered. Determination of the points coordinates accuracy is suggested to be improved by eliminating angular measurements. In order to determine the reference marks steadiness the GPS- receivers are recommended to be used.

Для определения абсолютных смещений частей гидротехнических сооружений, в частности бетонных плотин, в настоящее время рекомендуется использовать, в основном, линейно-угловые построения [1]. На начальном этапе эксплуатации сооружений наблюдения в геодезических сетях выполнялись методом гидротехнической триангуляции. С появлением высокоточных светодальномеров и электронных тахеометров угловые измерения дополняют линейными измерениями. Точность вычисления координат в сети повышается. Процент повышения точности зависит от формы сети, и, в том числе от длин сторон в сети. Дальнейшее повышение точности сети невозможно без изменения формы сети, количества исходных пунктов, уменьшения длин линий.

На наш взгляд, для некоторых гидротехнических сооружений, точность определения координат может быть повышена исключением из методики части угловых измерений, поскольку погрешность измерения значения направления между циклами до 1" при расстояниях до одного километра может изменить взаимное положение опорных пунктов до 5мм и более. К таким угловым измерениям относятся углы, направления которых заведомо ранее будут подвержены боковой рефракции. Причём, трилатерация может быть дополнена

измерением нескольких углов, точность измерения которых одного порядка с точностью измерения линий.

На рисунке 1 приведена схема сети гидротехнической триангуляции, в которой дополнительно измерены все стороны. Технические характеристики сети находятся в пределах допустимых значений. Средние квадратические погрешности определения координат пунктов А, Б и В, по результатам уравнивания, равны 1.3 мм, 0.9 мм, 1.1 мм соответственно. В результате анализа данных предварительной обработки угловых измерений, было высказано предположение о более низкой точности измерения направлений на пункте Б, по сравнению с другими пунктами. Исключив угловые измерения на пункте Б при повторном уравнивании, были получены для пунктов А, Б, и В погрешности, равные 0.7 мм, 0.6 мм. и 0.7мм. соответственно. Таким образом, повышение точности, в среднем, на 50%. Приближение схемы гидротехнической триангуляции к схеме трилатерации, кроме повышения точности, даст большой экономический эффект за счёт сокращения сроков выполнения наблюдений.

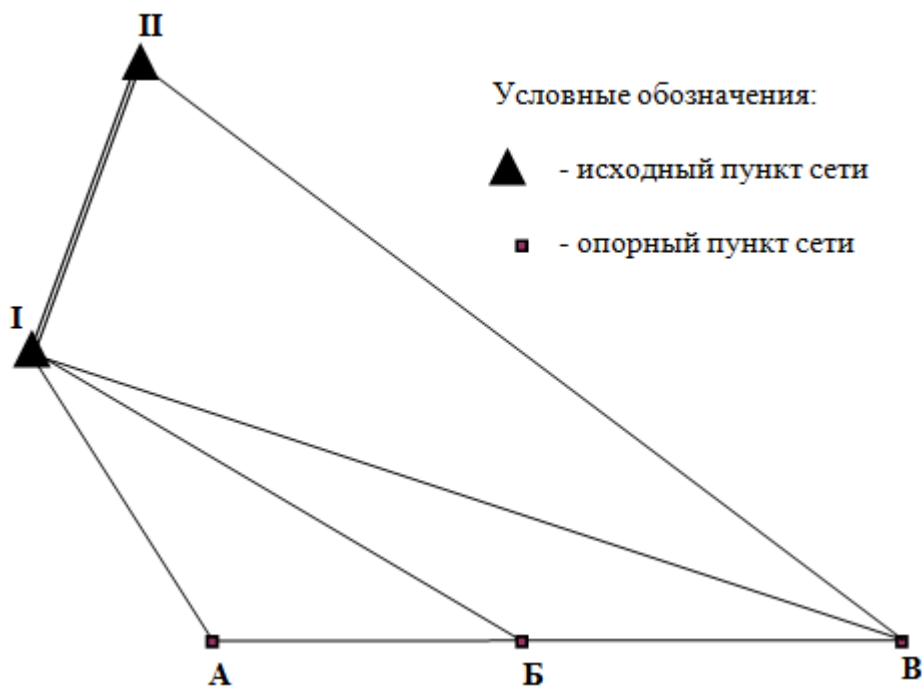


Рис. 1. Схема линейно-угловой сети Новосибирской ГЭС

Заслуживает особого внимания применение технологий ГНСС при модернизации плановых сетей. Существующие схемы сетей мало пригодны для организации сеансов наблюдений спутниковыми геодезическими приёмниками (СПП), особенно это касается опорных пунктов створов. Кроме того, точность определения базисных линий СПП одного порядка с точностью наземных измерений. Поэтому, для реализации преимуществ спутниковых технологий, в частности, отсутствие необходимости в прямой видимости между

определяемыми пунктами, существующие схемы сетей могут быть перестроены следующим образом.

На расстоянии примерно около километра закладывается куст из четырёх исходных пунктов в удобном месте, с взаимной видимостью между ними. Расстояния между пунктами несколько десятков метров. Пункты предназначены для передачи координат с них спутниковыми приёмниками на исходные пункты сети или непосредственно на опорные пункты створов. Взаимная устойчивость исходных пунктов определяется из линейных измерений в геодезическом четырёхугольнике. Базисные линии на определяемый пункт измеряются с каждого исходного пункта. Таким образом, точность определения координат пунктов может быть повышена, при паспортной точности измерений СПГ в 5 мм, до 2,5 мм. На объекте может быть заложено два куста исходных пунктов, связанных между собой измерением базисных линий. Система координат на пункты кустов передается с пунктов гидротехнической триангуляции. Существующие исходные пункты предлагается максимально приблизить к объекту наблюдений, с условием выполнения на них спутниковых измерений и удобства измерений на опорные пункты. Приближение исходных пунктов на расстояния 100-200 метров, особенно для низконапорных плотин, позволит с максимальной точностью выполнять линейно-угловые измерения на опорные пункты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карлсон, А.А. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами // Карлсон. - М.: Энергия, 1980. – 200 с.

© В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова, 2010

УДК 528.425+528.915

Я.Г. Пошивайло, А.В. Радченко

СГГА, Новосибирск

А.П. Чахлова

Е4-СибКОТЭС, Новосибирск

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ РАСТРОВЫХ БАЗ ДАННЫХ

Предлагается методика создания растровых баз данных для пояснения и уточнения содержания планов, повышения их информативности.

Ya.G. Poshivailo, A.V. Radchenko

SSGA, Novosibirsk

A.P. Chakhlova

E-4-Sibcotes, Novosibirsk

IMPROVEMENT OF TOPOGRAPHIC PLANS INFORMATIONAL CONTENT DUE TO RASTER DATABASES APPLICATION

The techniques for raster databases development are offered, which are to be used for explanation and precise definition of the plans as well as for their informational contents improvement.

Наиболее часто для составления исполнительного, генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки с густой сетью подземных коммуникаций, промышленных предприятий, для решения вертикальной планировки, составления планов подземных сетей и сооружений и привязки зданий и сооружений к участкам строительства, решение разнообразных проектных задач на застроенных территориях города используются топопланы масштаба 1:500. Все составляемые (в графическом или цифровом виде) инженерно-топографические планы должны содержать информацию в соответствие с современным состоянием элементов ситуации и рельефа местности, существующих зданий и сооружений (наземных, подземных и надземных) с их техническими характеристиками. Иногда в строительстве и ландшафтном проектировании используют топопланы 1:250, 1:200, 1:100 и 1:50 масштабов для более детального отображения расположения коммуникаций, однако требования к точности топосъемки данных масштабов не регламентируются нормативными документами и должны задаваться техническим заданием заказчика [1,2].

Кроме этого на топопланах не отображается полная информация о положении коммуникаций внутри теплокамер/колодцев, взаимном пересечением трубопроводов, наличии кранов и задвижек на трубах, хотя эта

информация часто оказывается наиболее важной для работы проектировщиков. Также топографическая съемка малых объектов традиционными способами занимает много времени, крайне трудоемка, иногда не возможна многими типами геодезических приборов, потому не эффективна и является крайне дорогостоящей. В связи с этим необходимо выполнять подробное обследование теплокамер с указанием промеров до труб от стенок теплокамер, внутренних размеров теплокамеры, высотного положения каждой трубы относительно пола теплокамеры. Вся эта информация заносится в журнал обследований. Однако данная информация не наглядна, а также может вызвать некоторые трудности при разработке проектов, т.к. не всегда в техзадании указывается, какие именно нужны промеры, какие коммуникации требуются показать и обследовать более детально. В связи с этим полевой бригаде геодезистов приходится выезжать на обследование объектов повторно, что занимает дополнительное время.

Вышеуказанную проблему возможно решить с помощью использования цифровых фотоснимков [2,3] и фотограмметрических методов их обработки, что позволяет ускорить полевые работы при создании топографических планов крупных масштабов. Данный способ применим и для существующих масштабов. Технология исполнения данного метода включает следующие этапы:

- 1) Создание планово-высотного съёмочного обоснования GPS-приёмниками с близлежащих пунктов ГГС;
- 2) Выполнение фотографической и топографической съёмки объекта в масштабе 1:500:
 - а) Во время строительства в открытых траншеях и котлованах;
 - б) После обустройства и приёмки объекта в эксплуатацию;
- 3) в процессе камеральной обработки результатов полевых работ и фотоснимков в программе PhotoModeler Pro 4.0 создаются топопланы в программе MapInfo Professional 7.8 SCP.

Данная методика выполнялась при выполнении геодезического надзора за строительством газопровода «СРТО-Торжок» I и II ниток на крановых узлах и узлах запуска. В виду специфики строительства, не всегда удавалась съёмка подземных коммуникаций в открытых траншеях и котлованах, даже в безотражательном режиме, а в подземном состоянии из-за большой насыщенности труб разного диаметра, от 1420 мм до 59 мм, на небольшом участке трассопоисковая система с генератором способна показывать только трубу наибольшего диаметра. Для решения данной проблемы была выполнена топографическая съёмка объекта после завершения строительства и обустройства, а так же получены цифровые снимки труб в открытом состоянии. Подземные коммуникации, не поддающиеся обнаружению трассопоисковой аппаратурой, были нанесены на план по полученным цифровым фотографиям, которые масштабировались по надземным частям, закоординированными при топосъёмке.

Для наглядности и информативности предлагается создавать цветное обозначение соответствующих коммуникаций на снимках с помощью заливок.

Это можно выполнить при помощи программы Adobe Photoshop, либо других графических редакторов, которые позволяют работать с изображениями для изменения их текстуры или цвета. Так в пояснениях к условным знакам для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 в п. 195 [5] указывается, что «...как правило, данные знаки наносят черным цветом, но при наличии дополнительных требований, для большей наглядности могут быть переданы: водопроводы – зеленым, канализационные сети – коричневым, газопроводы – голубым, тепловые сети – синим и т.д. При этом сохраняются в установленном начертании все графические элементы трубопроводов и все пояснительные надписи...» [4]. Однако, эти требования не регламентированы и могут варьироваться в зависимости от требования заказчика. В связи с этим, при работе с материалами, полученными в другой организации (и даже другим исполнителем) возможно возникновение ошибок при последующих работах, т.к. каждый исполнитель (даже внутри одной организации), использует удобные ему для работы свои цветовые обозначения коммуникаций. Это может отрицательно повлиять на эффективность выполнения работ, поэтому нами рекомендуется закрепить нормативно данный пункт. Также нами предлагается оставить цветовое решение, рекомендуемое условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 п. 195 [4], для обозначения водопровода, газопровода и тепловых сетей нами зеленым, голубым и синим цветом соответственно, для отображения канализационных сетей (бытовых, производственных, производственно-ливневых, условно чистых вод, химически загрязненных стоков и др.) оставить цвет коричневый [4]. Для остальных видов коммуникаций предлагаются следующие распространенные и легко распознаваемые цветовые обозначения: канализация ливневых сетей – оранжевый, дренажный трубопровод – желтый, нефтепровод – красный, электрокабели (в лотке) – фиолетовый, кабели связи и технические средства управления (в лотке) – розовый, воздухопровод – белый, мазутопровод – оливковый, бензопровод – салатовый, золопровод – серый. Для строящихся коммуникаций помимо цветового обозначения необходимо добавить штриховку с наклоном вправо под 45°.

Рассмотрим технологию проектирования трубопроводов по фотоснимкам на конкретном примере. Для проектирования имеется немасштабный фотоснимок (рис. 1) и участок топографической съемки в масштабе 1:500 для данной территории (рис. 2). На основе этих материалов можно выполнить проектирование врезки теплопровода в уже существующие коммуникации с учетом других трубопроводов различного назначения. При первом рассмотрении фотоснимка уже возможно визуально определить одно из предполагаемых расположений теплопровода. В данном случае, с учетом взаимного расположения других труб, как один из оптимальных вариантов, выбрано проложение теплопровода по земле между уже существующим «теплом» и трубами промышленного водовода с точкой врезки в трубопровод соответствующего назначения (рис. 3). Одним из преимуществ данного способа выбора проектного решения является то, что даже не имея высотных

отметок на топооснове, которые загружали бы ее чтение, с помощью фотоснимка можно выбрать вариант расположения проектируемой трубы, исключив тем самым выполнение лишних измерений, сделав лишь необходимые после утверждения окончательного решения.

К тому же, фотоснимки, сделанные с различных ракурсов, позволяют увидеть более полную картину о местах пересечений, трудных узловых развязок коммуникаций, наличие задвижек, внешнее состояние коммуникаций и создать растровую базу данных, повышающую информативность топографической основы. При этом нет необходимости выезжать на снимаемую местность при возникновении вопросов об объекте до окончательного выбора проектного решения.



Рис. 1. Фотоснимок участка, где необходимо выполнить проектирования теплопровода

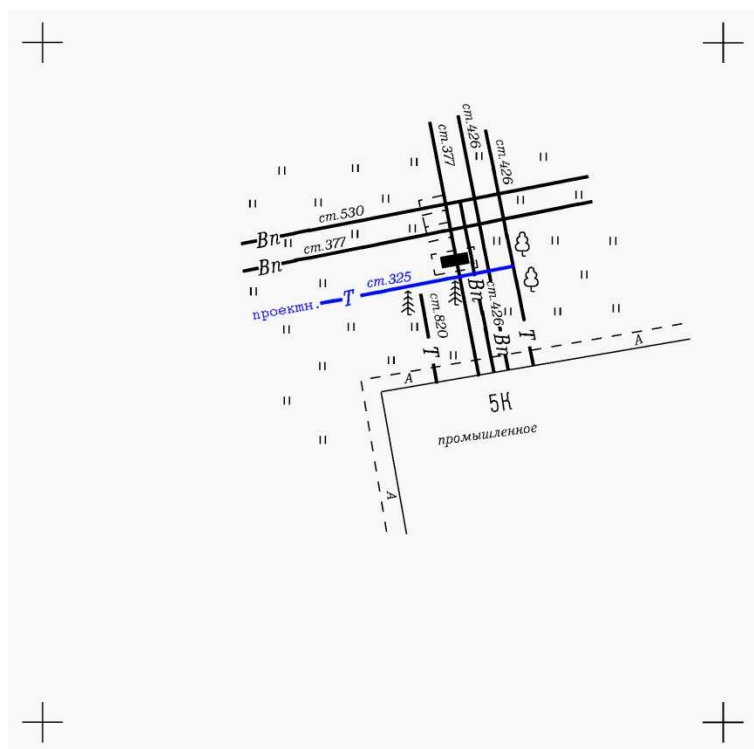


Рис. 2. Фрагмент топографического плана на заданный участок М1:500



Рис. 3. Фотоснимок с нанесенным проектируемым теплопроводом

С помощью растровых баз данных, в которых будут храниться фотоснимки коммуникаций объекта с момента его образования и в каждом последующем его изменении, можно отслеживать изменения объектов (теплокамер, подстанций и т.д.) на протяжении всей его «жизни». Это позволит просматривать уже существовавшие ранее варианты расположения коммуникаций с начала постройки объекта по настоящий момент, что исключит возможность повторения ошибочных проектных решений, существовавших ранее. Однако существует проблема хранения данной информации. Так как все материалы выполненных работ зачастую являются коммерческой тайной предприятий, то они не передаются для работы другим организациям. Поэтому для создания единого информационного пространства необходимо обеспечить хранение баз данных в одном источнике, из которого можно было бы брать информацию для ее просмотра. На данный момент подобными правами (хранение планшетов масштаба 1:500 для их обновления) в г. Новосибирске обладает лишь Муниципальное автономное учреждение «Информационного обеспечения градостроительства» и Главное управление архитектуры и градостроительства мэрии г. Новосибирска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич, Г.А., О необходимости создания топографических планов масштабов 1:250, 1:200 и 1:100 / Г.А. Уставич, Я.Г. Пошивайло // Геодезия и картография. – 2006. – №3. – С.25-28.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – М., 1997.
3. Комбинированный способ создания инженерно-топографических планов масштаба 1:500 промышленных территорий и отдельных промплощадок / Г.А. Уставич, В.А. Середович, Я.Г. Пошивайло, А.В. Середович, А.В. Иванов // Геодезия и картография. – 2009. – №1. – С.31-37.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – М.: Недра, 1989.

© Я.Г. Пошивайло, А.В. Радченко, А.П. Чахлова, 2010

УДК 528.48:004

В.Н. Полещенко

ОАО ПИ «Новосибгражданпроект», Новосибирск

Л.С. Любивая

СГГА, Новосибирск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Излагается способ решения задачи параметрического уравнивания измерений и оценки точности методом нелинейного программирования.

V.N. Poleshchenkov

Public corporation design institute Novosibgrazhdanproject, Novosibirsk

L.S. Lyubivaya

SSGA, Novosibirsk

IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUES FOR PROCESSING MEASUREMENT DATA TO BE USED IN GEODETIC SUPPORT OF DESIGN AND CONSTRUCTION

The technique for the problem solution is given as concerns parametric adjustment of measurement data and accuracy ranking by means of nonlinear programming.

Стремительное развитие высокоточных измерительных систем, таких как GPS, дистанционное зондирование, наземные измерительные системы, существенно могут менять классическую модель обработки, хорошо известную «старым геодезистам», а именно триангуляции, трилатерации и полигонометрии. В современных измерительных системах изменяется, или уточняется, не только физический принцип измерений, но и математическая модель обработки, которая переводит полученные результаты измерений в привычную и необходимую для нас форму: координаты, приращения координат, расстояния, углы, высоты, время и т.д.

Классическая схема метода наименьших квадратов для поиска поправок к измеряемым величинам требует линеаризации исходной модели с достаточно точными начальными параметрами. В силу выше сказанного, данная задача может оказаться довольно рутинной, но технически понятной. Кроме этого встает вопрос о нумерации переменных, размере матрицы и ее устойчивости. При неточных параметрах возникает необходимость в повторном уравнивании с учетом решений, полученных на предыдущем шаге. При изменении

математической модели природы измерений технологический процесс обработки данных требует новых усилий.

Нелинейная модель обработки лишена этих недостатков.

Известно, что поправки v_i в результаты измерений в параметрическом способе уравнивания являются функциями параметров t_j и измерений l_i

$$v_i = f_i(t_1, \dots, t_k) - l_i \quad (i=1, \dots, n), \quad (1)$$

где n – число измерений, k – число искомых независимых параметров.

При этом уравненные параметры t_j должны доставлять минимум функционала следующего вида:

$$\Phi(t_1, \dots, t_k) = \sum (f_i(t_1, \dots, t_k) - l_i)^2 = \min \quad (2)$$

Поиск уравненных параметров путем минимизации функционала (2) начинается с приближенных значений параметров t_j^0 . В теории и практике накоплен большой арсенал средств, позволяющих успешно решать подобные задачи. Например, современный Intel Visual Fortran Compiler Professional for Windows, позволяющий создавать программы для многоядерных процессоров, может поставляться вместе с библиотекой, которая обеспечивает решение таких задач. Авторы данной работы при решении подобных задач используют свою собственную процедуру оптимизации.

Итак, если найдены уравненные параметры $t_1, \dots, t_k$, обеспечивающие минимум функционала (2) с заданной точностью, то средняя квадратическая ошибка единицы веса μ может быть вычислена как

$$\mu = \sqrt{\frac{\Phi(t_1, \dots, t_k)}{n-k}} = \sqrt{\frac{V^T V}{n-k}}. \quad (3)$$

Возникает вопрос, каким способом можно выполнить оценку точности любой величины? Иными словами, если задана функция уравненных параметров, то как вычислить $1/p_F$ нелинейным методом. Классическая схема предлагает следующий подход. Если задана произвольная функция уравненных параметров вида

$$F = F(t_1, \dots, t_k),$$

то

$$1/p_F = F^T Q F, \quad (4)$$

где $F^T = (F_1, \dots, F_k)$, Q - обратная матрица системы нормальных уравнений, а

$$F_j = \frac{\partial F(t_1, \dots, t_k)}{\partial t_j} \quad (j=1, \dots, k).$$

Тогда $m^2 = \mu^2 / p_F$ или $m = \mu \sqrt{F^T Q F}$.

Следовательно, мы должны уметь вычислять нелинейным методом элементы матриц F и Q .

Для вычисления нелинейным методом j строки матрицы Q воспользуемся теоремой, доказанной ранее [1], из которой следует, что для нахождения $q_{j1}, \dots, q_{jk}$ необходимо минимизировать функционал вида

$$\Phi(t_1, t_j+1, t_k) = \sum (f_i(t_1, t_j+1, t_k) - l_i)^2 = \min, \quad (5)$$

где j параметр возмущается на единицу, а поиск минимума функционала (5) осуществляется по оставшимся параметрам без участия j параметра. Для оставшихся параметров начальные значения принимаются равными уравненным параметрам, полученным из (2).

Пусть функционал (5) достигает своего минимума при следующих параметрах $\tilde{t}_1, \dots, t_j + 1 \dots \tilde{t}_k$:

$$\Phi(\tilde{t}_1, \dots, t_j + 1 \dots \tilde{t}_k) = \sum (f_i(\tilde{t}_1, \dots, t_j + 1 \dots \tilde{t}_k) - l_i)^2 = \tilde{V}^T \tilde{V} = \min. \quad (6)$$

Тогда j элементы матрицы Q равны

$$q_{j1} = \frac{\tilde{t}_1 - t_j}{\tilde{V}^T \tilde{V}}, \dots, q_{jj} = \frac{1}{\tilde{V}^T \tilde{V}}, \dots, q_{jk} = \frac{\tilde{t}_k - t_k}{\tilde{V}^T \tilde{V}}. \quad (7)$$

Для вычисления элементов матрицы $F^T = (F_1, \dots, F_k)$ и веса функции $1/p_F$ воспользуемся результатами работы [2], из которой следует, что

$$g_j = F(t_1 + q_{j1}, \dots, t_k + q_{jk}) - F(t_1, \dots, t_k) \quad (j=1, \dots, k); \quad (8)$$

$$1/p_F = F(t_1 + g_1, \dots, t_k + g_k) - F(t_1, \dots, t_k). \quad (9)$$

При этом, как утверждает автор работы [2], данный метод применим для оценки точности любых функций коррелированных и некоррелированных аргументов.

Таким образом, поставленная задача решена. Данный метод позволяет полностью решить задачу уравнивания и оценки точности, оставаясь в рамках одной модели нелинейного программирования. Более того, при выборе другого предполагаемого закона распределения случайных ошибок измерений, отличного от нормального, в данном методе изменится только вид функционала (2). Для неравноточных измерений необходимо l_i умножить на $\sqrt{p_i}$, где p_i - веса измерений определяемые, а priori или а posteriori.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полещенков, В.Н. Уравнивание и оценка точности геодезических сетей в АИС ГС// Цифровое картографирование, городской кадастр и ГИС: Научн.-техн.сб. по геодезии, аэрокосм. съемкам и картографии.- М.: ЦНИИГАиК, 1996. – С. 67–77.
2. Юршанский, З.М. Некоторые вопросы расширения многообразия и унификации алгоритмов уравнивательных вычислений в связи с применением ЭВМ. // Проблемы математической обработки геодезических сетей. - Материалы Всесоюзной конференции, Новосибирск, 1979. – С. 22–27.

© В.Н. Полещенков, Л.С. Любивая, 2010

УДК 528.48

Т.А. Петухова

СГГА, Новосибирск

СИСТЕМНО-ЦЕЛЕВОЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТРАНСЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Разнообразие физико-географических, экологических, социально-экономических и других условий, существующих на территории, где проектируется строительство линейных сооружений, порождает проблему выбора варианта трассы линейного сооружения. В статье предлагается план разрешения этой проблемы.

T.A. Petukhova

SSGA, Novosibirsk

SYSTEMS-TARGET APPROACH TO TRANSLINEAR STRUCTURES DESIGN

The variety of physicogeographical, ecological, socioeconomical and other conditions on the territory around the construction site for linear structures necessitates choosing the proper route for them. The plan of this problem solution is offered.

Экономическое развитие России требует ускоренного освоения районов Сибири и Дальнего Востока. Для этого необходимо проектирование и строительство автомобильных и железных дорог, линий связи и передачи энергии, нефте- и газопроводов и других линейных инженерных сооружений. Проектирование и строительство линейных сооружений (ЛС) всегда осуществляется на определённой территории, с которой связаны конкретные физико-географические, экологические и социально-экономические условия. В границах заданной территории объективно существует возможность проектирования более чем одного варианта ЛС. К каждому ЛС предъявляются определённые экологические и инженерно-технические требования, определяемые целевым назначением ЛС, возможность выполнения которых в границах заданной территории для различных вариантов трассы ЛС неодинакова. Эти обстоятельства порождают противоречие между необходимостью и возможностью проектирования и строительства на заданной территории ЛС с заданными свойствами.

Таким образом, при проектировании и строительстве линейных сооружений необходимо выявление объективных закономерностей взаимодействия природных, экологических, социально-экономических, инженерно-технических и других сложных систем естественного и

искусственного происхождения, что обосновывает необходимость применения методологии системно-целевого подхода. Как известно, системно-целевой подход – это междисциплинарный подход, в котором используются методы системного анализа и системного синтеза для выявления объективных закономерностей функционирования сложных систем и учёта наиболее существенных свойств при обосновании решений, направленных на полную или частичную ликвидацию проблемы. Основные трудности при реализации системно-целевого подхода состоят в необходимости учёта большого числа факторов, влияющих на возможность достижения цели, недостаток и низкое качество исходной информации, и ряд неопределённостей, обусловленных и поведением систем и отсутствием знаний об их поведении [1, 2, 3].

Объективная сложность сформулированной проблемы требует её декомпозиции на более простые части с последующим системным синтезом полученных частных решений. Естественная декомпозиция проблемы выбора трассы ЛС состоит в определении на данной территории множества точек (станций), через которые должна проходить трасса ЛС, определении допустимых связей между ними (возможных участков трассы ЛС) и оценке меры достижения требований предъявляемых к проектируемой трассе на каждом участке. Полученные данные обеспечивают возможность конструирования и выбора наиболее приемлемого варианта (или вариантов) трассы современными методами математического программирования (динамического программирования).

Учитывая, что экологические и социально-экономические требования могут быть оценены лишь для конкретного варианта расположения трассы ЛС, ограничимся анализом зависимости выбора варианта трассы только от физико-географических и инженерно-технических требований, которые связаны с её геометрическими свойствами. Геометрические свойства трассы ЛС оцениваются по геодезическим и картографическим данным. Многообразие требований предъявляемых к геометрическим свойствам трассы обуславливает необходимость применения для оценки меры их достижения векторных критериев и построения множества Парето оптимальных вариантов решения.

Изложенные обстоятельства свидетельствуют, что проблема проектирования и выбора трассы ЛС является многовариантной, многошаговой (многоходовой) и многокритериальной. Методическое обоснование решения таких проблем состоит в декомпозиции исходной проблемы и представлении её в виде взаимосвязанной цепочки задач:

1. Оценка физико-географического состояния территории, где намечается строительство ЛС.
2. Определение инженерно-технических требований к трассе ЛС, проектируемой на заданной территории
3. Определение критериев оценки меры достижения требований, предъявляемых к трассе ЛС.
4. Декомпозиция возможных вариантов трассы ЛС: определение и обоснование необходимости создания множества опорных точек (станций)

техобслуживания, жилых городков, сложных технических элементов и т. д.), которые должны и могут располагаться на трассе ЛС.

5. Постановка задачи выбора наиболее полезного относительно достижения цели варианта (или вариантов) трассы ЛС.

6. Геометрическое моделирование выбранного варианта трассы ЛС, оценка его соответствия заданным физико-географическим и инженерно-техническим требованиям.

7. Определение Парето оптимального множества вариантов трассы

8. Выбор наиболее полезного варианта трассы ЛС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перегудов, Ф.И. Основы системного анализа: учебник / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко.- Томск: НТЛ, 1997. – 396 с.: ил.
2. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. – 488с.
3. Вентцель, Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. Радио, 1972. – 522 с.

© Т.А. Петухова, 2010

УДК 528. 022

А.Г. Малков

СГГА, Новосибирск

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРАВЛЕНИЙ СПОСОБОМ КРУГОВЫХ ПРИЕМОМ

В статье рассмотрена методика измерения направлений способом круговых приёмов с последовательным выбором начального направления, обработкой и оценкой точности результатов измерений для разного числа наблюдаемых направлений.

A.G. Malkov

SSGA, Novosibirsk

IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUES FOR DIRECTION MEASUREMENT BY THE METHOD OF ROUNDS

The author describes the techniques of direction measurement by the method of rounds with successive choice of the initial direction, processing and evaluation of measurements data accuracy for a number of the observed directions.

Как известно, для определения направлений на пунктах угловых сетей ввиду простоты методики измерений и их обработки наибольшее распространение получил способ круговых приёмов. Однако, значения измеренных направлений могут быть искажены за счёт линейного распределения величин незамыканий горизонта в каждом приёме наблюдений относительно одного выбранного начального направления, так как кручение знака, определяющее величину незамыкания, может носить нелинейный характер и время наведения на различные визирные цели может быть неодинаковым из-за разных условий их видимости и расположения. При этом следует учесть, что число наведений на начальное направление в каждом приёме вдвое больше, чем на любое другое наблюдаемое направление в программе, что вызывает некоторую неравноточность результатов наблюдений, которой пренебрегают. К тому же следует отметить, что выбор начального направления носит рекомендательный характер.

Исходя из сказанного, предлагается усовершенствовать методику наблюдений способом круговых приёмов за счёт разбиения программы наблюдений на группы и последовательного выбора начального направления в группах. Число групп равно числу направлений на пункте. Число приёмов в каждой группе зависит от выбранного веса измерений «Р» для соответствующего класса триангуляции.

$$P = k * n, \quad (1)$$

где k – число приёмов в группе;

n – число групп.

Для удобства выполнения измерений на каждом пункте составляется рабочая программа наблюдений. Установки теоретической программы находятся по известной формуле

$$(\sigma_j)_T = \left(\frac{180}{m} + i \right) (j - 1), \quad (2)$$

где i – цена деления лимба;

j – порядковый номер выполняемого приёма наблюдений.

Установки рабочей программы для соответствующих приёмов в группах направлений находятся путём прибавления к теоретическим установкам соответствующих углов с числом минут кратным половине цены деления, как в способе измерения углов во всех комбинациях [1]

$$(\sigma_j^q)_P = (\sigma_j)_T + 1q, \quad (3)$$

где $q = 2, 3, \dots, n$ – порядковые номера групп направлений.

Для соблюдения полной симметрии измерений в каждом приёме установки лимба следует производить при круге «право», а наблюдения выполнять с круга «лево» в первом полуприёме. В этом случае для исключения «люфта подъёмных винтов» не нужно поворачивать инструмент против хода часовой стрелки на $50-60^\circ$ перед началом измерений, как рекомендуется в «Инструкции» [1]. Последовательный выбор начального для каждой группы направлений даёт возможность получения равноточных измерений.

Обработка результатов измерений в каждой группе производится согласно общей теории обработки измерений способом круговых приёмов, по результатам которой, значения неизвестных углов связанных с начальным направлением находятся как

$$\begin{aligned} x_1^q &= \frac{[\alpha_{i+1}]}{k} - \frac{[\alpha_i]}{k} \\ x_2^q &= \frac{[\alpha_{i+2}]}{k} - \frac{[\alpha_i]}{k} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (4)$$

$$x_{n-1}^q = \frac{[\alpha_{i+n-1}]}{k} - \frac{[\alpha_i]}{k}$$

где $q = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер в каждой группе;

α_i – начальное направление в каждой группе;

$i = 1, 2, \dots, n$.

Полученные значения неизвестных в каждой группе приводятся к начальному направлению 1-ой группы в соответствии с приведёнными вычислениями для максимального числа наблюдаемых направлений в способе круговых приёмов:

II группа: 12 – доп (21); 13 – доп (21-23);

(начальное №2) 14 – доп (21-24); 15 – доп (21-25).

III группа: 12 – (32-31); 13 – доп (31);

(начальное №3) 14 – доп (31-34); 15 – доп (31-35).

IV группа: 12 – (42-41); 13 – (43-41);
 (начальное №4) 14 – доп (41); 15 – доп (41-45).
 V группа: 12 – (52-51); 13 – (53-51);
 (начальное №5) 14 – (54-51); 15 – доп (51).

Здесь 12,13,14,15 – значения неизвестных углов I-ой группы измеренных направлений. Дополнения до 360° значений измеренных углов, их разностей и разности их значений во II, III, IV и V группах последовательно определяют значения неизвестных I - ой группы. При меньшем числе измеренных направлений из приведённой схемы вычислений исключаются не измеряемые направления.

В каждой группе измеренных направлений находятся их средние значения и уклонения « V_k » каждого от среднего значения. Затем вычисляется среднее значение направлений из всех групп измеренных направлений и уклонения « V_n » от среднего.

При выполнении измерений в каждой группе необходимо соблюдать допуски, используемые в способе круговых приёмов. Расхождение значений направлений « Δ », приведённых к начальной группе согласно схемы вычислений, не должно превышать

$$\Delta'' = 6''/\sqrt{k} \quad (5)$$

Оценка точности результатов измерений производится по известной формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[V^2]}{N-t}} \quad (6)$$

На основании данной формулы средняя квадратическая ошибка направления, измеренного одним приёмом, находится как

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_1^k V_k^2 + \sum_1^t V_1^2}{n(k-1)(l-1)}} \quad (7)$$

и из « m » приёмов

$$M = \mu/\sqrt{m} \quad (8)$$

где V_k – уклонения от среднего в каждой группе измерений;

V_n – уклонения от среднего, полученного по группам измерений;

n – число направлений.

Для подтверждения методики были выполнены измерения на пункте 2 класса с разным числом направлений с соблюдением указанных выше требований. По результатам наблюдений были получены следующие значения средних квадратических ошибок направлений, приведённых в табл. 1

Таблица 1. Значения средних квадратических ошибок направлений

Число направлений	μ_i	M
3	1.56"	0.45"
4	1.60"	0.46"
5	1.55"	0.40"

Их величины соответствуют точностным характеристикам измерений направлений в триангуляции 2 класса.

Исходя из изложенного, можно сделать следующий вывод:

Предложенное усовершенствование методики измерений направлений способом круговых приёмов даёт возможность получить равноточные результаты измерений и может быть рекомендовано в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР». – М.: Недра, 1966.

© *А.Г. Малков, 2010*

УДК 519.2:528.1

Н.Б. Лесных, С.А. Егорова

СГГА, Новосибирск

СВОЙСТВА ОШИБОК И ПОПРАВOK НИВЕЛИРНЫХ И ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ СЕТЕЙ

На моделях полигонометрической и трех нивелирных сетей исследована возможность использования поправок МНК для проверки отсутствия систематических влияний в геодезической сети. Установлены условия эффективности подобного анализа. Предложено блочное представление обратной весовой матрицы поправок.

N.B. Lesnykh, S.A. Yegorova

SSGA, Novosibirsk

ERRORS AND CORRECTIONS PROPERTIES IN LEVELING- AND LINEAR-ANGULAR NETWORKS

The model of a polygonometric network and those of the three leveling ones were investigated for least-square corrections application to test for the absence of systematic errors effect in a geodetic network. The conditions of such analysis efficiency are specified. The block representation of the reverse weighting correction matrix is offered.

Установить наличие систематических влияний в геодезической сети позволяет статистический анализ геодезических данных. Для сравнительно небольших сетей привлекательным объектом анализа становятся поправки, получаемые из уравнивания измерений по методу наименьших квадратов. Поправки являются линейными функциями ошибок. Математическое ожидание поправки, как и случайной ошибки, равно нулю. Количество поправок и ошибок одинаково и значительно превышает число независимых невязок. Между ошибками и поправками, предположительно, имеет место корреляционная связь.

Исследование свойств ошибок и поправок выполнено на моделях полигонометрической и трех нивелирных сетей при четырех – восьми реализациях различных вариантов случайных Δ_i и неслучайных $\theta_i = \Delta_i + \delta$ ошибок. Проверялось выполнение свойств случайных ошибок измерений:

- 1) Для ряда результатов измерений с известным законом распределения абсолютные величины случайных ошибок с заданной вероятностью p не превзойдут определенного предела;
- 2) Положительные и отрицательные случайные ошибки, равные по абсолютной величине, равновозможны;

3) Малые по абсолютной величине случайные ошибки измерений встречаются чаще, чем большие;

4) Среднее арифметическое случайных ошибок измерений по вероятности стремится к нулю с увеличением числа измерений.

Использовались критерии равенства вероятностей и равенства средних [1].
Критерий равенства вероятностей:

$$P(|np - k| < t\sigma) = \beta, \quad (1)$$

где $\beta = \Phi(t)$ – доверительная вероятность (принято $t = 2$ для $\beta = 0,95$); k – число ошибок в заданном интервале; n – число всех ошибок, подлежащих исследованию; p – теоретическая вероятность попадания ошибки в заданный интервал; $\sigma = \sqrt{npq}$, где $q = 1 - p$.

Если неравенство (1) выполняется, можно считать, что данное свойство имеет место, гипотеза не противоречит результатам наблюдений.

Если $|np - k| > t\sigma$, гипотеза о наличии данного свойства отвергается.

Критерий равенства средних:

$$t = \frac{|\bar{\Delta} - \bar{\Delta}_0|}{\bar{\sigma} / \sqrt{n}}, \quad (2)$$

где $\bar{\Delta} = [\Delta] / n$ – среднее арифметическое ошибок измерений;

$\bar{\Delta}_0 = M_{\Delta} = 0$ – теоретическое среднее, равное математическому ожиданию случайной ошибки измерения; $\bar{\sigma} / \sqrt{n}$ – оценка среднего квадратического отклонения среднего арифметического;

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad (3)$$

– оценка среднего квадратического отклонения, характеризующая разброс отдельных значений ошибок (поправок) от их среднего арифметического.

Величина t подчиняется закону распределения Стьюдента с $\nu = n - 1$ степенями свободы. Если вероятность $P(t > t_{\alpha}) > \alpha$, гипотеза о согласии не отвергается, отклонение среднего арифметического от нуля можно считать несущественным на заданном уровне значимости α . Здесь t_{α} – вычисленное значение статистики t .

Вычислялись также оценки асимметрии и эксцесса кривых распределения и оценивалась их значимость.

$$\bar{S} = \bar{\mu}_3 / \bar{\sigma}^3 \quad (4)$$

– оценка асимметрии кривой распределения,

где

$$\bar{\mu}_3 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n \quad (5)$$

– оценка центрального момента третьего порядка, вычисляемая без группирования данных.

$$\overline{\sigma}_S = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \quad (6)$$

– оценка среднего квадратического отклонения асимметрии.

Если $|\overline{S}| \leq 2\overline{\sigma}_S$, асимметрия незначительна.

$$\overline{E} = \overline{\mu}_4 / \overline{\sigma}^4 - 3 \quad (7)$$

– оценка эксцесса кривой распределения,
где

$$\overline{\mu}_4 = \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{x})^4 / n \quad (8)$$

– оценка центрального момента четвертого порядка.

$$\overline{\sigma}_E = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (9)$$

– оценка среднего квадратического отклонения эксцесса.

Если $|\overline{E}| \leq 2\overline{\sigma}_E$, эксцесс незначительный.

Приведем результаты анализа.

Нивелирная сеть А. Содержит $n = 11$ измерений $r = 5$ избыточных измерений. Уравнивание выполнено для четырех вариантов случайных и четырех вариантов неслучайных ошибок. Учитывая небольшой объем исследуемой совокупности ошибок, выполнялась проверка их свойств, которая должна была подтвердить случайный или неслучайный характер заданных ошибок. Действительно, случайные, нормально распределенные ошибки с параметрами $\sigma_\Delta = 1$ и $M_\Delta = 0$ обладали по результатам анализа всеми свойствами случайных ошибок, имели незначительную асимметрию и эксцесс.

Систематические ошибки δ были внесены в следующие измерения. Первый вариант: $\delta_9 = \delta_{11} = 8$. Второй вариант: $\delta_9 = 8$. Третий вариант: $\delta_9 = \delta_{11} = 4$. Четвертый вариант: $\delta_{11} = 4$.

Результаты анализа *неслучайных ошибок* оказались следующими. Первой вариант – не выполняются первое и третье свойства. Остальные показатели в допуске. Второй вариант – не выполняется третье свойство. Анализ ошибок третьего и четвертого варианта не обнаружил систематических влияний. Сравнительно небольшие систематические смещения компенсировались и в целом ряд не утратил свойств случайных ошибок.

Поправки сети А обладали случайными свойствами во всех восьми реализациях случайных и неслучайных ошибок.

Нивелирная сеть А1 с числом измерений $n = 15$ и числом избыточных измерений $r = 5$. Исследовано восемь вариантов рядов ошибок и поправок при наличии неслучайных смещений.

1) $\delta_{13} = -7$; 2) $\delta_1 = -7$; 3) $\delta_{13} = \delta_1 = -7$; 4) $\delta_9 = 10$;

5) $\delta_2 = 8$; $\delta_6 = 10$; $\delta_{14} = 8$. 6) $\delta_4 = \dots = \delta_7 = \delta_{12} = \dots = \delta_{15} = 8$;

7) $\delta_1 = \dots = \delta_3 = \delta_8 = \dots = \delta_{11} = 5$; 8) $\delta_i = 3$ ($i = 1 \dots 15$).

В результате анализа *неспособных ошибок* первых четырех рядов установлено, что все значения асимметрии превосходят допуск. Существенно значение эксцесса первого, второго и четвертого рядов. Первые три свойства случайных ошибок полностью не выполняются. Т.о., проверка подтвердила неслучайный характер ошибок.

Приведем результаты исследования *поправок* сети A1, полученных по *неспособным ошибкам*. Для первого ряда поправок не выполняется второе свойство. Из $n = 15$ поправок $k = 12$ положительных. В соответствии с критерием равенства вероятностей расхождение $p \cdot n - k = 7, 5 - 12 = - 4,5$ превысило допуск $2 \sigma = 3,87$, но $4,5 < 3 \sigma$. В рядах поправок со второго по пятый все свойства случайных ошибок выполняются, асимметрия и эксцесс незначительны.

Шестой ряд содержит восемь крупных систематических ошибок. Анализ поправок обнаруживает нарушение четвертого свойства. Вероятность превышения полученного значения статистики критерия равенства средних оказалась невысокой $p(t > t_3) = 0,013$. Не выполняется второе свойство случайных ошибок: $p \cdot n - k = 5,5$. Для седьмого ряда поправок также не выполняется второе свойство (компенсации положительных и отрицательных ошибок) $5,5 > 3,87$.

Для восьмого ряда, содержащего небольшую, постоянную, но присутствующую во всех измерениях ошибку $\delta = 3 = 3\sigma$, все четыре свойства случайных ошибок не выполняются, эксцесс существенный. Т.о., шестой, седьмой и восьмой ряды поправок не носят случайного характера, не обладают всеми свойствами случайных ошибок.

Нивелирная сеть A2 с числом измерений $n = 17$ и избыточных измерений $r = 5$ уравнена в четырех вариантах со следующими систематическими ошибками: 1) $\delta_1 = - 7$; 2) $\delta_1 = \delta_{13} = -7$; 3) $\delta_6 = \delta_7 = \delta_9 = \delta_{14} = 10$; 4) $\delta_i = 4$ ($i = 1, \dots, 17$).

Наличие систематических влияний обнаружено только в двух последних вариантах. Вариант три – существенна асимметрия: $\bar{S} = - 1,103$; $2\bar{\sigma}_S = 1,03$; не выполняется второе свойство: $p \cdot n - k = 4,5$; $2 \sigma = 4,12$. В четвертом варианте все свойства случайных ошибок не выполняются.

Линейно – угловая *сеть полигонометрии* состоит из $n = 14$ сторон, $n' = 17$ углов. Число избыточных измерений $r = 9$. Сеть уравнена по методу наименьших квадратов в пяти вариантах. В первом варианте Δ_β , Δ_S – случайные ошибки углов и сторон с параметрами: $M_\beta = M_S = 0$ и $\sigma_\beta = 3''$, $\sigma_S = 1$. В последующие варианты внесены систематические ошибки.

2) $\theta_6 = \Delta_6 + 15''$; Δ_S .

3) $\theta_6 = \Delta_6 + 15''$, $\theta_{12} = \Delta_{12} + 15''$; Δ_S .

4) $\theta_6 = \Delta_6 + 15''$, $\theta_{12} = \Delta_{12} + 15''$, $\theta_{16} = \Delta_{16} + 15''$, Δ_S .

5) $\theta_1 = \Delta_1 + 7''$, $\theta_6 = \Delta_6 + 7''$, $\theta_{12} = \Delta_{12} + 7''$, $\theta_{14} = \Delta_{14} + 7''$, $\theta_{16} = \Delta_{16} + 7''$; Δ_S .

Первый и второй варианты поправок углов сохраняют все свойства случайных ошибок. Единичная, крупная ошибка $\delta_6 = 15'' = 5 \sigma_\beta$ второго варианта не повлияла на случайное распределение поправок, $v_6 = -5,0''$.

В третьем варианте значение эксцесса $E = -1,749$ уже несколько превосходит допуск $2 \sigma = 1,744$.

В четвертом и пятом рядах поправок углов не выполняются все свойства случайных ошибок. В частности, второе свойство для четвертого варианта

$r \cdot n - k = 6,5$; для пятого варианта $r \cdot n - k = 5,5$ при допуске $2 \sigma = 4,12$. Четвертое свойство:

4) $t_3 = 5,86$; $p(t > t_3) = 0,000024$; 5) $t_3 = 4,44$; $p(t > t_3) = 0,0004$.

Для случайных ошибок сторон распределение четвертого и пятого рядов поправок в линии хода не является случайным. В четвертом и пятом вариантах нарушено второе свойство ($4 > 3,74$). В пятом варианте статистика $t_3 = 4,24$ критерия равенства средних имеет невысокую вероятность $P(t > t_3) = 0,00096$.

Таким образом, одиночные грубые ошибки, как правило, не приводят к изменениям случайных свойств поправок.

Систематические искажения, превышающие 3σ , большинства ошибок измерений, или крупные, не единичные грубые или систематические ошибки приводят к изменению свойств поправок и могут быть обнаружены статистическим анализом поправок.

Если при анализе поправок обнаружены систематические влияния, это значит, что такие влияния присутствуют в ошибках измерений геодезической сети. Исключением является случай, когда геодезическая сеть содержит большое число промежуточных точек, которые обуславливают появление одинаковых поправок и нарушение третьего свойства случайных ошибок измерений «малые по абсолютной величине ошибки встречаются чаще, чем большие» [2].

Если свойства поправок соответствуют свойствам случайных ошибок измерений, это не означает, что в ошибках нет единичных, грубых искажений.

Результаты оценки точности измерений по материалам уравнивания, значительно превышающие предполагаемые средние квадратические ошибки, могут указывать на наличие систематических влияний в сети.

Допустимые значения поправок целесообразно вычислять с использованием значения средней квадратической ошибки измерения, требуемой по инструкции или результатов оценки точности измерений на станции [2].

Обратные веса поправок – диагональные элементы обратной весовой матрицы поправок Q_V . Для параметрического способа уравнивания

$$Q_V = Q_Y - Q_{\bar{Y}} = P - A N^{-1} A^T, \quad (10)$$

где $Q_Y = P$ – матрица обратных весов результатов измерений.

$Q_{\bar{Y}} = A N^{-1} A^T$ – обратная весовая матрица уравненных измерений.

Представим матрицу коэффициентов параметрических уравнений поправок в блочном виде, например, из трех блоков

$$A^T = \begin{pmatrix} a_{txn1}^T & a_{txn2}^T & a_{txn3}^T \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Тогда

$$AN^{-1}A^T = \begin{pmatrix} a_{n1xt} \\ a_{n2xt} \\ a_{n3xt} \end{pmatrix} \cdot N^{-1} \cdot \begin{pmatrix} a_{txn1}^T & a_{txn2}^T & a_{txn3}^T \end{pmatrix}.$$

$$Q_{\bar{Y}} = \begin{pmatrix} a_{n1xt}N^{-1}a_{txn1}^T & a_{n1xt}N^{-1}a_{txn2}^T & a_{n1xt}N^{-1}a_{txn3}^T \\ a_{n2xt}N^{-1}a_{txn1}^T & a_{n2xt}N^{-1}a_{txn2}^T & a_{n2xt}N^{-1}a_{txn3}^T \\ a_{n3xt}N^{-1}a_{txn1}^T & a_{n3xt}N^{-1}a_{txn2}^T & a_{n3xt}N^{-1}a_{txn3}^T \end{pmatrix} \quad (12)$$

– обратная весовая матрица уравненных результатов измерений, от которой по формуле (10) легко перейти к обратной весовой матрице поправок.

Блочное вычисление обратной весовой матрицы поправок обеспечивает компактность ее представления и удобство использования, возможность ограничиться определением только тех блоков, которые содержат нужные диагональные элементы – обратные веса максимальных поправок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесных Н.Б. Законы распределения случайных величин в геодезии. – Новосибирск: СГГК, 2005. – 128 с.
2. Лесных Н.Б., Малиновский А.Л., Мизина Г.И. Анализ результатов уравнивания нивелирных сетей АЭС // Межвуз. сб. науч. трудов «Совершенствование методов инженерно-геодезических работ. – Новосибирск, 1988 – С. 41–45.

© Н.Б. Лесных, С.А. Егорова, 2010

УДК 519.2:528.1

Н.Б. Лесных

СГГА, Новосибирск

ДВЕ ОШИБКИ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ ОТСУТСТВИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ВЛИЯНИЙ

Выполнена проверка гипотезы отсутствия систематических влияний в результатах измерений на моделях различных геодезических объектов: ошибок измерений, невязок, разностей двойных измерений, поправок, ошибок функций накопленных аргументов. Для каждого объекта анализа установлена наиболее вероятная ошибка проверки.

N.B. Lesnykh

SSGA, Novosibirsk

TWO ERRORS OF CHECKING THE HYPOTHESIS OF SYSTEMATIC EFFECT ABSENCE

The hypothesis has been checked for absence of systematic effects in measurement data by modeling various geodetic objects: measurement errors, misclosures, double measurements difference, corrections and accumulated arguments functions errors. For each analyzed object the most probable check error was defined.

При проверке любой статистической гипотезы возможны две ошибки. Ошибка первого рода – отклонить верную гипотезу, ошибка второго рода – принять неверную гипотезу. Свойства объекта статистического анализа в геодезии в определенной степени предопределяют появление ошибки первого или второго рода.

Покажем на примерах исследования моделей ошибок геодезических измерений и их функций возможные перспективы появления неправильных выводов. Проверяемая гипотеза – отсутствие систематических влияний в геодезической сети, нормальный закон распределения ошибок измерений.

Ошибки измерений

Идеальным объектом анализа являются сами ошибки измерений. Формируем ряд из шестнадцати ($n = 16$) случайных ошибок измерений с параметрами $M_{\Delta} = 0$ и $\sigma_{\Delta} = 2$, используя встроенную функцию `norm(16,0,2)` системы Mathcad (табл. 1).

Таблица 1. Случайные ошибки измерений

Δ	- 0,25	0,83	2,93	- 2,46	- 0,77	0,95	0,37	0,39
Δ	1,04	1,65	1,86	1,79	0,52	- 1,39	0,93	- 0,30

Внесем в первое измерение искажение $\delta_1 = -7$. Теперь истинная ошибка первого измерений $\theta_1 = \Delta_1 - 7 = -7,25$. Проверка свойств случайных ошибок измерений дала следующие результаты: $\bar{\Delta} = 0,068$ – оценка математического ожидания, среднее арифметическое; $\bar{\sigma} = 2,36$ – оценка среднего квадратического отклонения;

$K = (13 \ 15 \ 15 \ 11 \ 2 \ 0)$ – вектор количества ошибок в заданных интервалах:

1) $k(|\Delta| < \bar{\sigma}) = 13$; $k(|\Delta| < 2\bar{\sigma}) = 15$; $k(|\Delta| < 3\bar{\sigma}) = 15$; 2) $k(\Delta > 0) = 11$;

3) $k(\bar{\sigma} < |\Delta| < 2\bar{\sigma}) = 2$; $k(2\bar{\sigma} < |\Delta| < 3\bar{\sigma}) = 0$. Одна ошибка превышает $3\bar{\sigma}$.

$P_n - K = (-2,07 \ 0,26 \ 0,95 \ -3 \ 2,34 \ 0,69)$ – вектор разностей теоретического и эмпирического числа ошибок в интервалах.

$2\sigma = (3,72 \ 1,68 \ 0,44 \ 4 \ 3,56 \ 1,62)$ – допустимое расхождение P_n и K .

Здесь $\sigma_i = \sqrt{p_i q_i}$, где p_i – теоретическая вероятность появления ошибки в интервале; $q_i = 1 - p_i$.

4) $t_9 = 0,116$ – вычисленное значение статистики равенства средних;

$P(t > t_9) = 0,909$.

$\bar{S} = -1,77$ – оценка асимметрии кривой распределения; $2\bar{\sigma}_S = 1,06$

$\bar{E} = 3,11$ – оценка эксцесса кривой распределения; $2\bar{\sigma}_E = 1,76$.

Таким образом, результаты анализа показали наличие систематических влияний, неслучайный характер ошибок измерений. Существенны асимметрия и эксцесс кривой распределения, не выполняется первое свойство случайных ошибок измерений, грубая ошибка обнаружена по допуску $3\bar{\sigma}$.

Второй вариант: $\theta_{13} = \Delta_{13} - 7 = -6,48$. $\bar{\Delta} = 0,068$; $\bar{\sigma} = 2,20$ – оценки параметров. $\bar{S} = -1,53$ и $\bar{E} = 2,30$ превышают допуски.

Третий вариант: $\theta_9 = \Delta_9 + 8 = 9,04$; $\theta_{11} = \Delta_{11} + 8 = 9,86$. Существенны $\bar{S} = 1,49$ и $\bar{E} = 1,17$; не выполняется третье свойство:

$P_n - K = (-3,07 \ 1,26 \ -0,05 \ -3 \ 4,34 \ -1,31)$.

Четвертый вариант: систематическая ошибка $\delta = 4$ внесена во все случайные ошибки ряда, начиная с № 9 по №16. Свойства случайных ошибок не выполняются: $P_n - K = (4,93 \ 5,26 \ -0,05 \ -5 \ 0,34 \ -5,31)$.

$t_9 = 4,76$; $P(t > t_9) = 0,00025$ – мала.

Пятый вариант: систематическая ошибка $\delta = 4$ внесена во все случайные ошибки ряда, начиная с № 13 по №16. Не выполняется второе свойство:

$P_n - K = (0,93 \ 1,26 \ -0,05 \ 5 \ 0,34 \ -1,31)$.

$t_9 = 2,91$; $P(t > t_9) = 0,011$.

Шестой вариант: $\theta_9 = \Delta_9 + 4 = 4,04$; $\theta_{11} = \Delta_{11} + 4 = 4,86$. Оценки параметров: $\bar{\Delta} = 1,006$; $\bar{\sigma} = 2,16$. Систематическая ошибка $\delta = 4$ составила $1,9\bar{\sigma}$ и компенсировалась, не нарушив свойств случайных ошибок.

Т.о., заданная методика анализа хорошо выявляет систематические влияния в ошибках измерений. Одиночные, грубые ошибки порядка $3\bar{\sigma}$, систематические ошибки порядка $2\bar{\sigma}$, присутствующие в четырех и более результатах были надежно обнаружены.

Исключение составил шестой вариант ошибок, систематическая составляющая которых, равная $1,9\bar{\sigma}$, присутствовала только в двух измерениях. Наличие систематических влияний не было обнаружено, допущена ошибка *второго рода*.

Невязки

Случайные некоррелированные невязки нивелирной сети из $n = 60$ измерений и $r = 28$ избыточных измерений с параметрами $M_{\Delta} = 0$ и $\sigma_{\Delta} = 1$ помещены в табл. 2.

Таблица 2. Случайные невязки нивелирной сети

W	0,7	- 0,4	1,0	- 2,2	0,7	0,6	0,4	1,7	- 0,4	0,2
W	- 2,0	- 4,6	- 0,1	- 0,4	- 1,4	2,5	- 1,2	1,6	- 1,3	
W	1,1	- 3,2	0,3	1,3	- 2,2	2,4	0,8	0,4	- 2,0	

Внесем в значения невязок единичную, грубую ошибку $\delta_1 = 7$, тогда $w_1 = 7,7$. Оценки параметров: $\bar{w} = 0,046$; $\bar{\sigma}_w = 2,25$.

Результаты анализа обнаруживают наличие систематических влияний.

$\bar{S} = 0,96$ превосходит допуск $2\bar{\sigma}_S = 0,85$. $\bar{E} = 2,80$ больше, чем $2\bar{\sigma}_E = 1,53$.

$K = (23\ 26\ 27\ 15\ 3\ 1)$; $P_n - K = (-\ 3,88\ 0,71\ 0,92\ -1\ 4,59\ 0,20)$.

$2\sigma = (4,92\ 2,22\ 0,58\ 5,29\ 4,70\ 2,15)$ – одно недопустимое расхождение P_n и K свидетельствуют о невыполнении первого свойства ($0,92 > 0,58$).

Одна ошибка превышает $3\bar{\sigma}_w$.

Внесем в четвертую часть всех невязок от №8 до №15 систематическую ошибку $\delta = 4$. Результаты анализа выявляют систематическое влияние, не выполняется второе свойство: $P_n - K = (-\ 0,88\ 0,71\ -\ 0,08\ -\ 6\ 1,59\ -\ 0,80)$.

Когда число систематических ошибок $\delta = 4$ составляло меньше четвертой части всех невязок (с №8 по №13), их влияние не обнаруживалось. Т.о., имела место *ошибка второго рода* – принятие неверной гипотезы.

Разности двойных измерений

Как известно, если в результатах двойных измерений присутствуют примерно равные систематические ошибки, то в большей части такие ошибки в разностях двойных измерений погашаются. Достаточно небольшая остаточная систематическая ошибка статистическим анализом может не обнаруживаться, имеет место *ошибка второго рода*.

Рассмотрим случай, когда только результаты повторных измерений получили систематические смещения. В табл. 3 представлены два ряда ошибок: случайные ошибки Δ с параметрами $M_{\Delta} = 0$ и $\sigma_{\Delta} = 2$ и случайные ошибки Δ' из табл.1, искаженные с № 13 по № 16 систематической ошибкой $\delta = 4$:

$\theta' = \Delta' + \delta$. $d = \Delta - \theta'$ - разности повторных измерений.

Таблица 3. Разности двойных измерений

Δ	θ'	d	Δ	θ'	d	Δ	θ'	d
0,44	- 0,25	0,69	- 2,63	0,37	- 3,00	- 1,85	5,52	- 7,37
0,81	0,83	- 0,02	- 5,68	0,39	- 6,07	- 1,76	2,61	- 4,37
- 2,31	2,93	- 5,24	2,55	1,04	1,51	0,56	4,93	- 4,37
- 2,21	- 2,46	0,25	1,58	1,65	- 0,07	- 0,80	3,70	- 4,50
- 2,21	- 0,77	- 1,44	0,29	1,86	- 1,57			
- 0,82	0,95	- 1,77	- 2,01	1,79	- 3,80			

Результаты анализа разностей: $\bar{d} = - 2,648$; $\bar{\sigma}_d = 2,65$.

$\bar{S} = - 0,11$; $2\bar{\sigma}_S = 1,06$; $\bar{E} = - 1,34$; $2\bar{\sigma}_E = 1,76$;

$K = (8 \ 14 \ 16 \ 3 \ 6 \ 2)$; $P_n - K = (2,93 \ 1,26 \ -0,05 \ 5 \ -1,66 \ -1,31)$

$2\sigma = (3,72 \ 1,68 \ 0,44 \ 4 \ 3,56 \ 1,62)$ – допустимое расхождение P_n и K .

$t_3 = 3,88$; $P(t > t_3) = 0,0015$ – мала.

Второе и четвертое свойство не выполняются. Систематические ошибки второго ряда измерений отразились на разностях и были обнаружены статистическим анализом.

Поправки МНК

Результаты статистического исследования поправок, полученных из уравнивания моделей геодезических сетей по методу наименьших квадратов (МНК) подробно изложены в работе «Свойства ошибок и поправок нивелирных и линейно-угловых сетей», выполненной в соавторстве с С.А. Егоровой. Отметим здесь, что исследование поправок в наибольшей степени способно привести к появлению *ошибки второго рода*.

Одиночные ошибки, превосходящие $3\bar{\sigma}$, не обнаруживаются анализом поправок. Например, при анализе поправок одной из нивелирных сетей (сети А2), измерение с ошибкой $\theta_1 = - 8,8$ ($\sigma_\Delta = 1$) получило поправку $v = 3,51$; в другом варианте две ошибки $\theta_1 = - 8,8$ и $\theta_{13} = - 7,5$ ($\delta = - 7$) компенсировались поправками, равными 3,91 и 3,35.

Уравнивание по методу наименьших квадратов, т. е., под условием $[pv^2] = \min$ не допускает появления таких же крупных поправок, как соответствующие им ошибки измерений, $[p\Delta^2] > [pv^2]$. В рядах поправок одиночные, грубые ошибки измерений или массовые систематические ошибки (по результатам исследований не более четверти всех исследуемых элементов выборки) сглажены, компенсировались и приобрели случайные свойства.

Функции накопленных аргументов

Функциями накопленных аргументов будем называть функции типа

$$F_j = \sum_{i=1}^j x_i. \quad (1)$$

Функциями накопленных аргументов являются, например, дирекционные углы полигонометрического хода, отметки определяемых точек нивелирного хода или полигона и др. Истинные, случайные ошибки дирекционных углов являются накопленными функциями ошибок углов:

$$\Delta_{\alpha}^{(1)} = \Delta_{\beta}^{(1)}; \Delta_{\alpha}^{(2)} = \Delta_{\beta}^{(1)} + \Delta_{\beta}^{(2)}; \dots; \Delta_{\alpha}^{(j)} = \Delta_{\beta}^{(1)} + \Delta_{\beta}^{(2)} + \dots + \Delta_{\beta}^{(j)} \quad (2)$$

Результаты статистического анализа показали, что свойствами случайных ошибок измерений накопленные ошибки дирекционных углов не обладают.

Иногда в рядах нормально распределенных случайных чисел встречаются области с повторением одного и того же знака (плюса или минуса) на протяжении семи и даже девяти значений. Если отсчет случайных ошибок угловых измерений придется на начало такой области, происходит накопление ошибок одного знака уже на значительно большем протяжении – от 21 до 33 чисел.

Статистический анализ таких рядов ошибок дирекционных углов обнаружит наличие систематических влияний, которого не было в ошибках измерения углов.

Т.о., использование для статистического анализа функций накопленных аргументов может привести к *ошибке первого рода* – отклонению верной гипотезы.

Функции от функций накопленных аргументов

Аналогичные ошибки проверки выдвинутой гипотезы могут иметь место при анализе функций от функций накопленных аргументов, например, ошибок приращений координат или ошибок координат полигонометрического хода.

Выполним анализ случайных ошибок приращений координат:

$$\Delta_{dx} = \cos \alpha \Delta_S - S \sin \alpha \Delta_{\alpha} / \rho; \quad (3)$$

$$\Delta_{dy} = \sin \alpha \Delta_S + S \cos \alpha \Delta_{\alpha} / \rho. \quad (4)$$

В зависимости от величины слагаемых правой части формул (3) и (4) на закон распределения ошибок Δ_{dx} и Δ_{dy} будут влиять случайные ошибки измерения длин линий Δ_S или накопленные ошибки дирекционных углов Δ_{α} . Приведем результаты анализа слагаемых формул (3) и (4) на следующих двух примерах:

$$1) \alpha = 5^0; S = 270 \text{ м}; n = 20; \sigma_S = 1 \text{ см}; \sigma_{\beta} = 3''.$$

$$\text{Обозначим: } a = \cos \alpha \Delta_S; b = S \sin \alpha \Delta_{\alpha} / \rho''; \Delta_{dx} = a - b;$$

$$a1 = \sin \alpha \Delta_S; b1 = S \cos \alpha \Delta_{\alpha} / \rho''; \Delta_{dy} = a1 + b1.$$

Результаты вычислений и анализа: а – случайные числа; в – числа одного знака (с минусом), неслучайны; $a > b$, $\Delta_{dx} = a - b$ – случайные числа.

$a1$ – случайные числа, $b1$ – числа одного знака (с минусом);

$a1 < b1$, $\Delta_{dy} = a1 + b1$ – все одного знака (с минусом), неслучайны.

$$2) \alpha = 85^0; S = 270 \text{ м}; n = 20; \sigma_S = 1 \text{ см}; \sigma_{\beta} = 3''.$$

а – случайные числа; в – числа одного знака (с минусом);

$a < b$, $\Delta_{dx} = a - b$ – числа одного знака (положительные), неслучайные.

$a1$ – случайные числа; $b1$ – числа одного знака (с минусом);

$a1 > b1$, $\Delta_{dy} = a1 + b1$ – случайные числа.

В отличие от представленного в примере вытянутого хода, в сети, содержащей различно направленные полигоны, результаты влияния функций накопленных аргументов не столь очевидны. Однако, вывод о наличии систематических влияний в результатах измерений углов и в этом случае может оказаться ошибочным.

© Н.Б. Лесных, 2010

УДК 528.037; 528.061

П.А. Карев, В.А. Калюжин, А.И. Павлова

СГГА, Новосибирск

О ТОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ И ЦЕНТРИРОВАНИЯ В ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЯХ

Рассматривается влияние погрешностей определения элементов приведения на точность результатов внецентренных геодезических измерений линейно – угловых построениях. По выведенным формулам средних квадратических ошибок линейного и углового элементов приведения произведен расчет их допустимых значений в полигонометрии 4 класса. 1 и 2 разряда. Даются рекомендации для исключения влияния ошибок элементов приведения и центрирования на точность результатов измерения углов и линий.

P.A. Karev, V.A. Kalyuzhin, A.I. Pavlova

SSGA, Novosibirsk

ACCURACY OF REDUCTION AND CENTERING ELEMENTS IN LINEAR- AND-ANGULAR GEODETIC NETWORKS

The paper deals with the effect of reduction elements determination errors on the accuracy results of off-centre geodetic measurements in linear-and-angular networks. The derived formulas of mean-square errors of linear and angular reduction elements were used for computing their admissible values in the fourth-order traverse of the first and second class. The recommendations are given on compensating the reduction and centering elements errors effect on linear and angular measurements results.

При внецентренных геодезических измерениях для вычисления поправок за центрировку и редукцию одновременно с измерением основных величин (углов, расстояний) определяют линейные и угловые параметры отклонений от центров пунктов осей приборов, визирных целей, называемые линейными и угловыми элементами приведения.

Общепринятые обозначения элементов приведения и поправок:

ℓ, Θ – линейный и угловой элементы приведения центрировки;

ℓ_1, Θ_1 – линейный и угловой элементы редукции;

c'', r'' – поправки соответственно за центрировку прибора и редукцию визирной цели (отражателя) при угловых измерениях;

δ_c, δ_r – поправки соответственно за центрировку прибора и редукцию отражателя при линейных измерениях.

На рис. 1 и 2 приведены схемы расположения элементов приведения при измерении углов и линий.

C – центры пунктов полигонометрического хода; J – внецентренное положение вертикальной оси прибора (теодолита, тахеометра); V – положение оси визирной цели (отражателя); ℓ, Θ – линейный и угловой элементы приведения центрировки; ℓ_1, Θ_1 – линейный и угловой элементы редукции; M – значение угла между начальным и другим направлением на данном пункте.

Элементы приведения в зависимости от величины линейного элемента определяются графическим способом, способом их непосредственного измерения или аналитическим способом.

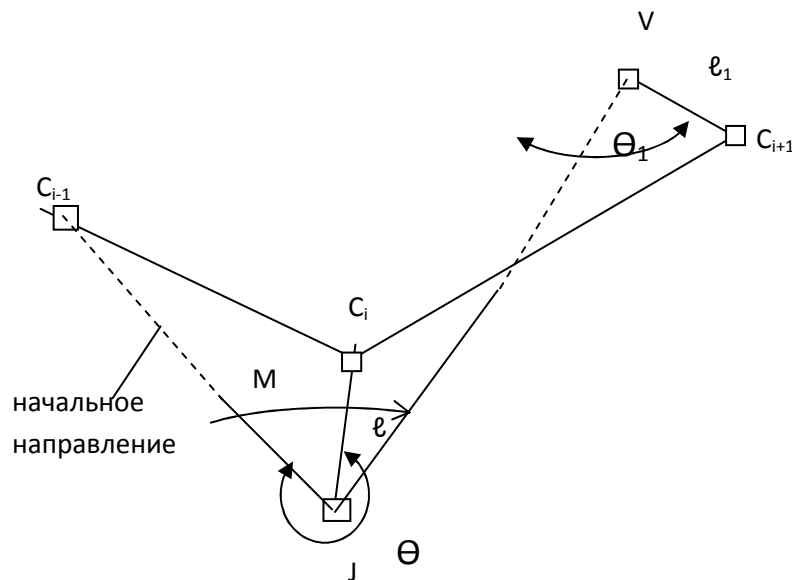


Рис. 1. Схема центрировки на пункте C_i , элементы редукции на пункте C_{i+1} при угловых измерениях

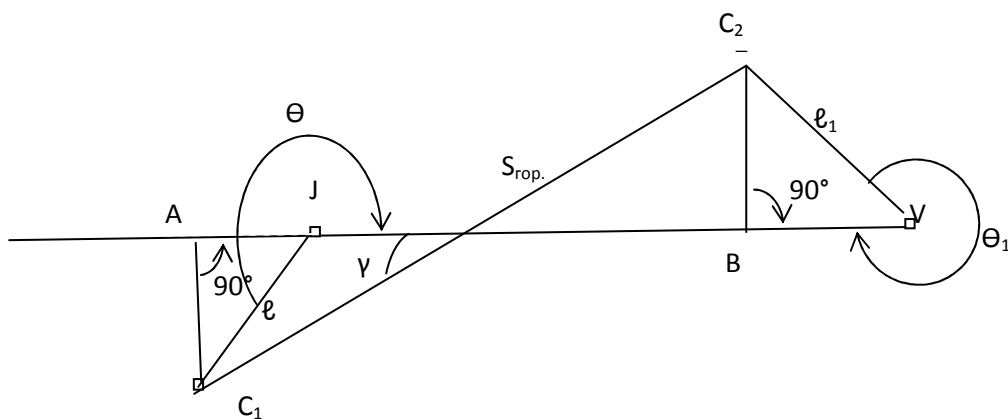


Рис.2. Элементы центрировки прибора J и редукции отражателя V

В современных условиях измерения углов, линий в геодезических построениях различного назначения производятся, как правило, с помощью различных тахеометров (ЭТ). Применение ЭТ позволяет при внецентренных измерениях более эффективно определять элементы приведения разными способами в любой ситуации.

Используя значения элементов приведения, поправки за приведение к центрам пунктов результатов внецентренных измерений вычисляют по формулам:

При угловых измерениях поправка за центрировку

$$c'' = \frac{l \sin(M + \Theta)}{S} \rho'', \quad (1)$$

для начального направления при $M = 0^\circ 00'$

$$c'' = \frac{l \sin \Theta}{S} \rho''. \quad (2)$$

Поправка в измеренный угол находится как разность поправок «с» двух направлений

$$c_{\beta_i}'' = l \rho'' \left[\frac{\sin(M + \Theta)}{S_i} - \frac{\sin \Theta}{S_i - 1} \right], \quad (3)$$

Поправка за редукцию

$$r'' = \frac{\ell_1 \sin(M_1 + \theta_1)}{S} \rho'', \quad (4)$$

При линейных измерениях поправка за центрировку

$$\delta_c = \ell \cos(\theta - 180^\circ) = \ell \cos \theta, \quad (5)$$

Поправка за редукцию

$$\delta_r = \ell_1 \cos(360^\circ - \theta_1) = \ell_1 \cos \theta_1. \quad (6)$$

Знак поправок рекомендуется проверять по чертежу (рис.2): если проекция линейного элемента ℓ или ℓ_1 лежит на линии JV (прибор-отражатель), знак поправки отрицательный; если проекция ℓ или ℓ_1 ложится на продолжении линии JV, то знак поправки положительный.

Из формул (1)- (6) следует, что величина и точность вычисляемых поправок зависит от величины и точности элементов приведения, длины измеряемого направления при угловых измерениях, а при измерении линий только от величины и точности элементов приведения.

Для установления влияния погрешностей элементов приведения на точность вычисляемой поправки за центрировку продифференцируем формулу (2) отдельно сначала по « ℓ », затем по « θ » и перейдя от дифференциалов к средним квадратическим ошибкам, соответственно получаем:

$$m_c'' = \rho'' \frac{\sin \theta}{S} m_\ell, \quad (7)$$

$$m_c = \frac{\ell \cos \theta}{S} m_\theta, \quad (8)$$

где m_c – СКО значения поправки за центрировку «с», m_ℓ - СКО определения линейного элемента, m_θ – СКО измерения угла " θ ".

При установленной точности элементов приведения ℓ , θ средние квадратические ошибки поправок (7) и (8) при значениях угла $\theta = 90^\circ$, 270° и $\theta = 0^\circ$, 180° будут иметь максимальные значения

$$(m_c)_{\max} = \frac{\rho''}{S} m_l, \quad (9)$$

$$(m_c)_{\max} = \frac{\ell}{S} m_{\theta}. \quad (10)$$

Из формул (9) и (10) получаем выражения для СКО элементов приведения:

$$m_l = (m_c)_{\max} \frac{S}{\rho''}, \quad (11)$$

$$m_{\Theta} = (m_c)_{\max} \frac{S}{l}, \quad (12)$$

Для исключения влияния ошибок элементов приведения на точность поправок согласно принципу ничтожно малого влияния СКО поправок за внецентренное положение прибора должны составлять не более 0,1' СКО ошибки измеряемой величины.

Приняв $(m_c)_{\max} = 0.1 m_{\beta}$ (m_{β} – ско измеряемого угла), определим предельные СКО значений линейных и угловых элементов центрировки в полигонометрии разной точности. Результаты расчетов представлены в табл. 1, 2.

Примечание к табл. 1. СКО m_{ℓ} для сторон S_i любой длины находятся по данным таблицы по формуле $(m_{\ell})_i = (m_{\ell})_{\min} \frac{S_i}{S_{\min}}$. Например для стороны $S_i = 1000$ м в ходе 4 класса допустимое значение ошибки определения линейного элемента “ ℓ ” будет равно $(m_{\ell})_i = 0.24 \frac{1000}{250} = 0.96 \approx 1$ мм.

Таблица 1. Предельные СКО линейного элемента центрировки для полигонометрических ходов 4 кл., 1 и 2 разрядов

Формула	4 класс		1 разряд		2 разряд	
	$S_{\min} = 250\text{м}$	$S_{\max} = 2000\text{м}$	$S_{\min} = 120\text{м}$	$S_{\max} = 800\text{м}$	$S_{\min} = 80\text{м}$	$S_{\max} = 350\text{м}$
m_{β}''	2'' 5'' 10''					
$(m_c)''_{\max}$	0.2	0.2''	0.5''	0.5''	1.0''	1.0''
$S_{\text{мм}} / \rho''$	1.2	9.7	0.6	3.9	0.4	1.7
СКО линейного элемента центрировки $(m_{\ell})_{\text{мм}}$	0.24	1.93	0.29	1.93	0.38	1.70

Таблица 2. Предельные СКО измерения углового элемента центрировки θ при графическом способе определения элементов приведения

Формула	Полигонометрия 4 класса, $m_{\beta}=2''$							
	$S_{\min}$ -250 м				$S_{\max}$ -2000 м			
$\ell, \text{м}$	0.1	0.2	0.3	1,5	0.1	0.2	0.3	1,5
$(m_c)_{\max}=0.1$ m_{β}	0.2	0.2	0.2	0,2	0.2	0.2	0.2	0,2
S_m / ℓ_m	2500	1250	832	166	20000	10000	6667	1333
Предельная СКО угла $\theta - m_{\theta}$	8.3′	4.2′	2.8′	0,5′ (30″)	66.7′	33.3′	22.2′	4,4′

Полученные данные табл. 1 обязывают исполнителей особо тщательно определять линейные элементы приведения, производить центрирование на пунктах 4 класса, 1 и 2 разряда с минимальными, близкими к минимальным длинам сторон.

По данным табл. 2 на пунктах 4 класса с минимальными длинами сторон в любом способе определения элементов приведения при линейных элементах $\ell > 0.2$ м угол Θ следует измерять с помощью угломерного прибора.

Из анализа СКО m_{ℓ} и m_{Θ} в табл. 1, 2 видно, что точность поправок за приведение к центрам результатов внецентренных измерений практически определяется ошибками значений линейных элементов приведения.

При проложении полигонометрических, линейно-угловых ходов любого назначения в целях ускорения процесса измерений углы и стороны во многих случаях измеряются по трехштативной системе. Сущность этого метода состоит в последовательной установке на одних и тех же точно отцентрированных штативах инструмента и визирной цели, при этом при смене приборов должно быть обеспечено полное совмещение в пространстве положения оси инструмента и оси визирной цели.

Из-за ошибок центрирования в связи с внецентренным положением инструмента, визирной цели линейно-угловые ходы оказываются проложенными не между центрами смежных пунктов, а по точкам установок штативов с приборами. Такие ходы получили название «воздушных ходов, полигонов», в них при камеральной обработке результатов полевых измерений будут получены для центров пунктов ошибочные координаты.

Для исключения влияния на результаты измерений и последующих вычислений ошибки центрирования в трехштативной системе и других построения должны соответствовать принципу ничтожно малого влияния.

По своей сущности и характеру ошибки центрирования в трехштативной системе и других случаях и ошибки линейных элементов приведения при внецентренном положении приборов полностью тождественны, поэтому

приведенные в табл. 1 допустимые СКО линейных элементов в ходах 4 класса, 1 и 2 разряда можно считать требуемой точностью центрирования в любых линейно-угловых построениях с аналогичной точностью угловых и линейных измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 [Текст]. – М. Недра, 1985 г. – 152 с.
2. Литвинов, Б.А. Основные вопросы построения и уравнивания полигонометрических сетей [Текст] / Б.А. Литвинов. – М.: Геодезииздат, 1962 г. – 228 с.
3. Тревого, И.С. Городская полигонометрия [Текст] / И.С. Тревого, К.М. Шевчук. – М.: Недра, 1986. – 200 с.

© П.А. Карев, В.А. Калюжин, А.И. Павлова, 2010

УДК 528.48:528.5

Л.А. Зверев

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕВОГО И КАМЕРАЛЬНОГО КОНТРОЛЕЙ ПРИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СЪЕМКИ

В статье рассмотрены технологические основы процессов крупномасштабных наземных съемок с использованием новейших технологий и с учетом полевого контроля и приемки готовой продукции. Приведены показатели и результаты в актах полевого контроля и готовой продукции. Определены требуемые стандарт и регламенты при крупномасштабных съемках масштабов 1:500, 1:1000, 1:200 и 1:5000.

L.A. Zverev

SSGA, Novosibirsk

FIELD- AND OFFICE CONTROL PROCEDURES WITH MODERN TECHNIQUES OF LARGE-SCALE SURVEY

The author presents technological basis for the procedure of large-scale land surveys with state-of-the-art techniques taking into account field control and acceptance of manufactured products. The parameters and results of field control and products acceptance reports are shown. The standards and regulations required for large-scale surveys of 1:500, 1:1000, 1:200 and 1:5000 scales have been determined.

Известно, что ни один объект крупномасштабной съемки на практике не принимается к производству работ без предварительно составленных проектов или программ (будь то проектирование, решение и расчет технических задач и показателей, строительство и др.) и должным образом проведенных полевых контролей и приемки готовой продукции от исполнителей работ. За последнее время практика использования разработок научных исследований обеспечила высокий темп развития геодезической отрасли. Особенно с внедрением новых технологий, остро встал вопрос о разработке новых нормативов (стандарта, регламентов). Действующая нормативно-техническая база крайне устарела (инструкции, СНиПы, СП и др.). В связи с этим в 2007 году утверждены Федеральные законы №184 «О техническом регулировании» и ФЗ №135 «О саморегулируемых организациях», которые полностью соответствуют государственной реформе, направленной на ослабление бюрократии и повышение эффективности регулирования всех отраслей хозяйствования. Правом выпуска нормативных документов в сфере строительства обладают три уровня власти: федеральная, региональная и муниципальная. Однако, такого

рода работа (создание новых нормативно- технических документов) должна выполняться только при условии проведения научных исследований специалистами соответствующих профессиональных организаций с последующим анализом и обобщением результатов для утверждения их на любом уровне власти.

Цель данной статьи – показать в методике полевого контроля и приемки готовой продукции (на примере крупномасштабных съемок) исследование и анализ результатов предельных погрешностей местоположения твердых контуров в М 1:500 [1] и [2]. Исследования проводились на крупных объектах застроенных территорий: НК «Роснефть» - ОАО «Пурнефтегаз» и ОАО «Сибнефть» - «Ноябрьнефтегаз» в объемах более 600га и 1500га соответственно.

Кроме того, любая монография, научная статья дают «информацию к размышлению» и побуждают к действию в дальнейшей разработке темы. В этом отношении данная тема многогранна, т.к. производство исполнительных геодезических крупномасштабных съемок на застроенных территориях в электронном виде или на чистой основе полностью зависит от организации и технологии производственного процесса. В организационном плане существует несколько подходов: 1. Групповой, когда 2-3 бригады исполнителей на 5-6 планшетах выполняют: один - только горизонтальную съемку, другой – только вертикальную, а третий занимается только съемкой инженерных подземных коммуникаций (ИПК).

С применением новых технологий первые два процесса объединяются в один. 2. Комплексный подход, когда один исполнитель выполняет весь комплекс работ крупномасштабной съемки на участке в 2-3 планшета. После ознакомления (рекогносцировки) с объектом и изучения проекта (программы) ответственный руководитель темы выдает исполнителю ПРЕДПИСАНИЕ на выполнение того или иного вида работ. Рассмотрим детальнее вышеназванные подходы и процессы работ на основе предлагаемой автором методики полевого контроля и приемки готовой продукции крупномасштабной съемки: 1. По завершении процесса производства полевых работ исполнитель готовит планшеты к полемому контролю. Полевой контроль заключается в контрольных измерениях с точек, не зависящих от созданного съемочного обоснования, и измерения расстояний (промеры, связки) между координированными точками твердых контуров. Контрольные измерения выполняются электронным тахеометром, а промеры (связки) – компарированной рулеткой (ГР-50). Таких измерений должно быть не менее 50 шт. на планшет, половина из которых должны быть выполнены промерами и связками между разноименными съемочными ходами. Заметим, что контролируются и обмеры снятых зданий и сооружений. При этом выполняется и визуальный контроль на предмет пропусков, неверных определений характеристик зданий и сооружений и других разночтений плана и местности. Все измерения и визуальные несоответствия заносятся в соответствующие таблицы акта полевого контроля. Заметим, что существующие нормативные документы [3], [4] и СП 11-104-97 по крупномасштабным съемкам допускают 10% предельных погрешностей от

общего числа контрольных измерений контуров, превышающих 0,4мм в плане, т.е. $\pm 20\text{см}$ в масштабе 1:500. 2. В случае группового подхода, когда отдельно выполняется вертикальная съемка, контроль качества высотного обоснования и вертикальной съемки производится следующим образом: исполнитель включает в контрольный ход отмеченные для него на «кальке контроля» точки из середины разноименных высотных ходов, с которых набираются контрольные пикеты по твердым контурам, т.е.: углы зданий, колодцы, бордюры, поперечники проезжей части дорог и др. Проверяются ближайшие к съемочным точкам и удаленные на допустимое расстояние пикеты. Величины и знаки расхождений значений отметок съемочных точек и пикетов с их контрольными значениями позволяют судить о наличии и причинах возникновения грубых ошибок. Допускается среднее расхождение значений отметок съемочных точек с их контрольными значениями $\Delta H_{\text{доп.}} = H_{\text{раб.}} - H_{\text{контр.}} = \pm 4\text{мм}$ на 100 метров при длине съемочного хода не более 8км согласно [3] и [4]. 3. При съемке ИПК необходимо использовать все имеющиеся материалы прошлых лет (исполнительные съемки, схемы ИПК эксплуатационных служб, материалы согласований и др.). Съемка ИПК – сложный процесс, поэтому большое значение имеет опыт исполнителя. При съемке используются различного типа кабелеискатели и трассоискатели с обязательным выполнением детального и простого обследования наземных и подземных сооружений и коммуникаций (колодцев, ниш, компенсаторов, тоннелей и др.). Заметим, что съемка ИПК в нормативах [3] и [4] вообще никак не регламентированы. Для полевого контроля съемки ИПК исполнитель должен представить готовые эюры (в плане и в разрезе) намеченных для контроля сооружений, где должны быть указаны размеры в плане - от центра люка до выхода труб из колодца, по высоте – от обечайки люка до верха напорных труб и низа лотков. Перечисленные материалы по ИПК проверяются контрольными измерениями на местности. Способ детального обследования ИПК гарантирует высокую точность нанесения коммуникаций на план. Допускается самым опытным исполнителям выполнять самоконтроль в соответствии с «калькой контроля» по всему комплексу полевых работ без участия и присутствия контролирующих лиц. В этом случае контролеры производят только полевой визуальный контроль и обработку его результатов. После оформления акта контроля сдается полная документация по планшету (журнал обследования ИПК, абрисы и другие материалы) оператору для создания цифровой модели. На основе анализа результатов полевого контроля выявляются причины возникновения грубых ошибок и исполнителю работ в письменном виде выдаются конкретные указания и рекомендации для устранения недочетов и недопущения их в дальнейшем. Созданная цифровая модель (полученная информация полевого контроля обозначается красным цветом) распечатывается на планшет бумажного носителя для сдачи готовой продукции. Визуальный просмотр готовой продукции на местности выполняется выборочно экспертом-контролером. Отобранные для приемки в поле планшеты просматриваются очень тщательно на предмет пропусков контуров, взаимного их расположения и с ближайшими объектами, точности характеристик, правильности применения условных знаков и т.п. После чего оформляется акт

приемки готовой продукции. Замечания исполнителем исправляются незамедлительно.

Учитывая, что наземные крупномасштабные съемки выполняются исключительно тахеометрическим способом, при котором положение контурных точек определяется бесконтрольно, плановый полевой контроль и приемка готовой продукции вполне обоснованы. Плановый полевой контроль и приемка готовой продукции на вышеуказанных объектах [1] и [2], на которых съемка выполнялась с использованием современных технологий, обосновали проведение исследований, через аналитический анализ результатов полевого контроля (более 200 актов), на предмет точности, плотности и надежности координат твердых контуров застроенных территорий. Анализ и обобщение показателей представлены в работах [5], [6] и [7], из которых следует, что предельные погрешности местоположения твердых контуров съемки в масштабе 1:500 составили: - 83% от 0 до 3см в плане и 86% - по высоте; от 3 до 5см – 15% в плане и 12%- по высоте; и всего 2% от 5 до 7см в плане и по высоте. Кроме того, был выполнен предварительный расчет точности, где предельная средняя квадратическая ошибка на расстояние 100м составила ± 5 см, что убедительно подтверждает проведенный анализ по актам контроля.

Таким образом, можно заключить, что предельная погрешность местоположения пикетов твердых контуров при съемке в масштабе 1:500 составляет 0.1мм в плане, что является предельной графической точностью любого плана (карты), начиная масштаба 1:500. Значит, что при крупномасштабных наземных съемках с применением GPS – приемников, электронных тахеометров и ЭВМ, стандартом точности должна быть величина - ± 0.1 мм в масштабе плана, а регламентами являются: для М 1:500 - ± 5 см, для М 1:1000 - ± 10 см, для М 1:2000 - ± 20 см, для М 1:5000 - ± 50 см.

В заключении следует отметить, что при выполнении заказов [1] и [2] исполнителям было заранее известно, что работы необходимо выполнять с помощью современных инструментов и оборудования (электронных, цифровых, GPS и др.) по нормативам [3] и [4], которые разработаны были для оптических инструментов. Однако, натурные исследования показали, что качественные характеристики точности при съемке хорошо согласуются с инструментальной точностью использованных новых инструментов, поэтому максимально установленный регламент расстояния от точек стояния инструмента до пикетов можно увеличивать (в масштабе 1:500) как минимум в два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Выполнение топографо-геодезических работ на Новопурпейском и Барсуковском месторождениях нефти» - Отчет о НИР (заключительный.) СГГА №ГР 012003.128258. Новосибирск, 2002. – 28 с.

2. «Производство топографо-геодезических работ по созданию топографических планов и электронных планов земельных участков, находящихся в пользовании ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз». Отчет по НИР(заключительный) №ГР 012005.03279 – СГГА, Новосибирск 2006. – 52 с.

3. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Минстрой России). М. 1997. – 44 с.
4. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000. М., Недра, 1985.
5. Зверев Л.А. Тенденция развития и становление земельного кадастра страны. Международный научный конгресс « ГЕО - Сибирь- 2006». Новосибирск. 2006. 114-119 с.
6. Родионова Ю.В. О точности и надежности Единой городской основы. Вестник СГГА. Новосибирск, 2005. 76-79 с.
7. Зверев Л.А. «Технология кадастровых работ». Монография / Л.А.Зверев. – Новосибирск; СГГА. 2008. 230 с.

© Л.А.Зверев, 2010

УДК 519.2:528.1

С.А. Егорова

СГГА, Новосибирск

О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ОШИБОК УРАВНИВАНИЯ

О влиянии остаточных ошибок на распределение и свойства функций. Уравненные результаты в недостаточной степени отражают закон и статистические свойства ошибок измерений.

S.A. Yegorova

SSGA, Novosibirsk

THE LAW OF RESIDUAL ADJUSTMENT ERROR DISTRIBUTION

The effect of the residual errors on the functions distribution and properties is described. The adjustment results reflect the law and statistical properties of the measurement errors to only a limited degree.

Закон распределения остаточных ошибок уравнивания ранее, по - видимому, не исследовался. Такие ошибки на практике не известны и могут быть получены только при уравнивании моделей геодезических сетей. Однако, если функции уравненных измерений будут использоваться для статистического анализа, закон распределения остаточных ошибок уравнивания повлияет на распределение и свойства этих функций.

Модель нивелирной сети с числом измерений $n = 15$ и числом необходимых измерений $t = 10$ уравнена по методу наименьших квадратов.

Ошибки Δ_i и полученные из уравнивания поправки v_i частично представлены в табл. 1.

Таблица 1. Ошибки и поправки нивелирной сети А1

№№	Δ_1	V_1	Δ_2	V_2	Δ_3	V_3	Δ_4	V_4
1`	- 1,8	0,44	0,3	0,29	- 0,2	0,06	0,4	0,43
2	- 1,2	- 0,24	- 1,6	0,51	0,4	- 0,33	- 0,4	0,06
3	0,7	- 0,63	1,4	0,28	- 0,1	- 0,11	1,0	0,17
...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	- 0,5	0,39	0,4	0,23	0,6	- 0,22	1,0	- 0,12
14	0,3	0,61	- 0,1	0,44	0,2	- 0,52	0,01	0,72
15	1,3	- 0,41	- 0,2	0,36	1,2	0,15	0,2	- 0,23

Σ - 0,2 0,06 - 1,7 3,38 - 3,6 - 0,37 2,7 0,08

Поправки и ошибки слабо коррелированы. В табл. 2 помещены оценки коэффициентов корреляции ошибок и поправок сети А1;

$$\bar{r} = \frac{[\delta\Delta \delta v]}{(n-1)\bar{\sigma}_{\Delta}\bar{\sigma}_v} . \quad (1)$$

Оценка значимости коэффициентов корреляции выполнена с использованием функции Фишера Z [1].

Таблица 2. Корреляция ошибок и поправок сети А1

№№ рядов	1	2	3	4
r	- 0,422	- 0,390	- 0,474	- 0,467
(t=2) $r_2 - r_1$	0,899	0,921	0,860	0,867

Для доверительной вероятности $\beta = 0,95$ корреляция ошибок и поправок в сети А1 незначительна:

$$|\bar{r}| < r_2 - r_1 . \quad (2)$$

С вероятностью $\beta \approx 0,6$ можно считать, что корреляция ошибок и поправок имеет место.

Ошибки Δ_i - случайные, нормально распределенные числа с параметрами: математическим ожиданием $M(\Delta) = 0$ и средним квадратическим отклонением $\sigma(\Delta) = 1$. По результатам статистического анализа [2] поправки также нормально распределены. Оценки параметров четырех рядов ошибок и соответствующих поправок представлены в табл. 3.

Таблица 3. Оценки параметров ошибок и поправок

№№ рядов	1	2	3	4
$\bar{\Delta} = [\Delta]/n$	- 0,013	- 0,113	- 0,240	0,180
$\bar{\sigma}_{\Delta}$	1,092	1,164	0,797	0,900
$\bar{v}$	0,004	0,225	- 0,025	0,005
$\bar{\sigma}_v$	0,462	0,383	0,359	0,420

Из сравнения $\bar{\sigma}_{\Delta}$ и $\bar{\sigma}_v$ видно, что точность поправок выше точности ошибок. Вычислим остаточные ошибки уравнивания сети А1:

$$\xi_i = \Delta_i + v_i . \quad (3)$$

Для заданных истинных значений превышений $h_i = 0$ и отметок исходных пунктов $H_j = 0$, случайные ошибки Δ_i можно рассматривать как результаты измерений, а остаточные ошибки ξ_i , как результаты уравнивания (табл. 4).

Таблица 4. Остаточные ошибки уравнивания

№№	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	№№	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
1	- 1,36	0,59	- 0,14	0,83	9	- 0,80	- 1,97	- 0,93	- 0,32
2	- 1,44	- 1,09	0,07	- 0,34	10	- 0,96	0,18	- 0,03	- 1,47
3	0,07	1,68	- 0,21	1,17	11	0,86	0,82	- 0,64	- 0,75
4	- 0,01	- 1,57	- 0,42	- 0,62	12	0,59	- 0,77	0,45	1,00
5	- 1,21	1,43	- 1,55	- 0,40	13	- 0,11	0,63	0,38	0,88
6	0,81	- 0,46	- 0,62	0,52	14	0,91	0,34	- 0,32	0,72
7	- 0,21	1,06	- 0,85	0,87	15	0,89	0,16	1,45	- 0,03
8	1,83	0,64	- 0,61	0,72	Σ	- 1,14	1,67	- 3,97	2,78

Контрольные вычисления невязок полигонов по уравненным превышениям ξ_i позволяют убедиться, что невязки практически равны нулю.

Сумма двух нормально распределенных случайных величин также имеет нормальное распределение. Действительно, по результатам статистического анализа [2] остаточные ошибки ξ_i , представленные в табл. 4, подчиняются *нормальному закону* распределения. Приведем оценки параметров распределения случайных, остаточных ошибок ξ_i (табл. 5).

Таблица 5. Оценки параметров остаточных ошибок ξ

№№ рядов	1	2	3	4
$\bar{\xi}$	- 0,0093	0,111	0,265	0,075
$\bar{\sigma}_\xi$	0,99	1,074	0,702	0,815

Согласно теореме о среднем отношении весов измеренных и уравненных величин среднее повышение точности для данной сети можно выразить формулой

$$\bar{\sigma}_\xi = \bar{\sigma}_\Delta \sqrt{t/n} = 0,81 \cdot \bar{\sigma}_\Delta. \quad (4)$$

В данном примере отношения оценок средних квадратических отклонений уравненных и измеренных величин ($\bar{\sigma}_\xi / \bar{\sigma}_\Delta$) по четырем вариантам заданных ошибок составили: 0,91; 0,92; 0,99; 0,95.

Точность уравненных превышений повысилась незначительно, менее чем на 10 %. Поправки, полученные из уравнивания, компенсировали невязки, но остаточные ошибки ξ_i фактически имели тот же порядок, что и случайные ошибки Δ_i результатов измерений.

Исследования, выполненные по восьми вариантам неслучайных ошибок измерений данной сети, показали, что закон распределения остаточных ошибок

ξ_i уклонился от нормального только один раз – в восьмом варианте, с систематической ошибкой $\delta = 3 \sigma$, присутствовавшей во всех измерениях.

Это значит, что уравненные результаты в недостаточной степени отражают закон и статистические свойства ошибок измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков, В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. – М.: Недра, 1977. – 367 с.
2. Егорова, С.А. Методология автоматизации статистического анализа геодезических данных / С.А. Егорова // Наука на рубеже тысячелетий: сб. материалов 6-й междунар. техн. конф. – Тамбов: ТАМБОВПРИНТ, 2009. – С. 96-97.

© С.А. Егорова, 2010

УДК 528.004

В.А. Бударова

ГОУ ВПО «ТГАСУ», Тюмень

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ТЕРРИТОРИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Рассматривается автоматизированная «сквозная» технология обработки результатов геодезического обеспечения сейсморазведочных работ на единой геоинформационной основе.

V.A. Budarova

TSABU, Tyumen

TECHNOLOGY OF PROCESSING OF RESULTS OF GEODETIC MAINTENANCE 3D SEISMIC PROSPECTING IN TERRITORIES OF OIL FIELDS AND GAS

Is considered the automated "through" technology of processing of results of geodetic maintenance seismic and Prospecting works on a uniform information basis.

При создании информационного геолого-геофизического пространства территории нефти и газа координатной основой служат результаты геодезического обеспечения наземных геофизических работ, в том числе пространственной 3D сейсморазведки. При этом обязательным условием является использование современных средств обработки и интерпретации.

Многообразие методов и модификаций геофизических исследований, ландшафтных и климатических условий, в которых они выполняются, вызывает необходимость использовать для их геодезического и навигационного обеспечения широкий круг технических средств, способов и технологий, включая традиционные и нетрадиционные, а также комплексное их применение [1].

В свою очередь, автоматизированная обработка результатов геодезического и навигационного обеспечения профильной и площадной сейсморазведки представляет собой набор соответствующих методик и технологий, которые с течением времени применялись в практике геофизических работ, в том числе в ОАО «Хантымансийскгеофизика».

В последние 10-15 лет в силу бурного развития компьютерной техники и создания специализированных комплексов прикладных программ появилась возможность существенного сокращения временных и финансовых затрат посредством применения современных геоинформационных технологий.

Поэтому актуальной задачей обработки как геофизических данных так и геодезических работ, является обеспечение общей «сквозной» технологии всего вычислительного процесса на единой геоинформационной основе, предусматривающей полное совмещение форматов промежуточных и конечных результатов геофизических и геодезических работ.

До последнего времени процесс обеспечения «сквозной» технологической обработки осложнялся тем, что отдельные организации и фирмы использовали различные программные комплексы, ГИС, которые отличаются особенностями в форматах входных и выходных данных.

Требовалась разработка единого формата методики и технологии геодезического обеспечения территорий с целью создания и построения высокоинформативных карт расположения пунктов геофизических наблюдений (ПГН) объемной 3D сейсморазведки. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

- Выполнить обзор и анализ методик и технологий автоматизированной обработки результатов геодезического обеспечения продольной и площадной сейсморазведки в сопоставлении с геодезическим обеспечением других геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых;
- Обосновать требования к повышению качества и производительности автоматизированной обработки результатов геодезического обеспечения сейсморазведки;
- Выполнить сравнительный анализ существующих методик обработки результатов планово-высотного обеспечения объемной 3D сейсморазведки на территории разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа;
- Разработать методику и автоматизированную технологию обработки результатов геодезического обеспечения сейсморазведки на основе использования геоинформационных систем;
- Обосновать «сквозную» автоматизированную технологию координирования и создания карт расположения пунктов объемной 3D сейсморазведки.

Таким образом, объектом исследований являлся комплекс геофизических и геодезических натурных наблюдений, выполняемых на территориях месторождений нефти и газа, предметом исследования являлась технология обработки результатов планово-высотного обеспечения объемной 3D сейсморазведки на основе использования геоинформационных систем.

Технология координирования пунктов геофизических наблюдений (ПГН), создания карт их расположения при объемной 3D сейсморазведке была призвана:

- Обеспечить исключение совмещения разных входных и выходных форматов данных, особенно при экспорте результатов геофизической службе для расчета и построения выходных документов, необходимых в процессе обработки и интерпретации геофизических измерений;

- Повысить возможность оперативного проведения исправлений и дополнений при последующих геодезических работах, проектировании, компьютерном анализе, геоинформационной обработке, архивации и хранении данных;
- Обеспечить экономический эффект процесса обработки данных и формирования выходных и отчетных материалов.

Технология координирования ПГН и создания карт их расположения при объемной 3D сейсморазведке представлена в общей технологической схеме процессов формирования и создания выходных материалов геодезического обеспечения объемной сейсморазведки на рис. 1.

В технологической схеме предусмотрена обратная связь. Благодаря этому измерения могут проводиться в разные временные эпохи, данные могут накапливаться в базе данных и характеризовать динамику изменения территории месторождения в целом.

С целью разработки автоматизированной технологии обработки результатов геодезического обеспечения и создания выходных и отчетных материалов сейсморазведки были исследованы возможности программных продуктов CREDO: модулей CREDO_DAT, CREDO_TER, CREDO_SR и графического редактора Corel Draw. Функционирование модулей программы CREDO и графического редактора Corel Draw реализовано в алгоритме технологического процесса, представленного на рис. 2.

Имелся ряд специфических особенностей рассматриваемой технологии, которые влияют на производительность работ при выполнении следующих процедур:

- Формирование файлов с промежуточными форматами,
- Их экспорт в последующие модули программы CREDO,
- Их экспорт в графический редактор Corel Draw,
- Операция масштабирования в графическом редакторе Corel Draw, особенно в ранних версиях.

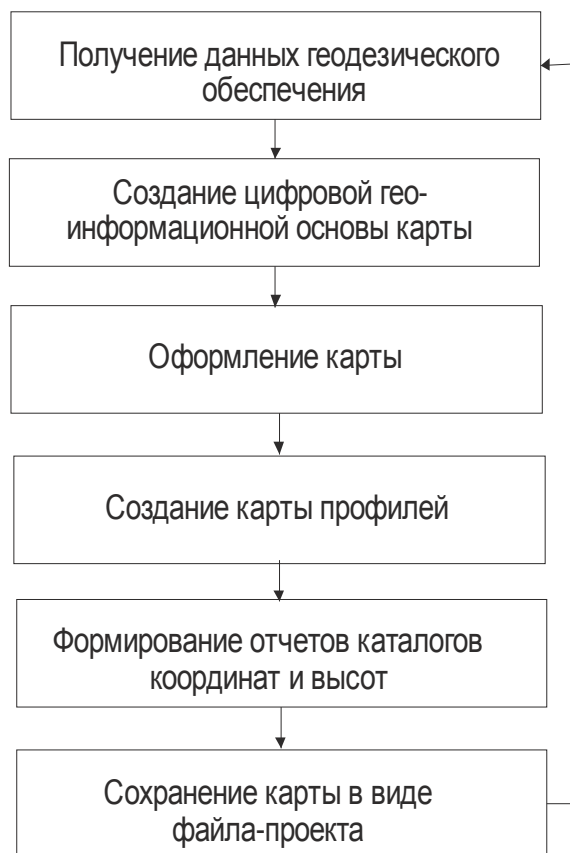


Рис. 1. Общая технологическая схема процессов формирования и создания выходных материалов геодезического обеспечения сейсморазведки

Важным фактором являются и финансовые показатели при выборе одного или нескольких конкретных программных продуктов, и, как следствие - затраты на обучение специалистов.

После перехода полностью на автоматизированный режим сбора информации с геодезического оборудования (электронные тахеометры и GPS- оборудование) и появления на рынке программного обеспечения инструментальных геоинформационных систем, в особенности ГИС - MapInfo Profesional (США), представилась возможность использовать одну программу вместо четырех ранее использованных. При этом на этапе создания карт профилей применяются существующие технологии профильного представления данных сейсмической разведки.

Было предложено выполнять интеграцию профилей карт с общей обзорной картой территории возможного освоения месторождения. Это позволяло реализовать техническое решение, обеспечивающее возможность осуществить переход от одного профиля к другому с помощью интегрированного в среду ГИС языка запросов. Организованный таким образом технологический процесс создания выходных материалов, в том числе, карт расположения ПГН объемной сейсморазведки 3D на основе предложенной последовательности действий позволяет реализовать сквозной режим автоматизированной обработки результатов геодезического обеспечения территорий, используя один программный продукт ГИС - MapInfo Profesional.

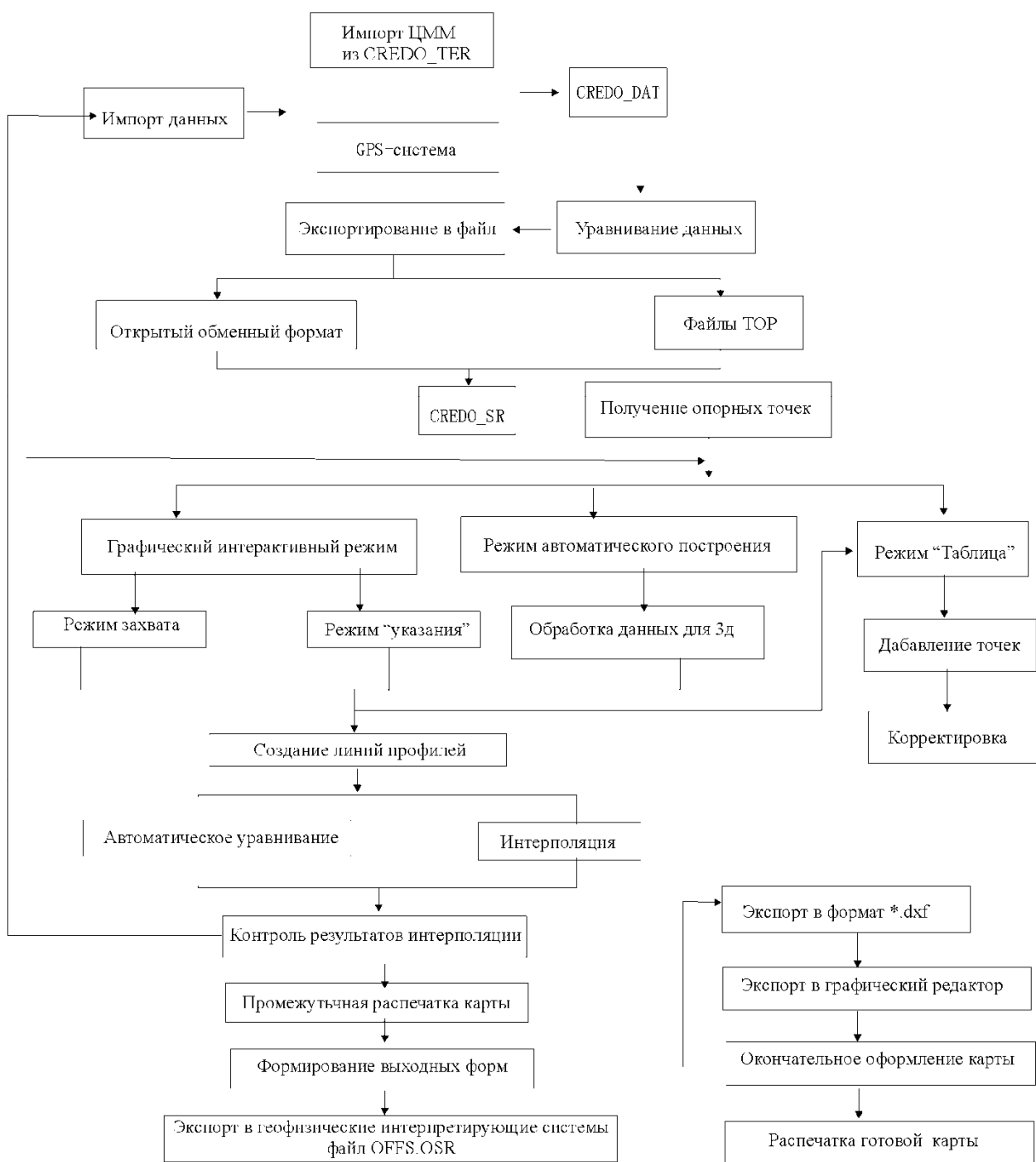


Рис. 2. Алгоритм технологического процесса создания выходных и отчетных материалов геодезического обеспечения 3D сейсморазведки

Алгоритм этого процесса представлен на рисунке 3 технологической схемой формирования выходных форм информации по данным геодезического обеспечения объемной 3D сейсморазведки с применением ГИС MapInfo.

конкретных потребностей, может регулировать последовательность действий, обеспечивая ресурсосберегающий режим технологических процессов, и выполнять работы на том программном обеспечении, которое используется в предприятии.

Таким образом, технология координирования ПГН, создания карт их расположения при объемной 3D сейсморазведке на основе использования геоинформационных систем позволяет:

- Реализовать «сквозной» автоматизированный технологический процесс координирования и создания карт расположения пунктов объемной 3D сейсморазведки, исключая совмещение разных входных и выходных форматов данных, необходимых в процессе обработки и интерпретации геодезических и геофизических измерений;

- Повысить возможность оперативного проведения исправлений и дополнений при последующих геодезических работах, проектировании, компьютерном анализе, геоинформационной обработке, архивации и хранении данных;

- Повысить производительность работ с обеспечением экономического эффекта процесса обработки данных;

- Регулировать финансовые затраты при выборе программных продуктов;

- Сократить затраты на обучение специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев, В.И. Основы сейсморазведки. Учебное пособие. – Екатеринбург: УГГГА, 2003. - 332 с.

2. Бударова, В.А. Опыт создания карт 3D сейсморазведки с использованием геоинформационных технологий / В.А. Бударова // ГЕО-Сибирь-2008. Т.1, Ч.2: сб. материалов IV междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009», 22-24 апр. 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 180-183.

© В.А. Бударова, 2010

УДК 528.5: 528.48

М.А. Боков, Д.Б. Буренков, А.В. Полянский, Ю.И. Пупков, Л.Н. Сердаков

ИЯФ СО РАН, Новосибирск

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ ЛАЗЕРНЫМ ТРЕКЕРОМ API TRAKER 3 В ИЯФ СО РАН

При установке уникального оборудования на ускорительно-накопительных комплексах возникает проблема не только в применении лазерных геодезических приборов, но и в исследовании их точностных возможностей и адаптации под конкретные задачи. Рассмотрена методика исследования точности лазерного трека API Traker 3, цифрового нивелира Trimble DiNi 030 и оптического нивелира Ni 007.

M.A. Bokov, D.B. Burenkov, A.V. Polyansky, Yu.I. Pupkov, L.N. Serdakov

The Institute of Nuclear Physics, Siberian Division of Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk

P.P. Murzintsev

SSGA, Novosibirsk

RESEARCH OF ELEVATION MEASUREMENT ACCURACY BY LASER TRACKER API TRAKER 3 AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS OF THE SIBERIAN DIVISION OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

When installing the unique equipment on the accelerating-storage complex the problem arises as concerns not only the laser geodetic instruments application but also the research of their accuracy capabilities and adaptability to specific tasks. The paper presents the techniques for accuracy investigation of laser track ARI Traker 3 , digital level Trimble DiNi 0303 and optical level Ni 007.

Проблема разработки методик геодезических измерений для высокоточной установки оборудования на ускорительно-накопительных комплексах является актуальной [1], [2].

В институте ядерной имени Г.А. Будкера Сибирского Отделения Академии наук в 2009 году был выполнен цикл экспериментальных исследований по определению возможности использования цифровых нивелиров и лазерного трекера API Traker 3 для установки магнитных элементов.

Местом проведения исследования был выбран прямолинейный участок тоннеля транспортного канала перепуска с накопителя-охладителя на ВЭПП-3. Тоннель находится на глубине порядка 20 метров,

Условия измерений на данном участке тоннеля ускорителя максимально близки к идеальным лабораторным условиям. Хорошая освещенность за счет ламп дневного света и отделки тоннеля белого цвета. Постоянная температура воздуха около +21-22 градуса по Цельсию (согласно показаниям установленных в тоннеле термометров). Низкая влажность воздуха, а также отсутствие вибраций. Небольшим неблагоприятным фактором, возможно, являлось перемещение теплых и холодных воздушных масс, за счет того, что в тоннеле работали электрические обогреватели с принудительным нагнетанием воздуха. Но на время проведения измерений они были заблаговременно отключены.

Цель исследований заключалась в сравнении возможностей лазерного трекера API Tracker3 цифрового нивелира Trimble DiNi 030 с традиционной методикой геометрического нивелирования короткими лучами (нивелир Ni 007); для выполнения высокоточного нивелирования геодезической сети ускорителя.



Рис. 1. Лазерный трекер на геодезическом знаке

Отметим, что первая попытка использовать цифровой нивелир швейцарской фирмы Leica была предпринята в 2003-2004 годах, при выверке магнитов на ВЭПП-2000. Тогда, к комплекту оборудования пришлось не только докупить, специальную штрихкодую рейку, но и изготовить, приспособление с помощью специальной втулки, позволяющее устанавливать рейку на геодезический знак [3]. Штрихкодую рейку, высотой 0,7 метра устанавливалась, непосредственно на магнит (рис. 2). Данный цифровой нивелир оказался очень капризным к освещению, к помехам в поле зрения. Первую проблему, удалось решить путем использования подсветки непосредственно на рейке. Вторая из-за большого количества оборудования, осталась самым большим недостатком.

Хотя результаты геодезических измерений достаточно хорошо соответствовали данным предыдущих лет, было принято решение отказаться от дальнейшей разработки методики нивелирования с цифровым нивелиром Дини 2001 швейцарской фирмы Лейка.

В комплекте, к высокоточному цифровому нивелиру Trimble DiNi 030 прилагается двухметровая штрих-кодовая рейка. Она снабжена двумя круглыми уровнями и металлической пяткой, что, безусловно, повышает точность работы и удобство установки рейки на нивелируемую точку.

Нивелируемые электромагнитные линзы уже были предварительно выставлены горизонтально в одной плоскости, с точностью порядка 0,0015 м. Соответственно величина полученных при помощи нивелира Trimble DiNi 030 превышений, не должна быть больше 0,0015 м.

Исходя из результатов проведенного исследования, можно сделать следующий вывод. Прибор оказался очень удобным для работы в тоннеле. Значительно увеличивалась производительность труда (по сравнению с нивелиром Ni 007), исключается ошибка при взятии отсчета наблюдателем. Однако при больших расстояниях, более 25-30 метров наблюдалось ухудшение внутренней сходимости между двумя отсчетами, взятыми при одном и том же положении рейки. Поэтому используя цифровой нивелир Trimble DiNi 030 для установки элементов оборудования ускорительных комплексов можно порекомендовать его для нивелирования короткими лучами. Недостаточно удобной была сама рейка – чрезмерно длинной и массивной. Поэтому для дальнейшего использования цифрового нивелира Trimble DiNi 030 в тоннелях ускорителей рекомендуется использовать более короткую и менее массивную рейку. Причем необходимо изготовить специальный набор втулок разного диаметра, позволяющих точно устанавливать рейку в гнездовые центры геодезических знаков и различного оборудования, например, магнитов и линз.

В процессе использования лазерного трекера API Tracker3 для получения высотного обоснования, у геодезической группы ИЯФ СО РАН возникло подозрение на неточность полученных данных, на наличие систематических ошибок измерительного комплекса API Tracker3. А так как данный измерительный комплекс автоматизирован, и ошибки наблюдателя полностью исключены, то было предположено, что появление некорректных измерений связано с ошибками в работе самого лазерного трекера.

Было принято решение о проведении исследования API Tracker3 на наличие ошибок измерений при создании высотного обоснования. В качестве участка испытаний был выбран тоннель транспортного канала перепуска с накопителя-охладителя на ВЭПП-3. Решено было определить превышение между геодезическими знаками при помощи трех измерительных средств – оптического нивелира Ni 007, электронного нивелира Trimble DiNi 030 и лазерного трекера API Tracker3.

В центре линейного участка, а именно на геодезическом знаке К-8 был установлен оптический нивелир Ni 007, в непосредственной близости от него на штативе установлен цифровой нивелир фирмы Trimble – DiNi 030, и на противоположной стороне тоннеля лазерный трекер API Tracker3. Таким образом, все три геодезических прибора находились в центре нивелируемого участка, то есть, выполнялось нивелирование из середины с равными плечами, с исключением ошибки за нарушение главного условия нивелира (угла «i»). Из результатов геодезических наблюдений прошлого года было известно об

имеющемся наклоне плоскости примерно на 4 мм между геодезическими знаками К-7 и К-9.

Работу одновременно выполняли три бригады по два человека в каждой. Нивелирные рейки: штрих-кодовая, двухметровая – для цифрового нивелира Trimble DiNi 030, пятидесятисантиметровая, специально изготовленная для нивелира Ni 007, и отражатель сферического типа для лазерного трекера API Tracker3 поочередно устанавливались на одни и те же геодезические пункты.

Рейка для нивелира Ni 007 изготавливалась в ИЯФ специально для нивелирования геодезических сетей в тоннелях ускорителей. Поэтому она имеет небольшую длину, около пятидесяти сантиметров, и снабжена специальной втулкой для установки в гнездовой центр геодезического знака. Вследствие этого, работать с данной рейкой очень удобно. Штрих-кодовая рейка для нивелира Trimble DiNi 030 имеет длину два метра. Это вызывало некоторые неудобства в ее использовании, так как большинство тоннелей ускорителей имеют невысокий потолок и различное подвесное оборудование: магниты, высоковольтную проводку и т.д.

Достоинствами нивелира Trimble DiNi 030 являются: значительная экономия времени, чем при работе с Ni 007, а следовательно повышение производительности труда и отсутствие ошибки при взятии отсчета. Прибор оказался гораздо менее прихотливым к освещенности штрих-кодовой рейки и наличию помех в поле зрения, чем его «предшественник» цифровой нивелир Leica Dini 2001. Недостатком же данного прибора явилось неудобство использования штатной двухметровой рейки.

На рис. 2 представлены две схемы нивелирования, согласно которым выполнялись измерения.

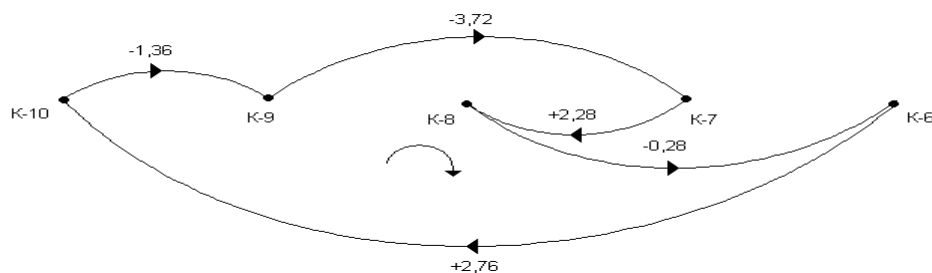


Рис. 2. Первая схема измерения превышений в полигоне, между геодезическими знаками К-6, К-7, К-8, К-9, и К-10

Невязка в полигоне, измеренном по первой схеме, составила -0,32 мм, а по второй схеме нивелирования составила -0,34 мм. Таким образом, разность невязок двух полигонов равна 0,02 мм. Создание высотного обоснования по первой схеме нивелирования, является более предпочтительным. Так как в отличие от второй схемы, прибор можно было устанавливать на сами геодезические пункты. В этом случае отпадает необходимость установки штатива, уменьшается время, затраченное на измерения. Наиболее «слабым» местом нивелирного полигона оказался промежуток между линзами К-7-К-9, имеющий общий наклон порядка 4мм. Нивелирование выполнялось тремя

приборами, по трем различным методикам; геометрическое нивелирование короткими лучами, цифровым нивелиром с двухметровой штрихкодовой рейкой и лазерным трекером на сферический отражатель. Результаты нивелирования для «слабого» места полигона представлены в табл. 1.

Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать следующий вывод. Нивелирование при помощи прибора Ni 007 и комплекта специальных реек, было, есть и остается одним из самых простых и надежных методов создания высотного обоснования в тоннеле ускорителя. Недостатком данного прибора являются большие затраты времени, чем при работе с цифровым нивелиром Trimble DiNi 030 и возможные ошибки при взятии отсчета.

Таблица 1. Максимальная ошибка предварительной установки линз в «слабом» месте

Название прибора	Обозначение превышения	Среднее значение измеренного превышения, мм
Оптический нивелир Ni 007	K7-K9	-3,739
Цифровой нивелир Trimble DiNi 030	K7-K9	-3,773
Лазерный трекер API Trecker3	K7-K9	-3,116

Результаты исследований лазерного трекера API Trecker проведенные в Институте Ядерной Физики СО РАН подтверждают данные исследований Московского университета геодезии и картографии, выполненные для другого лазерного трекера фирмы «FARO». Исследования выполнялись на «Универсальном метрологическом комплексе МИИГАиК» (УМК-М); в обоих случаях получены свидетельства о наличии «скачка», то есть о существовании неучтенной погрешности.

Для эффективного использования лазерных трекеров при установке уникального оборудования ускорительно-накопительных комплексов требуются разработки специальных методик геодезических измерений, позволяющих учитывать систематические погрешности, выявленные при исследованиях на компараторах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ямбаев Х.К. Роль высокоточных геодезических измерений в создании уникальных сооружений [Текст] / Х.К. Ямбаев, Г. Е. Рязанцев, В.А. Горелов. – Геодезия и картография, № 4, 2004. – С.122-27.

2. Технические требования на установку в проектное положение магнитных элементов модернизированного ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-4М ИЯФ СО АН СССР [Текст]: Ю.А. Пупков, Ю.И. Левашов. – ИЯФ: 1987.

3. Боков, М.А. Высокоточные инженерно-геодезические работы по созданию опорной геодезической сети ускорителя [Текст]: лаб. практикум для вузов / М.А. Боков, Д.Б. Буренков, П.П. Мурзинцев, А.В. Полянский. – Новосибирск: СГГА, 2007 – 62 с.

© М.А. Боков, Д.Б. Буренков, А.В. Полянский, Ю.И. Пупков,
Л.Н. Сердаков, П.П. Мурзинцев, 2010

УДК 528.482

А.А. Басаргин

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Развитие современных программно-технических комплексов и ГИС-технологий позволяет ставить новые вычислительные задачи и эксперименты, связанные с 3D моделированием и пространственным анализом геодезических данных. В настоящее время появилась возможность цифрового моделирования деформационных процессов фундаментов зданий и сооружений и построения непрерывных моделей осадок на основе ЭВМ.

A.A. Basargin

SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF THE METHODS FOR DIGITAL MODELING OF THE DEFORMATIONS AND SETTLEMENTS OF BUILDINGS AND STRUCTURES FOUNDATIONS BY THE RESULTS OF GEODETIC MEASUREMENTS

The development of modern program-technical complexes and GIS-technologies permits posing new computational problems and experiments on the 3D modeling and the spatial analysis of geodetic data. At present there is an opportunity of digital modeling of the deformation processes in buildings and structures foundations and developing the continuous computer simulations of settlements.

В настоящее время методы пространственно-временного анализа и алгоритмы обработки геодезических данных постоянно совершенствуются.

Наибольший интерес представляют методы пространственного анализа, основанные на аппарате математической статистики, позволяющие исследовать явления с учетом территориального характера распределения. Такие методы получили название геостатистические, которые в инженерно-геодезической практике не применялись.

Данные методы позволяют проанализировать распределение случайных величин по территории, и что наиболее важно – предопределить значения этих величин в новых местах, а также найти причины такого распределения во взаимосвязи с другими параметрами[1].

Необходимость в этих исследованиях обусловлена развитием современных программно-технических комплексов и ГИС-технологий для анализа геодезических данных с применением трехмерных моделей деформаций для

всей площади оснований сооружений. Очевидно, что разработка новой методики моделирования осадок позволяла бы автоматизировать процессы определения области неравномерных осадок, направления крена плиты фундамента, построение профилей осадок и др. Все это свидетельствует об актуальности исследований в данной области производства геодезических работ.

Исходя из этого, предлагается выполнять пространственный анализ деформаций фундаментов с применением трехмерных цифровых моделей осадок. Трехмерная цифровая модель осадок (ЦМО) вместе со средствами информационного моделирования позволяет объединить всю доступную информацию об изучаемом процессе деформации. Для решения задачи анализа надо многократно выполнять обработку данных, проверять ряд альтернативных гипотез и оценивать результаты. В процессе решения могут вводиться новые наблюдения. В результате итераций версии ЦМО модифицируются и уточняются [3].

Предложена схема построения ЦМО с помощью геостатистических методов для пространственно-временного анализа результатов геодезических наблюдений за деформациями фундаментов зданий. Использование данных методов интерполяции позволяет наглядно представить в графическом растровом и векторном форматах данные, отражающие пространственно-временное состояние фундамента инженерного сооружения. Кроме того, эти методы позволяют автоматизировать и детализировать анализ количественных и качественных характеристик осадок фундаментов инженерных сооружений [2].

Геостатистические методы основаны на определении закономерности изменения разброса значений моделируемого показателя, между точками в пространстве и подчеркивание существующих различий в значениях данных, используя весовые коэффициенты [1].

Для определения степени и характера изменения в пространстве и времени ЦМО использовался вариограммный анализ. Функции вариограмм и ковариации помогают определить степень статистической корреляции в зависимости от расстояния.

Известно, что вариограмма определяется как [3]:

$$\gamma(S_i, S_j) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(S_i) - Z(S_j)), \quad (1)$$

где var – разница между значениями осадки в местоположении i и j .

При увеличении различия с расстоянием вариограмму можно представить как функцию несходства. Чтобы ускорить вычисление значений вариограммы расстояния между всеми парами марок группируются в интервальные группы. Весь диапазон расстояний разбивается на ряд равных интервалов до максимального значения расстояния между марками. Для каждой пары контрольных марок вычисляется расстояние и квадрат разности функции вариограммы. Эта пара точек включается в соответствующий интервал расстояний и для каждого из них накапливается общая дисперсия. После обработки всех пар марок фундамента для каждого интервала расстояний

подсчитывается средняя дисперсия, представляющая среднее различие между осадками в двух любых марках, находящихся на расстоянии s друг от друга.

Таким образом, вариограммный и ковариационный анализ облегчает и повышает эффективность процедуры подбора параметров модели, включая моделирование ошибок цифровой модели осадок [3].

Цифровая модель осадки это поверхность представления пространственного состояния фундамента сооружения, на основе математических функций (моделей вариограммы), которые наиболее адекватно и в полном объеме отражают плановое и высотное положение всей площади основания, пригодном для универсального пользования [4].

На (рис. 1) приведена цифровая модель интерполяции осадок фундамента, построенная с помощью кригинг метода и экспоненциальной функции вариограммы.

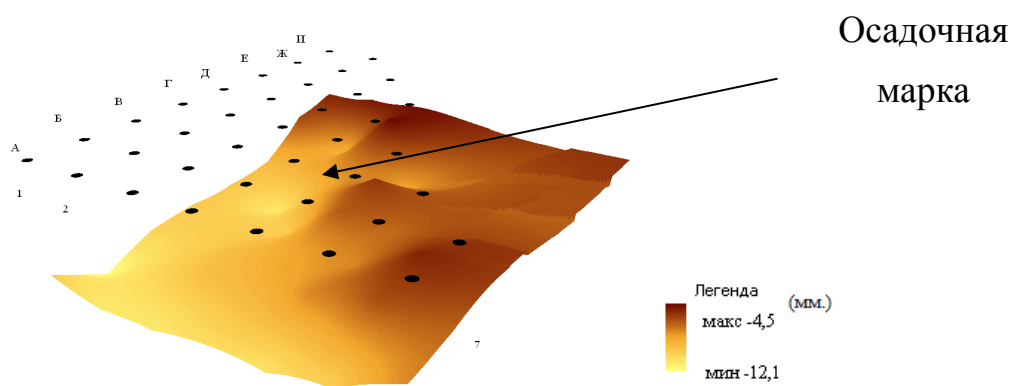


Рис. 1. Цифровая модель интерполяции осадок фундаментов инженерного сооружения (экспоненциальная модель)

Недостаточное обоснование статистических моделей в практических задачах пространственно-временного анализа делает невозможным построение доверительных интервалов оценок анализируемых величин растрового поля. Точность интерполяции при получении ЦМО уменьшается пропорционально увеличению расстояния в пространстве. Нормировка пространства позволяет выбирать пороговую величину в долях средней квадратической ошибки.

Для анализа точности построенных ЦМО проверку достоверности предлагается производить по схеме: изъять одно или несколько значений осадок марок и затем вычислить связанные с ними значения интерполяционной поверхности, используя данные в оставшихся марках, при учете параметров грунтов. Для всех марок взаимная проверка достоверности проводит сравнение измеренных и вычисленных значений. После завершения взаимной (перекрестной) проверки некоторые данные измерений могут быть признаны непригодными, что потребует нового подбора модели вариограммы. Проверка достоверности использует часть данных для оценки модели вариограммы, применяемой в интерполяции. Затем интерполяция по маркам с известными значениями сравнивается с данными реальных измерений.

Таким образом, возможность сравнить вычисленное значение и уравненное предоставляет полезную информацию о параметрах вариограммы.

Преимуществом предложенной методики пространственно-временного анализа деформаций фундаментов является то, что получаемая цифровая модель осадок построена при условии оптимального поля или карты распределения ошибок интерполяции. Такая карта распределения ошибок интерполяции строится по значениям стандартных ошибок вычисляемых значений или стандартной ошибке интерполированных значений.

Для более полного анализа моделей вариограмм была построена карта ошибок интерполяции, представленная на (рис. 2).

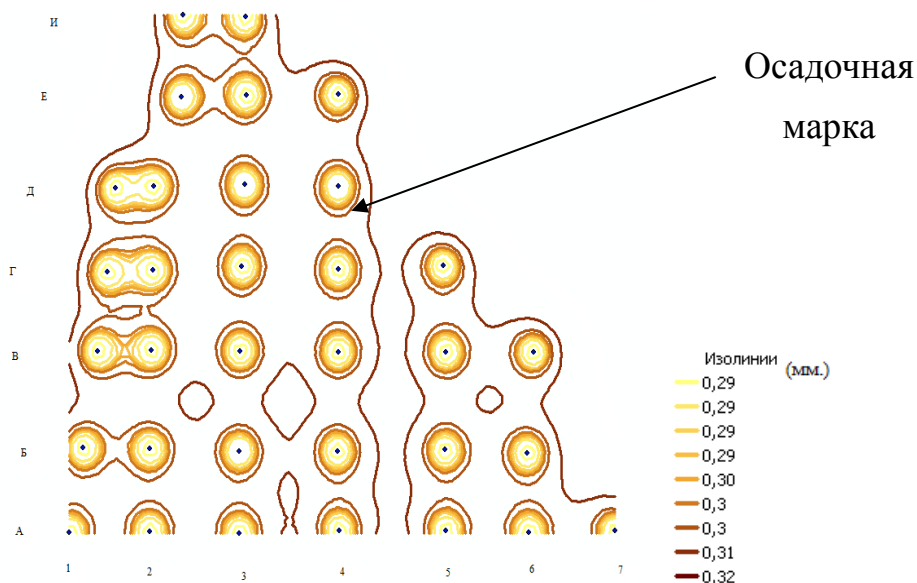


Рис. 2. Цифровая модель ошибок интерполяции осадок фундаментов инженерных сооружений (экспоненциальная модель)

Таким образом, использование геостатистических методов интерполяции позволяет наглядно представить в графическом растровом и векторном форматах данные, выражающие пространственно-временное состояние фундаментов инженерных сооружений. Кроме того, эти методы позволяют выполнить детальный анализ количественных и качественных характеристик осадок фундаментов инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гитис, В.Г. Основы пространственно временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков. – М.: Физматлит, 2004.
2. Лурье, И.К. Геоинформационное картографирование / И.К. Лурье. – М.: МГУ, 2008. – 424 с.
3. Басаргин, А.А. Геостатистический анализ результатов наблюдения за осадками фундамента инженерного сооружения / А.А. Басаргин // ГЕО-Сибирь-2007: сб. материалов науч. конгр. Т. 1, ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 290–292.

4. Басаргин, А.А. Анализ геостатистических методов обработки результатов наблюдений за осадками инженерных сооружений / А.А. Басаргин // ГЕО-Сибирь-2008: сб. материалов науч. конгр. Т. 1, ч. 2. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 231–235.

© А.А. Басаргин, 2010

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ТИХОНОВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВЫРОЖДЕННЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ

В статье предложен удобный алгоритм для уравнивания свободных геодезических сетей на основе регуляризации Тихонова и известной леммы Шермана-Моррисона-Вудберии.

A.G. Barliani

SSGA, Novosibirsk

MODIFIED TIKHONOV ALGORITHM FOR DEGENERATED COMBINED EQUATIONS SOLUTION

The author offers convenient algorithm for free geodetic networks adjustment on the basis of Tikhonov regularization and famous lemma of Sherman-Morrison-Woodbury.

Хорошо известно, что в геодезической практике существует много задач, для которых в привязке сети к исходным твердым пунктам нет необходимости. Например, при создании геодезического обоснования с целью выноса проекта инженерных сооружений, при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений и т.д. Более того, при уравнивании геодезических сетей (особенно обширных) элементы уравнений поправок вычисляются приближенно, что может привести к плохо обусловленности или даже вырожденности матрицы коэффициентов нормальных уравнений. Естественно в этих и других условиях система нормальных уравнений

$$R\Delta + b = 0, \quad (1)$$

становится вырожденной. Поэтому для матрицы нормальных уравнений R не существует обратной матрицы R^{-1} , и задача решения не имеет.

Эту задачу можно решить методом регуляризации Тихонова [1] по формуле:

$$\tilde{\Delta} = -(10^P I + RR)^{-1} Rb = -\bar{R}^+ b, \quad (2)$$

где 10^P - параметр регуляризации;

I - единичная матрица соответствующих размеров;

$\bar{R}^+$ - псевдообратная матрица к матрице $(10^P I + RR)$.

Для того чтобы найти оценку вектора Δ по формуле (2), необходимо определить обратную матрицу к матрице

$$\bar{R} = 10^P I + RR. \quad (3)$$

Введем обозначения $R_0 = 10^P I$, $C = RR$, тогда получим

$$\bar{R} = R_0 + C. \quad (4)$$

Выражение (4) запишем в виде матричного ряда:

$$\bar{R} = R_0 + c_1 e_1 + c_2 e_2 + \dots + c_m e_m + \dots + c_k e_k, \quad (5)$$

где c_j - вектор-столбец матрицы C .

e_j - единичный вектор-строка с нулями всюду и единицей на позиции j .

Например, для $j = 1$ единичный вектор имеет вид:

$$e_1 = [1 \ 0 \ 0, \dots, 0].$$

В условиях разложения (5) на основании известной леммы Шермана-Моррисона-Вудбери [2, 3]

$$A^{-1} = (A + ab^T)^{-1} = \bar{A}^{-1} - \frac{\bar{A}^{-1} ab^T \bar{A}^{-1}}{1 + b^T \bar{A}^{-1} a}$$

получим рекуррентный алгоритм последовательного построения обратной матрицы

$$\bar{R}_{m-1}^{-1} - \frac{\bar{R}_{m-1}^{-1} c_m e_m \bar{R}_{m-1}^{-1}}{1 + e_m \bar{R}_{m-1}^{-1} c_m}, \quad (6)$$

где m - номер итерации.

Приведем рекуррентный алгоритм обращения матрицы (6) к более удобному виду. Для этого введем обозначения $\bar{R}_{m-1}^{-1} = Q^m$, тогда выражение (6) примет вид:

$$Q^m = Q^{m-1} - \frac{Q^{m-1} c_m e_m Q^{m-1}}{1 + e_m Q^{m-1} c_m}. \quad (7)$$

В выражении (7) $Q^{m-1} c_m$ - это, по сути, вектор-столбец, обозначим его через

$$Z^m = [Z_1^m, Z_2^m, \dots, Z_m^m, \dots, Z_k^m]^T. \quad (8)$$

Так как в произведении $e_m Q^{m-1}$, e_m - единичный вектор-строка. Поэтому произведению соответствует m -ная из матрицы Q^{m-1} . Обозначив эту строку через T^{m-1} , получим

$$T^m = [Q_{m1}^{m-1}, Q_{m2}^{m-1}, \dots, Q_{mj}^{m-1}, \dots, Q_{mk}^{m-1}]. \quad (9)$$

С учетом всего этого выражение (7) перепишется в форме:

$$Q^m = Q^{m-1} - \frac{Z^{m-1} T^{m-1}}{1 + e_m Z^{m-1}}. \quad (10)$$

Здесь векторному произведению $e_m Z^{m-1}$ соответствует единственный элемент Z_m^{m-1} из столбца (8) с номером $i = m$. Исходя из всего этого, получим удобный алгоритм вычисления отдельных элементов для каждой итерации:

$$Q_{ij}^m = Q_{ij}^{m-1} - \frac{Z_i^{m-1} Q_{ij}^{m-1}}{1 + Z_i^{m-1}}. \quad (11)$$

После выполнения всех итераций получим обратную матрицу $\bar{R}^{-1}$. Далее подставив в выражение (2), получим искомый вектор поправок к параметрам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. - М.: Наука, 1986. - 288 с.
2. Евтушенко, Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации / Ю.Г. Евтушенко. - М.: Наука, 1982. - 432 с.
3. Маркузе, Ю.И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей / Ю.И. Маркузе. - М.: Недра, 1982. - 191 с.

© А.Г. Барлиани, 2010

УДК 528.4:519.2

В.Е. Мизин

СГГА, Новосибирск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены возможности компьютерного проектирования на примере полигонометрического хода с использованием метода математического моделирования. Сравниваются невязки предлагаемых проектов, вычисляемые как функции ошибок измерений.

V.Ye. Mizin

SSGA, Novosibirsk

TRAVERSE DESIGNING BY MODELING

Computer-aided design capabilities are considered by the example of a traverse. Mathematical simulation is used for the purpose. The offered polygons misclosures are compared, which are computed as measurement errors functions.

Геодезической основой, создаваемой на линейном объекте, могут являться полигонометрические ходы, вытянутая форма которых наиболее соответствует протяженному контуру линейного сооружения.

К проекту полигонометрического хода предъявляется ряд требований и ограничений на число сторон n , длину хода $[S]$, значение угловой невязки хода f_{α} , значение относительной невязки хода $f/[S]$.

Угловые и координатные невязки при этом представляют как функции результатов измерений [1].

Невязки полигонометрического хода вычисляются по формулам:

$$f_{\alpha} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{n+1} - (\alpha_K - \alpha_H) + 180 \cdot (n+1); \quad (1)$$

$$f_x = dx_1 + dx_2 + \dots + dx_n - (x_K - x_H); \quad (2)$$

$$f_y = dy_1 + dy_2 + \dots + dy_n - (y_K - y_H). \quad (3)$$

Рассмотрим возможности компьютерного проектирования полигонометрического хода с использованием метода математического моделирования.

Для решения поставленной задачи невязки рассматриваются как функции истинных ошибок результатов измерений.

В полигонометрическом ходе измеряются углы β и длины линий S . Случайные ошибки измерений обозначим: Δ_{β} – ошибки угловых измерений и Δ_S – ошибки линейных измерений.

Истинные ошибки функций случайных ошибок измерений вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi = \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y_1} \right)_0 \Delta_1 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y_2} \right)_0 \Delta_2 + \dots + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y_n} \right)_0 \Delta_n. \quad (4)$$

Таковыми функциями будут являться ошибки дирекционных углов и координат. Дирекционный угол i -ой линии равен

$$\alpha_i = \alpha_H + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_i - 180^\circ \cdot i.$$

Истинная, случайная ошибка невязки дирекционного угла равна сумме случайных ошибок углов или случайной ошибке конечного дирекционного угла

$$\Delta_f^{(\alpha)} = f_\alpha = \Delta_\beta^{(1)} + \Delta_\beta^{(2)} + \dots + \Delta_\beta^{(n+1)} = \Delta_\alpha^{(n+1)}. \quad (5)$$

Координаты пунктов полигонометрического хода

$$x_{i+1} = x_H + dx_1 + dx_2 + \dots + dx_i$$

и

$$y_{i+1} = y_H + dy_1 + dy_2 + \dots + dy_i$$

определяются с ошибками

$$\Delta_x^{(i+1)} = \Delta_{dx}^{(1)} + \Delta_{dx}^{(2)} + \dots + \Delta_{dx}^{(i)}, \quad (6)$$

$$\Delta_y^{(i+1)} = \Delta_{dy}^{(1)} + \Delta_{dy}^{(2)} + \dots + \Delta_{dy}^{(i)}. \quad (7)$$

В качестве аргументов координатных ошибок будем рассматривать случайные ошибки приращений координат

$$dx_i = S_i \cos \alpha_i; \quad dy_i = S_i \sin \alpha_i.$$

Возьмем частные производные от функций dx и dy по аргументам S и α

$$\frac{\partial dx_i}{\partial S_i} = \cos \alpha_i, \quad \frac{\partial dx_i}{\partial \alpha_i} = -S_i \sin \alpha_i,$$

$$\frac{\partial dy_i}{\partial S_i} = \sin \alpha_i, \quad \frac{\partial dy_i}{\partial \alpha_i} = S_i \cos \alpha_i.$$

По формуле (4) получим случайные ошибки приращений координат:

$$\Delta_{dx}^{(i)} = \cos \alpha_i \Delta_S^{(i)} - S_i \sin \alpha_i \Delta_\alpha^{(i)} / \rho, \quad (8)$$

$$\Delta_{dy}^{(i)} = \sin \alpha_i \Delta_S^{(i)} + S_i \cos \alpha_i \Delta_\alpha^{(i)} / \rho. \quad (9)$$

Истинные, случайные ошибки координатных невязок равны суммам случайных ошибок приращений координат:

$$\Delta_f^{(x)} = f_x = \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i \Delta_S^{(i)} - \sum_{i=1}^n S_i \sin \alpha_i \Delta_\alpha^{(i)} / \rho, \quad (10)$$

$$\Delta_f^{(y)} = f_y = \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \Delta_S^{(i)} + \sum_{i=1}^n S_i \cos \alpha_i \Delta_\alpha^{(i)} / \rho. \quad (11)$$

На примере полигонометрического хода продемонстрируем возможности метода моделирования [2] при проектировании геодезической сети. Необходимые расчеты произведем в системе Mathcad. Подобные вычисления призваны подтвердить соответствие проектируемого хода всем инструктивным требованиям и допускам.

Предлагаем следующую методику. В значения углов и сторон полигонометрического хода, снятые со схемы, вносим случайные ошибки измерений – случайные, нормально распределенные числа, с заданными параметрами – математическим ожиданием $M(\Delta) = 0$ и средним квадратическими отклонениями углов σ_β и сторон σ_S . По формулам (5), (10), (11) производится вычисление невязок полигонометрического хода.

Возможно решение следующих задач проектирования. Выбор наилучшего варианта для разного соотношения точности угловых и линейных измерений. При заданной точности измерений выбор положения пунктов хода – значений углов и сторон. Обоснование увеличения длины или числа сторон в ходе при более высокой по сравнению с первоначально заданной (по инструкции) точностью измерений. И другие подобные задачи.

Вычисляем: длину хода Σ , угловую невязку f_α , координатные невязки f_x и f_y , невязку хода f , знаменатель относительной невязки хода (Σ/f) . Исходными данными для расчетов являются случайные ошибки углов Δ , выраженные в секундах, дирекционные углы α в градусах, случайные ошибки сторон Δs в сантиметрах, длины сторон S см, задаваемые в виде векторов.

Изменяя значения и количество углов и сторон, точность предполагаемых измерений, получаем различные варианты проекта полигонометрического хода. Анализируя значения полученных невязок можно выбрать оптимальный вариант. Предпочтительно просчитать несколько вариантов с различными рядами случайных ошибок.

Выполним сравнение двух проектов с различными значениями средних квадратических отклонений углов и сторон:

- 1) $\sigma_\beta=3''$, $\sigma_S = 1$ см ;
- 2) $\sigma_\beta=2''$, $\sigma_S = 3$ см.

Каждый проект рассматривался для двух вариантов рядов случайных ошибок. Приведем вычисления по одному варианту первого проекта.

$$\begin{aligned}
\Delta &:= \begin{pmatrix} -1.54 \\ -3.16 \\ -1.46 \\ 2.27 \\ 0.68 \\ 5.03 \\ -0.45 \\ 1.79 \\ -2.70 \\ -3.48 \\ -0.78 \\ 1.07 \\ 5.48 \\ 1.60 \\ -6.17 \end{pmatrix} & \alpha &:= \begin{pmatrix} 90 \\ 100 \\ 102 \\ 83 \\ 78 \\ 83 \\ 73 \\ 53 \\ 57 \\ 67 \\ 87 \\ 67 \\ 67 \\ 82 \end{pmatrix} & \Delta s &:= \begin{pmatrix} 1.38 \\ -1.85 \\ 1.97 \\ -0.93 \\ 0.71 \\ 0.20 \\ -2.05 \\ -0.74 \\ 0.86 \\ -0.21 \\ 0.42 \\ -0.12 \\ -0.25 \\ -1.63 \end{pmatrix} & S &:= \begin{pmatrix} 25000 \\ 30000 \\ 40000 \\ 25000 \\ 26000 \\ 27000 \\ 23000 \\ 29000 \\ 22000 \\ 30000 \\ 40000 \\ 26000 \\ 27000 \\ 28000 \end{pmatrix} \\
n &:= 14 \\
i &:= 0..(n-1) \\
\rho &:= 206265 \\
a_i &:= \sum_{j=0}^i \Delta_j & Ar_i &:= \alpha_i \cdot \frac{\pi}{180} \\
dx_i &:= S_i \cdot \cos(Ar_i) & dy_i &:= S_i \cdot \sin(Ar_i) \\
S1 &:= \sum_{i=0}^{n-1} (\cos(Ar_i) \cdot \Delta s_i) & S2 &:= \sum_{i=0}^{n-1} \left(dy_i \cdot \frac{a_i}{\rho} \right) \\
S3 &:= \sum_{i=0}^{n-1} (\sin(Ar_i) \cdot \Delta s_i) & S4 &:= \sum_{i=0}^{n-1} \left(dx_i \cdot \frac{a_i}{\rho} \right) \\
\Sigma &:= \sum_{i=0}^{n-1} S_i & f\alpha &:= \sum_{j=0}^n \Delta_j \\
fx &:= S1 - S2 & fy &:= S3 + S4 \\
f &:= \sqrt{fx^2 + fy^2} \\
\frac{\Sigma}{f} &= 1.732 \times 10^5 & f\alpha &= -1.82 & fx &= 1.617 & fy &= -1.632 & f &= 2.298
\end{aligned}$$

Полученные значения невязок по двум проектам представлены в табл. 1.

Таблица 1. Невязки полигонометрического хода

Невязки	$\sigma_B=3'', \sigma_S = 1 \text{ см}$		$\sigma_B=2'', \sigma_S = 3 \text{ см}$	
	1- ый ряд Δ	2- ой ряд Δ	1- ый ряд Δ	2- ой ряд Δ
$f\alpha$	-1,82"	- 1,52"	-4,66"	- 3,53"
fx	1,62 см	9,60 см	5,57 см	13,89 см
fy	- 1,63	- 4,74	13,58	9,28
f	2,30	10,71	14,68	16,70
$1/[S]$	1/173200	1/37170	1/27120	1/23830

По результатам двух испытаний проходит первый проект хода.

Предлагаемый способ проектирования методом моделирования не рекомендуется использовать в геодезических построениях, в том числе и полигонометрических ходах, с небольшим числом измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесных Н.Б. Метод наименьших квадратов на примерах уравнивания полигонометрических сетей. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 160 с.
2. Лесных А.И. Поиск грубых ошибок методом моделирования // Материалы XXIV науч.-техн. конф. препод. СГГА. – Новосибирск, 2000.

УДК 528.4:519.2

В.Е. Мизин

СГГА, Новосибирск

ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО ХОДА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложен алгоритм для предрасчета точности положения пункта полигонометрического хода в системе Mathcad с вычислением элементов формул отдельно для угловых и линейных коэффициентов и последующим их суммированием. Алгоритм может быть использован при выборе проекта хода, для сравнения с результатами повторных наблюдений при мониторинге линейного объекта.

V.Ye. Mizin

SSGA, Novosibirsk

PREDESIGN OF A TRAVERSE COORDINATES ACCURACY FOR LINEAR OBJECTS AREAS MONITORING

The author offers the algorithm for precomputating the traverse point position accuracy in Mathcad system, with formulas elements being computed separately for angular and linear coefficients and summarized afterwards. The algorithm may be used while choosing the traverse design to be compared with duplicate observations of linear object monitoring.

Ходы полигонометрии, создаваемые с использованием электронных тахеометров, являются удобной геодезической основой протяженных линейных объектов. Мониторинг линейного объекта предполагает получение информации о положении пунктов геодезической основы. Первоначальная информация подобного рода может быть получена на стадии проектирования полигонометрического хода. По значениям углов (дирекционных углов) и сторон, измеренных на схеме хода, можно вычислить коэффициенты условных уравнений (A) и весовых функций (F) и по известной формуле [1], через элементы обратной матрицы N^{-1} определить обратный вес любой функции уравненных результатов измерений хода – углов и сторон

$$\frac{1}{P_F} = F^T P F - F^T P A^T N^{-1} A P F . \quad (1)$$

Для выполнения подобных расчетов разработан алгоритм с использованием системы Mathcad [2]. Исходные данные: n - число сторон в ходе; σ_β , σ_s - средние квадратические отклонения (средние квадратические ошибки углов и сторон); S – стороны и α – дирекционные углы, снятые со схемы хода; q – номер оцениваемой точки.

Особенность предлагаемого алгоритма решения в системе Mathcad – вычисление коэффициентов нормальных уравнений и элементов формул обратного веса функций по частям (отдельно для угловых и линейных коэффициентов) с последующим их суммированием. Подобный прием обеспечивает более компактное представление исходных и промежуточных данных.

Обозначим:

$$C_{3,n+1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ b_1^{(\beta)} & b_2^{(\beta)} & \dots & b_{n+1}^{(\beta)} \\ c_1^{(\beta)} & c_2^{(\beta)} & \dots & c_{n+1}^{(\beta)} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$B_{3,n} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 & \dots & \cos \alpha_n \\ \sin \alpha_1 & \sin \alpha_2 & \dots & \sin \alpha_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

– блоки матрицы коэффициентов условных уравнений поправок $A = (C \ B)$.

Получим формулу для вычисления матрицы коэффициентов нормальных уравнений коррелат

$$N = (C \ B) \cdot \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & \Pi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C^T \\ B^T \end{pmatrix} = (C \cdot E \ B \cdot \Pi) \cdot \begin{pmatrix} C^T \\ B^T \end{pmatrix}.$$

Здесь E – единичная матрица обратных весов угловых измерений;

Π – матрица обратных весов линейных измерений.

$$N = C \cdot C^T + B \cdot \Pi \cdot B^T, \quad (4)$$

$$F_{n+1,1} = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_q \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad f_{n,1} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 \\ \cos \alpha_2 \\ \dots \\ \cos \alpha_{q-1} \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \Phi_{n+1,1} = \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \dots \\ \phi_q \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \phi_{n,1} = \begin{pmatrix} \sin \alpha_1 \\ \sin \alpha_2 \\ \dots \\ \sin \alpha_{q-1} \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

– составляющие векторов коэффициентов весовых функций $F = x_q$ и $\Phi = y_q$.

Здесь

$$f_I = -\frac{(y_q - y_I)}{\rho''}; \quad \phi_I = \frac{(x_q - x_I)}{\rho''}.$$

Получим формулу для вычисления обратного веса функции с использованием блочных матриц.

$$\frac{1}{P_F} = \begin{pmatrix} F^T & f^T \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & \Pi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} F \\ f \end{pmatrix} -$$

$$- \begin{pmatrix} F^T & f^T \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & \Pi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C^T \\ B^T \end{pmatrix} \cdot N^{-1} \cdot (C \ B) \cdot \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & \Pi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} F \\ f \end{pmatrix}.$$

Формула для вычисления обратного веса функции $F = x_q$ принимает вид:

$$1/P_F = (F^T \cdot F + f^T \cdot \Pi \cdot f) -$$

$$- (F^T \cdot C^T + f^T \cdot \Pi \cdot B^T) \cdot N^{-1} \cdot (C \cdot F + B \cdot \Pi \cdot f). \quad (5)$$

Аналогично для функции $\Phi = y_q$

$$1/P_\Phi = (\Phi^T \cdot \Phi + \phi^T \cdot \Pi \cdot \phi) -$$

$$- (\Phi^T \cdot C^T + \phi^T \cdot \Pi \cdot B^T) \cdot N^{-1} \cdot (C \cdot \Phi + B \cdot \Pi \cdot \phi). \quad (6)$$

Выполним сравнение точности определения положения 6 – ой точки полигонометрического хода с числом сторон $n = 14$ для двух вариантов проектов, отличающихся точностью измерений углов и сторон. Для первого варианта $\sigma_\beta = 3,0''$, $\sigma_S = 1,00$ см. Для второго варианта проекта $\sigma_\beta = 2,0''$, $\sigma_S = 3,0$ см. Ниже показано представление исходных данных и порядок вычислений.

Первый вариант

$$\alpha := (90 \ 100 \ 102 \ 83 \ 78 \ 83 \ 73 \ 53 \ 57 \ 67 \ 87 \ 67 \ 67 \ 82) \quad \alpha := \alpha^T$$

$$S := (250 \ 300 \ 400 \ 250 \ 260 \ 270 \ 230 \ 290 \ 220 \ 300 \ 400 \ 260 \ 270 \ 280)$$

$$\sigma_\beta := 3 \quad \sigma_S := 1 \quad q := 6 \quad n := 14 \quad i := 0..(n-1) \quad j := 0..n \quad S := S^T \cdot 100$$

$$I := 0..(q-1) \quad \Pi := \frac{\sigma_S^2}{\sigma_\beta^2} \quad Ar_i := \alpha_i \cdot \frac{\pi}{180} \quad dy_i := S_i \cdot \sin(Ar_i) \quad \rho := 206265$$

$$dx_i := S_i \cdot \cos(Ar_i) \quad x_{i+1} := x_i + dx_i \quad y_{i+1} := y_i + dy_i \quad C_{0,j} := 1 \quad B_{0,i} := 0$$

$$C_{1,j} := \frac{-(y_n - y_j)}{206265} \quad C_{2,j} := \frac{(x_n - x_j)}{206265} \quad B_{1,i} := \cos(Ar_i) \quad B_{2,i} := \sin(Ar_i)$$

$$F_j := 0 \quad \Phi_j := 0 \quad f_i := 0 \quad \phi_i := 0 \quad \phi_I := \sin(Ar_I) \quad F_I := \frac{-(y_q - y_I)}{\rho} \quad \Phi_I := \frac{(x_q - x_I)}{\rho}$$

$$f_I := \cos(Ar_I) \quad N := C \cdot C^T + B \cdot \Pi \cdot B^T \quad FF := F^T \cdot F + f^T \cdot \Pi \cdot f$$

$$FA := (F^T \cdot C^T + f^T \cdot \Pi \cdot B^T) \cdot N^{-1} \cdot (C \cdot F + B \cdot \Pi \cdot f) \quad \Pi x := FF - FA$$

$$\Phi 1:=\Phi^T \cdot \Phi+\phi^T \cdot \Pi \cdot \phi$$

$$\Phi 2:=\left(\Phi^T \cdot C^T+\phi^T \cdot \Pi \cdot B^T\right) \cdot N^{-1} \cdot\left(C \cdot \Phi+B \cdot \Pi \cdot \phi\right) \quad \Pi y:=\Phi 1-\Phi 2$$

$$m x:=\sigma \beta \cdot \sqrt{\Pi x} \quad m y:=\sigma \beta \cdot \sqrt{\Pi y} \quad M:=\sqrt{m x^2+m y^2}$$

$$\Pi x=(0.347) \quad \Pi y=(0.376) \quad m x=(1.768) \quad m y=(1.84) \quad M=(2.552)$$

По первому варианту получены следующие результаты:

обратные веса координат шестой точки: $1/P_x = 0,347$; $1/P_y = 0,376$.

средние квадратические ошибки координат $m_x = 1,77$ см, $m_y = 1,84$ см.

средняя квадратическая ошибка положения 6 – ой точки хода $M = 2,55$ см.

Второй вариант

$$\alpha:=(90 \ 100 \ 102 \ 83 \ 78 \ 83 \ 73 \ 53 \ 57 \ 67 \ 87 \ 67 \ 67 \ 82) \quad \alpha:=\alpha^T$$

$$S:=(250 \ 300 \ 400 \ 250 \ 260 \ 270 \ 230 \ 290 \ 220 \ 300 \ 400 \ 260 \ 270 \ 280)$$

$$\sigma \beta:=2 \quad \sigma S:=3 \quad q:=6 \quad n:=14 \quad i:=0..(n-1) \quad j:=0..n \quad S:=S^T \cdot 100$$

$$m x:=\sigma \beta \cdot \sqrt{\Pi x} \quad m y:=\sigma \beta \cdot \sqrt{\Pi y} \quad M:=\sqrt{m x^2+m y^2}$$

$$\Pi x=(0.707) \quad \Pi y=(6.533) \quad m x=(1.681) \quad m y=(5.112) \quad M=(5.381)$$

По второму варианту получено:

обратные веса координат шестой точки: $1/P_x = 0,707$; $1/P_y = 6,53$.

средние квадратические ошибки координат $m_x = 1,68$ см, $m_y = 5,11$ см.

средняя квадратическая ошибка положения 6 – ой точки хода $M = 5,38$ см.

Сравнение результатов вычислений позволяет отдать предпочтение *первому* варианту.

Полученная информация о точности определения положения пункта проектируемого хода может быть использована для сравнения с результатами последующих наблюдений при мониторинге линейного объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесных Н.Б. Метод наименьших квадратов на примерах уравнивания полигонометрических сетей. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 160 с.
2. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. Mathcad 7 математике, физике и в Internet. – М.: Недра, 1970. – 190 с.

© В.Е. Мизин, 2010

УДК 528.48:681.7

М.А. Скрипникова

СГГА, Новосибирск

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Приведены результаты исследования электронного тахеометра TCRP 1201+ в лабораторных условиях. Даются рекомендации по методике выполнения измерений при определении деформаций стенок шлюзовых камер.

M.A. Skripnikova

SSGA, Novosibirsk

POSSIBILITY OF HIGH-PRECISION TOTAL STATION APPLICATION FOR MEASURING ENGINEERING STRUCTURES DEFORMATIONS

The research results concerning total station TCRP 1201+ bench tests are given. The recommendations on the techniques to determine the lock-chamber walls deformations are given.

Одним из основных источников погрешностей при измерении горизонтальных и вертикальных углов является погрешности наведения на визирную цель. Известно, что эта погрешность в значительной степени зависит от внешних условий измерений, ошибок наблюдателя и конструктивных особенностей угломерных приборов.

В настоящее время, при высокоточных измерениях применяются электронные тахеометры с автоматическим наведением на отражатель. Имея некоторый опыт применения электронного тахеометра TCRP 1201+ [1], можно сделать вывод о высокой точности измерения горизонтальных направлений при автоматической наводке на отражатель. Кроме измерения горизонтальных направлений представляют большой интерес возможности, которые появляются при измерении зенитных расстояний с автоматическим наведением.

При выполнении исследований было поставлено несколько задач:

- Выбор типа отражателя, обеспечивающего наиболее точную наводку;
- Определение оптимального числа наведений на направления в приёме;
- Определение влияния вертикальной конвенции воздуха на измерения.

Для исследований были выбраны три типа отражателей фирмы Leica: стандартный, отражатель с мини-призмой и отражатель с возможностью отражения на 360°. Прибор был установлен на расстоянии 25 метров от отражателя. Для каждого типа отражателя было выполнено по 15 отсчётов с

автоматическим наведением на отражатель. Между отсчётами визирный луч смещался с отражателя поворотом алидады. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Анализ данных измерений показывает, что из трёх типов отражателей наилучшую стабильность показаний обеспечивает стандартный отражатель. Минимальная средняя квадратическая погрешность, вычисленная по отклонениям от среднего арифметического, получается для 10 отсчётов. Максимальная разность отсчётов для серий измерений из 5, 10 и 15 отсчётов не превышает 2,5", поэтому влияние максимальной разности на среднее значение отсчёта не превысит, для серии из пяти отсчётов 0,5", что вполне приемлемо для данного тахеометра, у которого паспортная точность измерения углов равна 1". Паспортная точность автоматического наведения на отражатель равна 2".

Таблица 1. Точность измерений для различных типов отражателей

Виды измерений	Максимальная разность отсчетов			Средняя квадратическая погрешность		
	Горизонт. Круг (")	Вертик. Круг (")	Расстояние (мм)	Горизонт. Круг (")	Вертик. Круг (")	Расстояние (мм)
При наведении на стандартный отражатель (15 наведений)	2,1	1,9	0,3	0,61	0,48	0,08
-//- (10 наведений)	1,8	1,0	0,3	0,61	0,32	0,09
-//- (5 наведений)	1,8	1,0	0,2	0,76	0,43	0,08
При наведении на отражатель с мини-призмой (15 наведений)	2,2	2,0	0,4	0,70	0,64	0,13
-//- (10 наведений)	2,0	1,7	0,3	0,61	0,64	0,14
-//- (5 наведений)	2,0	1,7	0,3	0,87	0,70	0,11
При наведении на отражатель с отражением на 360° (15 наведений)	2,3	1,6	0,3	0,69	0,47	0,11
-//- (10 наведений)	1,8	1,0	0,3	0,62	0,30	0,11
-//- (5 наведений)	1,8	1,0	0,2	0,71	0,39	0,09
При наведении на стандартный отражатель, частично закрытый по вертикали (15 наведений)	2,2	2,0	0,3	0,56	0,53	0,12
-//- (10 наведений)	1,6	1,6	0,3	0,45	0,47	0,09
-//- (5 наведений)	1,4	1,5	0,2	0,55	0,55	0,08
При наведении на стандартный отражатель, частично закрытый по вертикали и по горизонтали (15 наведений)	2,7	2,4	0,4	0,84	0,67	0,10
-//- (10 наведений)	2,2	2,4	0,2	0,62	0,82	0,06
-//- (5 наведений)	2,2	2,4	0,1	0,90	0,98	0,06

Таким образом, в приёме измерений, на каждое направление необходимо выполнять не менее 5 наведений на отражатель. Для учёта погрешностей

работы сервомотора, необходимо между отсчётами смещать визирный луч с отражателя.

При определении влияния вертикальной конвенции воздуха на стабильность показаний прибора учитывались условия выполнения измерений при определении деформаций стенок глубоких шлюзов. Расстояния между прибором и отражателем 20-30 метров, расстояние от прибора и от отражателя до потока воздуха не более одного метра. В лаборатории прибор был установлен на штатив, на расстоянии 25 метров установлен отражатель. На расстоянии одного метра от отражателя и от прибора были установлены два вентилятора с возможностью регулировки скорости потока воздуха.

Таблица 2. Точность измерений при моделировании натуральных измерений

Виды измерений	Максимальная разность отсчетов			Средняя квадратическая погрешность		
	Горизонт. круг (")	Вертик. круг (")	Расстояние (мм)	Горизонт. т. круг (")	Вертик. круг (")	Расстояние (мм)
При наведении на стандартный отражатель, вентилятор около прибора (15 наведений)	3,3	2,0	0,4	1,0	0,69	0,10
-//- (10 наведений)	3,3	1,2	0,3	1,11	0,47	0,09
-//- (5 наведений)	3,2	0,8	0,1	1,49	0,36	0,05
При наведении на стандартный отражатель, вентилятор около отражателя (15 наведений)	2,4	2,0	0,4	1,28	0,50	0,11
-//- (10 наведений)	2,4	1,6	0,3	0,90	0,49	0,10
-//- (5 наведений)	2,3	0,8	0,1	1,49	0,37	0,05
При наведении на стандартный отражатель, вентиляторы около отражателя и прибора (15 наведений)	2,2	2,6	0,3	0,55	0,72	0,11
-//- (10 наведений)	1,8	2,2	0,3	0,49	0,76	0,11
-//- (5 наведений)	1,3	2,2	0,3	0,51	0,88	0,14

Скорость потока воздуха была установлена близкая к критической, после которой на экране прибора появлялось сообщение о недопустимой скорости потока воздуха, причём изображение визирной цели было хорошее.

Измерения выполнялись при включённом вентиляторе, стоящем около прибора, затем при включённом вентиляторе около отражателя, и затем при включении обоих вентиляторов. Результаты измерений приведены в таблице 2. Анализ данных показывает, что средние квадратические погрешности измерений при включённых вентиляторах увеличиваются по сравнению с измерениями без принудительной конвенции воздуха. Однако, «размах» величин измерений в сериях по прежнему не превышает 2,5". Наименьшее

влияние конвенция воздуха оказывает на измерения расстояний. Изменения показаний прибора в серии измерений при конвенции воздуха приведены на рисунке 1. По виду графика можно сделать вывод о случайном характере изменения показаний. Поэтому при выполнении высокоточных натурных измерений необходимо выполнять пробные измерения для определения «размаха» измерений, вычислять степень влияния его на результат измерений и подбирать оптимально количества наведений на наблюдаемые направления.

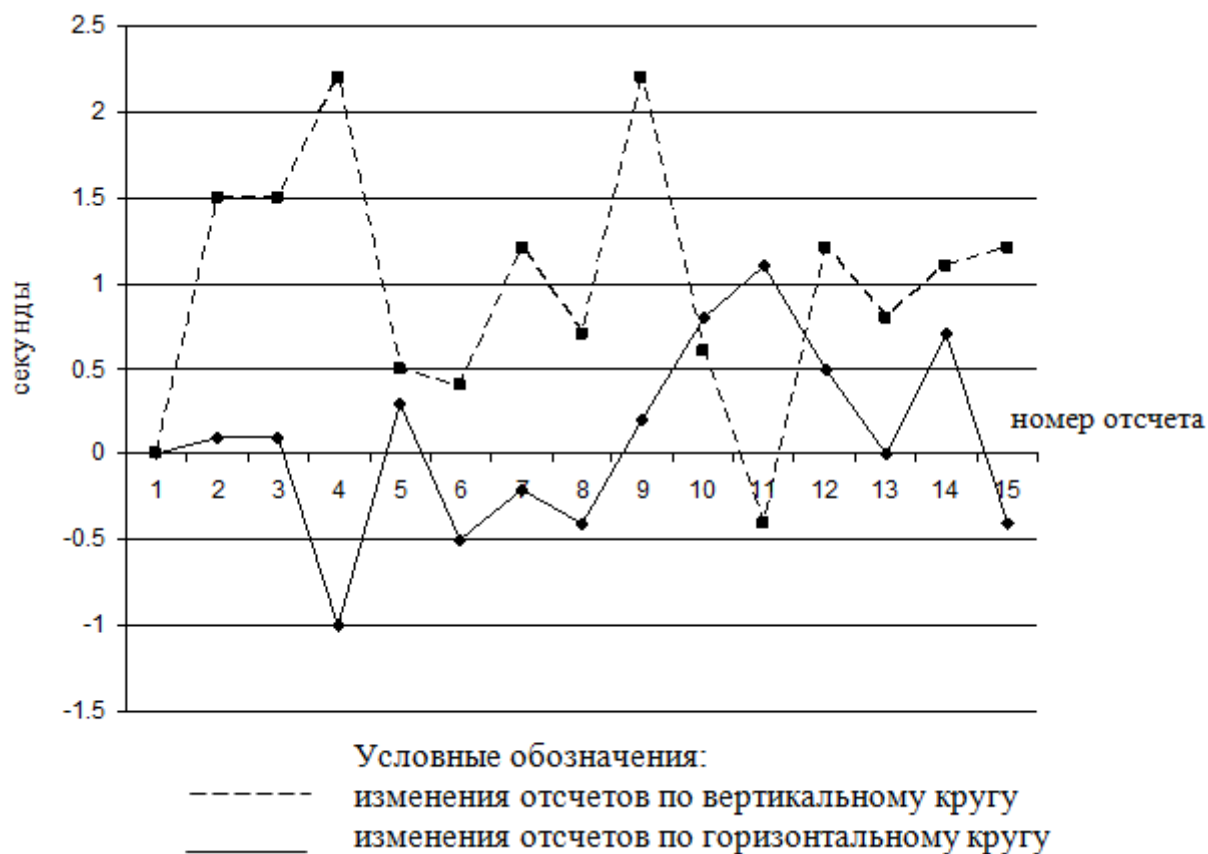


Рис. 1. Изменения отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругу при наличии вертикальной конвенции воздуха

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрипников, В.А. Применение высокоточных оптико-электронных приборов при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО - Сибирь-2009.Т.1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч.1:сб. матер. V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009»,20-24 апр. 2009 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2009.- С. 170-172.

УДК 629.783:528.236

В.И. Дударев

СГГА, Новосибирск

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Рассматриваются матричные преобразования векторов в основных системах координат космической геодезии.

V.I. Dudarev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TRANSFORMATION OF THE BASIC COORDINATES SYSTEMS APPLIED IN THE SPACE GEODESY

Matrix transformations of vectors to the basic coordinates systems of space geodesy are considered.

В космической геодезии невозможно обойтись без разнообразных систем координат и их преобразований. Это обусловлено тем, что пространственные положения различных объектов и рассматриваемых явлений определены в различных системах координат, а задача оценивания параметров состояния сложной нелинейной динамической системы должна выполняться в единой и удобной для работы системе координат.

Ниже рассмотрим основные координатные преобразования векторов из одной прямоугольной системы координат в другую, для которых применяются ортогональные матрицы простых вращений:

$$\mathbf{R}_1(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_2(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix},$$
$$\mathbf{R}_3(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. (1)$$

Здесь матрица $\mathbf{R}_1(\alpha)$ используется при вращении вокруг оси “оx”, матрица $\mathbf{R}_2(\alpha)$ - при вращении вокруг оси “оу”, матрица $\mathbf{R}_3(\alpha)$ - при вращении вокруг оси “оз”. Положительным углом вращения α считается такой угол, при котором вращение системы координат происходит против часовой стрелки, если смотреть с положительного конца оси вращения.

Преобразование средних земных координат $(OXYZ)_G$ в истинные земные $(OX'Y'Z')_G$ осуществляется двумя последовательными поворотами системы $(OXYZ)_G$: сначала относительно оси OX_G на угол y_P , затем относительно оси OY_G (уже совпадающей с осью OY) на угол x_P (рис. 1). Здесь величины x_P и y_P являются координатами истинного (мгновенного) полюса P' Земли относительно среднего полюса P .

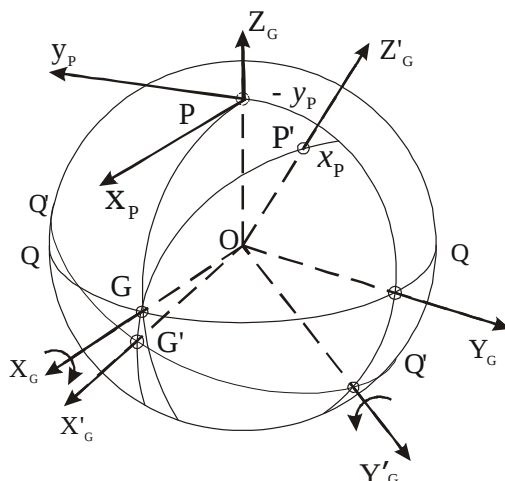


Рис. 1. Связь истинных и средних земных систем координат:

PG - средний меридиан Гринвича, $P'G'$ - истинный меридиан Гринвича, QQ - средний экватор, $Q'Q'$ - истинный экватор, OP - средняя ось вращения Земли, OP' - истинная ось вращения Земли, G - точка пересечения среднего меридиана Гринвича со средним экватором, G' - точка пересечения истинного меридиана Гринвича с истинным экватором

Матричное преобразование средних земных координат в истинные выполняется как

$$\mathbf{R}'_G = \mathbf{R}_2(+x_P) \cdot \mathbf{R}_1(+y_P) \cdot \mathbf{R}_G, \quad (2)$$

а истинных земных координат в средние

$$\mathbf{R}_G = \mathbf{R}_1(-y_P) \cdot \mathbf{R}_2(-x_P) \cdot \mathbf{R}'_G. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) обозначено: $\mathbf{R}_G = [XYZ]_G^T$ - геоцентрический радиус-вектор наземного пункта (НП) в общеземной системе координат; $\mathbf{R}'_G = [X'Y'Z']_G^T$ - геоцентрический радиус-вектор НП в истинной земной системе координат.

Пусть положение НП определено в референционной системе координат $(O''XYZ)_{\Gamma}$ радиусом-вектором $\mathbf{R}_{\Gamma} = [XYZ]_{\Gamma}^T$, а в общеземной $(OXYZ)_G$ радиусом-вектором $\mathbf{R}_G = [XYZ]_G^T$ (рис. 2).

Тогда преобразование референчных координат НП в общеземные выполняется с помощью матричного выражения [1 - 3]

$$\mathbf{R}_G = (1 + k) \cdot \mathbf{R}(\omega) \cdot \mathbf{R}_{\Gamma} + d\mathbf{R}, \quad (4)$$

где $d\mathbf{R} = [dX \ dY \ dZ]^T$ - трехмерный вектор-столбец смещения начала O'' референционной системы координат относительно начала O общеземной системы; $\omega = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ - трехмерный вектор-столбец малых углов поворота

координатных осей референцной системы координат относительно осей общеземной системы; k - поправка к масштабу референцной системы координат.

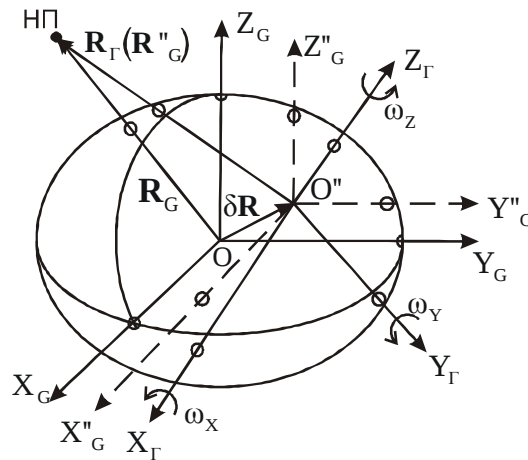


Рис. 2. Связь геоцентрических и квазигеоцентрических прямоугольных земных систем координат

$(OXYZ)''$ - промежуточная (квазигеоцентрическая) система с осями координат параллельными осям общеземной системы

Обратное преобразование имеет вид:

$$\mathbf{R}_G = (1 - k) \cdot \mathbf{R}^T(\omega) \cdot \mathbf{R}_G - d\mathbf{R}. \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) матрица малых поворотов координатных осей референцной системы координат, являющаяся итогом последовательного перемножения трех матриц вращения, имеет вид [3, 4]

$$\mathbf{R}(\omega) = \mathbf{R}_3(\omega_Z) \cdot \mathbf{R}_2(\omega_Y) \cdot \mathbf{R}_1(\omega_X) = \begin{bmatrix} 1 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 1 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

После выполнения простых матричных преобразований, выражения (4) и (5) могут быть записаны как

$$\mathbf{R}_G = \mathbf{D}_1 \cdot \omega + (1 + k) \cdot \mathbf{R}_G + d\mathbf{R}, \quad (7)$$

$$\mathbf{R}_G = \mathbf{D}_2 \cdot \omega - (1 - k) \cdot \mathbf{R}_G - d\mathbf{R}. \quad (8)$$

Здесь матрицы $\mathbf{D}_1$ и $\mathbf{D}_2$ имеют вид

$$\mathbf{D}_1 = \begin{bmatrix} 0 & Z_G & -Y_G \\ -Z_G & 0 & X_G \\ Y_G & -X_G & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -Z_G & Y_G \\ Z_G & 0 & -X_G \\ -Y_G & X_G & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Если пространственное положение НП задано в общеземной системе координат $(OXYZ)_G$ радиусом-вектором $\mathbf{R}_G = [XYZ]_G^T$, а в горизонтной $(OXYZ)_H$ радиусом-вектором $\mathbf{R}_H = [XYZ]_H^T$ (рис. 3), то преобразование этого вектора из общеземной системы в горизонтную осуществляется сначала поворотом

системы $(OXYZ)_G$ относительно оси OZ_G на угол $(90^\circ+L)$, а затем относительно оси $O X_G$ на угол $(90^\circ-B)$:

$$\mathbf{R}_H = \mathbf{R}_1(90^\circ - B) \cdot \mathbf{R}_3(90^\circ + L) \cdot \mathbf{R}_G. \quad (10)$$

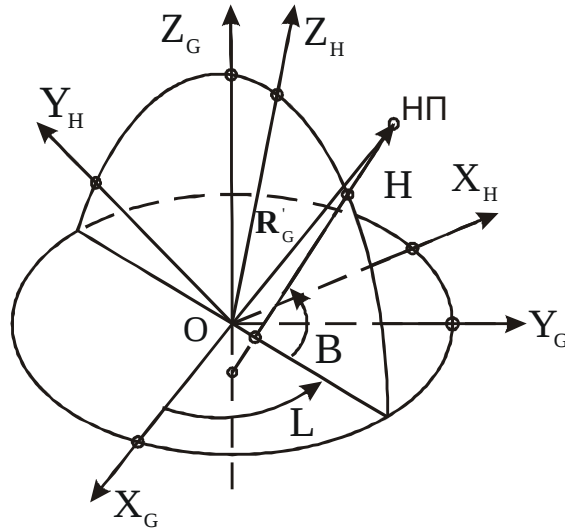


Рис. 3. Связь горизонтной и общеземной систем координат:

B, L, H - геодезические широта, долгота и высота НП.

После перемножения матриц поворота преобразование (10) будет выглядеть как

$$\mathbf{R}_H = \mathbf{Q}^T \cdot \mathbf{R}_G. \quad (11)$$

В нем

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} -\sin L & -\sin B \cdot \cos L & \cos B \cdot \cos L \\ \cos L & -\sin B \cdot \sin L & \cos B \cdot \sin L \\ 0 & \cos B & \sin B \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Обратное преобразование имеет вид

$$\mathbf{R}_G = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{R}_H. \quad (13)$$

Элементы матрицы $\mathbf{Q}$ являются функциями прямоугольных земных координат НП и рассчитываются по формулам:

$$\rho_G = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2}, \quad \sin L = Y_G / \rho_G, \quad \cos L = X_G / \rho_G, \quad R_G = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2 + Z_G^2},$$

$$\sin B = \{1 + e^2 \cdot (1 - Z_G^2 / R_G^2)\} \cdot Z_G / R_G, \quad \cos B = \sqrt{1 - \sin^2 B}. \quad (14)$$

Преобразование вектора $\mathbf{R}_G$ положения НП из общеземной системы координат (рис. 2) в звездную описывается выражением

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R} \\ \dot{\mathbf{R}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{P} \\ \dot{\mathbf{P}} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{R}_G, \quad (15)$$

в котором $\mathbf{R}$ и $\dot{\mathbf{R}}$ - геоцентрические радиус-вектор положения и вектор скорости НП в звездной системе координат; $\mathbf{P}$ и $\dot{\mathbf{P}}$ - матрицы преобразования. Выражение (15) является кинематической моделью движения НП в пространстве.

Вид матриц P и $\dot{P}$ в (15) определяется выбранной координатной системой, которая на интервале времени T , на котором анализируется состояние нелинейной динамической системы, будет удовлетворять требованиям инерциальности. Матричное преобразование (15) должно быть простым и, одновременно, обеспечивать ошибку, соответствующую современному уровню точности траекторных измерений космических аппаратов (КА).

Матрица P в (15) представляет собой результат перемножения двенадцати ортогональных матриц вращения (1), учитывающих вращение Земли вокруг своей оси, колебания этой оси вращения, прецессию по прямому восхождению K , ω и склонению v на отрезке времени $\Delta t = t - t_0$ (t_0 - начальный момент времени, t - текущий момент времени, соответствующий очередному измерению, $\Delta t \in T$), а также нутацию по прямому восхождению $\Delta\mu_t$ и $\Delta\mu_{t_0}$, склонению Δv_t и Δv_{t_0} , наклону $\Delta\epsilon_t$ и $\Delta\epsilon_{t_0}$ в эпохи t и t_0 соответственно [5]:

$$P = \begin{bmatrix} \cos S & -\sin S & v' - x_p \cdot \cos S - y_p \cdot \sin S \\ \sin S & \cos S & \delta\epsilon - x_p \cdot \sin S + y_p \cdot \cos S \\ -v' \cdot \cos S - \delta\epsilon \cdot \sin S + x_p & v' \cdot \sin S - \delta\epsilon \cdot \cos S - y_p & 1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где $v' = v + \delta v$.

Переменная S является модифицированным звездным временем и рассчитывается по формуле [5]

$$S = S_0 + \dot{S} \cdot (t - t_0)_{UT1}. \quad (17)$$

Звездное время S_0 определяется как

$$S_0 = 100^0.0755417 + 35999^0.48875625 \cdot \bar{t}_0 - 0^0.83333 \cdot 10^{-6} \cdot \bar{t}_0^2 + 15 \cdot t_0 + \mu + \delta\mu, \quad (18)$$

$$\dot{S} = (35999^0.48875625 - 0^0.83333 \cdot 10^{-6} \cdot \bar{t}_0) / 876600 + 15, \quad (19)$$

$$\bar{t}_0 = (JD(d) + t_0^h / 24^h - JD(d_0)) / 36525, \quad \mu = \omega + k, \quad (20)$$

$$\delta\mu = \Delta\mu_t - \Delta\mu_{t_0}, \quad \delta\epsilon = \Delta\epsilon_t - \Delta\epsilon_{t_0}, \quad \delta v = \Delta v_t - \Delta v_{t_0}, \quad (21)$$

где μ - общая прецессия по прямому восхождению истинной точки весеннего равноденствия за период $t_0 - t_B$ (t_B - начало Бесселева тропического года 1950.0) [6]; $JD(d_0)$ - юлианский день 0^h UT1 даты d_0 задания начальных условий движения КА; $JD(d)$ - юлианский день 0^h UT1 текущей даты d .

В формулах (17) - (21) моменты времени t и t_0 должны быть заданы в шкале Всемирного времени UT1. Величины v' , $\delta\epsilon$, x_p и y_p могут быть заранее аппроксимированы на отрезке времени $[t_0, t]$ степенным полиномом с аргументом $\Delta t = t - t_0$, который задается в равномерной шкале времени [4, 5]:

$$v' = \sum_{k=0}^L v_k \cdot \Delta t^k, \quad \delta\epsilon = \sum_{k=0}^L \epsilon_k \cdot \Delta t^k, \quad (22)$$

$$x_p = \sum_{k=0}^{L1} x_k \cdot \Delta t^k, \quad y_p = \sum_{k=0}^{L1} y_k \cdot \Delta t^k, \quad (23)$$

где v_k , ϵ_k , x_k , y_k - коэффициенты полиномов; L и $L1$ - порядки полиномов.

Матрица $\dot{P}$ в (15) имеет вид [7]:

$$\dot{\mathbf{P}}^T = \dot{S} \cdot \begin{bmatrix} -\sin S & \cos S & (-\dot{S}^{-1} \cdot \dot{v}' - \delta \dot{\epsilon}) \cdot \cos S + (\dot{v}' - \dot{S}^{-1} \cdot \delta \dot{\epsilon}) \cdot \sin S \\ -\cos S & -\sin S & (\dot{S}^{-1} \cdot \dot{v}' + \delta \dot{\epsilon}) \cdot \sin S + (\dot{v}' - \dot{S}^{-1} \cdot \delta \dot{\epsilon}) \cdot \cos S \\ \dot{S}^{-1} \cdot \dot{v}' + x_p \cdot \sin S - y_p \cdot \cos S & \dot{S}^{-1} \cdot \delta \dot{\epsilon} - x_p \cdot \cos S - y_p \cdot \sin S & 0 \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Здесь обозначено $\dot{v}' = \dot{v} + \delta \dot{v}$, а $\dot{v}$ и $\delta \dot{v}$ - скорости изменений прецессии и нутации по склонению на отрезке времени Δt ; $\delta \dot{\epsilon}$ - скорость изменения нутации по наклону на отрезке времени Δt .

Параметры $\dot{v}'$ и $\delta \dot{\epsilon}$ определяются с помощью временных полиномов [7]:

$$\dot{v}' = \sum_{k=1}^L k \cdot v_k \cdot \Delta t^{k-1}, \quad \delta \dot{\epsilon} = \sum_{k=1}^L k \cdot \epsilon_k \cdot \Delta t^{k-1}, \quad (25)$$

Выражения (23) представляют собой кинематические модели изменения координат истинного полюса Земли, а величины $x_0, \dots, x_{L1}, y_0, \dots, y_{L1}$ являются параметрами этих моделей.

Для расчета прямоугольных координат векторов положения и скорости спутника по его регулярным элементам [8]

$$\mathbf{Y} = [p \ g \ h \ f \ q \ l]^T \quad (26)$$

удобнее использовать инерциальную прямоугольную орбитальную систему координат ($O\xi\eta\zeta$) (рис.4) [9]. Ее образует ортонормированный базис

$$\mathbf{e} = [\mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \mathbf{e}_3], \quad (27)$$

начало которого совмещено с центром масс Земли. Компоненты базисных векторов в (27) являются функциями регулярных элементов орбиты спутника и определяются по формулам (28) [10]

$$\mathbf{e}_1 = k^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{k} - f^2 \frac{p}{f} \\ \frac{1}{k} f \frac{q}{f} \\ \frac{1}{k} \delta \frac{f}{f} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}_2 = k^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{k} \delta \frac{f}{f} \frac{q}{f} \\ \frac{1}{k} (k - q^2) \frac{p}{f} \\ \frac{1}{k} q \frac{f}{f} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{e}_3 = k^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{k} f \frac{p}{f} \\ \frac{1}{k} - q \frac{f}{f} \\ \frac{1}{k} (1 - k) \frac{p}{f} \end{bmatrix}, \quad (28)$$

в которых $k = (1 + f^2 + q^2) / 2$.

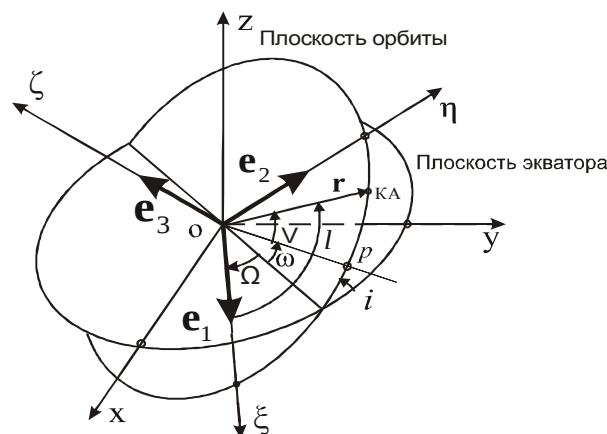


Рис. 4. Инерциальная орбитальная система координат ($O\xi\eta\zeta$):

i - наклонение орбиты, Ω - долгота восходящего узла, ω - аргумент перигея, v - истинная аномалия, $\mathbf{r}$ - геоцентрический радиус-вектор КА, p - перигей орбиты, ($oxyz$) - звездная система координат

В этой системе координат ось абсцисс ξ лежит в плоскости орбиты и образует с радиусом-вектор $\mathbf{r}$ спутника угол $l = \Omega + \omega + v$. Согласно правилам линейной алгебры матричное преобразование радиуса-вектора положения $\mathbf{r}$ и скорости $\dot{\mathbf{r}}$ спутника из звездной системы координат ($oxyz$) в орбитальную ($O\xi\eta\zeta$) будет иметь вид

$$\mathbf{r}_e = \mathbf{e}^T \cdot \mathbf{r}, \quad (29)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_e = \mathbf{e}^T \cdot \dot{\mathbf{r}}, \quad (30)$$

где $\mathbf{r}_e = [\xi \ \eta \ \zeta]^T$ - радиус-вектор спутника в орбитальной системе координат; $\mathbf{r} = [x \ y \ z]^T$ - радиус-вектор спутника в звездной системе координат; $\dot{\mathbf{r}}_e = [\dot{\xi} \ \dot{\eta} \ \dot{\zeta}]^T$ - вектор геоцентрической скорости спутника в орбитальной системе координат; $\dot{\mathbf{r}} = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$ - вектор геоцентрической скорости спутника в звездной системе координат.

В развернутой форме равенства (29) и (30) имеют вид [10]:

$$\mathbf{r}_e = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1^T \cdot \mathbf{r} \\ \mathbf{e}_2^T \cdot \mathbf{r} \\ \mathbf{e}_3^T \cdot \mathbf{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cdot \cos l \\ r \cdot \sin l \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (31)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_e = \begin{bmatrix} \dot{\xi} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_1^T \cdot \dot{\mathbf{r}} \\ \mathbf{e}_2^T \cdot \dot{\mathbf{r}} \\ \mathbf{e}_3^T \cdot \dot{\mathbf{r}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{\mu/p} \cdot (g + \sin l) \\ -\sqrt{\mu/p} \cdot (h + \cos l) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (32)$$

где μ - гравитационный параметр Земли; p - фокальный параметр орбиты.

В выражении (31) геоцентрическое расстояние r до КА в функции от регулярных элементов орбиты определяется как

$$r = p \Psi (1 + g \Psi \sin l + h \Psi \cos l)^{-1}. \quad (33)$$

Обратные к (29) и (30) матричные преобразования имеют вид

$$\mathbf{r} = \mathbf{e} \cdot \mathbf{r}_e, \quad \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{e} \cdot \dot{\mathbf{r}}_e \quad (34)$$

или

$$\mathbf{r} = \xi \cdot \mathbf{e}_1 + \eta \cdot \mathbf{e}_2, \quad \dot{\mathbf{r}} = \dot{\xi} \cdot \mathbf{e}_1 + \dot{\eta} \cdot \mathbf{e}_2. \quad (35)$$

Наряду с описанной выше системой, в космической геодезии также активно используется и орбитальная система координат ($O\xi'\eta'\zeta'$) (рис. 5). Она удобна для пересчета параметров движения КА (например, кеплеровых элементов) в прямоугольные координаты векторов положения и скорости спутника, для учета возмущающих ускорений, влияющих на движение спутника по орбите и т.д. У нее ось абсцисс $O\xi'$ постоянно направлена на КА. Эту систему координат образует ортонормированный базис $\mathbf{S}$, $\mathbf{T}$ и $\mathbf{W}$, задающий направление координатных осей ξ' , η' и ζ' . Начало этой системы совмещено с центром масс Земли.

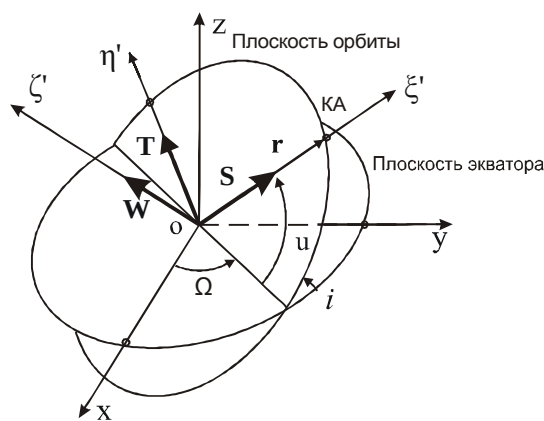


Рис. 5. Орбитальная система координат ($O\xi'\eta'\zeta'$):

u - аргумент широты КА, ($oxyz$) - звездная система координат

Матричные преобразования векторов положения $\mathbf{r}$ и скорости $\dot{\mathbf{r}}$ спутника из орбитальной системы координат ($O\xi'\eta'\zeta'$) в звездную ($oxyz$) имеют вид [11]

$$\mathbf{r} = r \cdot \mathbf{S}, \quad \dot{\mathbf{r}} = V_r \cdot \mathbf{S} + V_n \cdot \mathbf{T}, \quad (36)$$

где r - геоцентрическое расстояние до КА; V_r - радиальная скорость КА; V_n - тангенциальная скорость КА.

В выражениях (36) скорости V_r и V_n являются функциями кеплеровых элементов орбиты и вычисляются как [1, 11]

$$V_r = \sqrt{\mu \cdot p^{-1}} \cdot e \cdot \sin v, \quad V_n = \sqrt{\mu \cdot p^{-1}} \cdot (1 + e \cdot \cos v), \quad (37)$$

где μ - гравитационный параметр Земли; e - эксцентриситет орбиты КА; v - истинная аномалия; p - фокальный параметр.

Базисные векторы $\mathbf{S}$, $\mathbf{T}$ и $\mathbf{W}$ также являются функциями кеплеровых элементов и определяются по формулам [2, 11]

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \cos u \cdot \cos \Omega - \sin u \cdot \sin \Omega \cdot \cos i \\ \cos u \cdot \sin \Omega + \sin u \cdot \cos \Omega \cdot \cos i \\ \sin u \cdot \sin i \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} -\sin u \cdot \cos \Omega - \cos u \cdot \sin \Omega \cdot \cos i \\ -\sin u \cdot \sin \Omega + \cos u \cdot \cos \Omega \cdot \cos i \\ \cos u \cdot \sin i \end{bmatrix}, \quad (38)$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \sin \Omega \cdot \sin i \\ -\cos \Omega \cdot \sin i \\ \cos i \end{bmatrix},$$

где i - наклонение орбиты КА; Ω - долгота восходящего узла орбиты; u - аргумент широты КА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойко, Е.Г. Использование искусственных спутников Земли для построения геодезических сетей [Текст] / Е.Г. Бойко, Б.П. Кленицкий, И.М. Ландис, Г.А. Устинов. - М.: Недра, 1977. - 376 с.

2. Изотов, А.А. Основы спутниковой геодезии [Текст] / А.А. Изотов, В.И. Зубинский, Н.Л. Макаренко, А.М. Микиша. - М.: Недра, 1974. - 320 с.
3. Czobor, A. Preliminary results of Finnish - Hungarian Doppler observation campaign [Текст] / A. Czobor, J. Adam, S. Mihaly, T. Vass // Publ. Astron. Inst. Czechosl. Acad. Scin. - 1984. - N 58. - P. 529 - 548.
4. Лунквист, К. Стандартная Земля [Текст] / К. Лунквист, Г. Вейс. - М.: Мир, 1969. - 277 с.
5. Сурнин, Ю.В. Математическая модель движения геодезических спутников Земли [Текст] / Ю.В. Сурнин, С.В. Кужелев, А.М. Токарев; Новосиб. ин-т инж. геод., аэроф. и карт. - Новосибирск, 1988. - 44 с. - Деп. в ОНИПР ЦНИИГАиК 18.01.88, № 297 - гд 88.
6. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике [Текст] / В. К. Абалакин, Е.П. Аксёнов, Е.А. Гребеников и др. - М.: Наука, 1976. - 864 с.
7. Дударев, В.И. Определение некоторых геодезических и геодинамических параметров по результатам радиотехнических траекторных измерений космических аппаратов [Текст] / В.И. Дударев // Междунар. научн. - технич. конф., посвященная 220-летию со дня основания Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). - Москва: МГУГиК, 2000. - С. 3 - 9.
8. Сурнин, Ю.В. Исследование эффективности вычислительных алгоритмов динамического метода определения геодезических параметров [Текст] / Ю.В. Сурнин, С.В. Кужелев, В.И. Дударев // Наблюдения искусственных спутников Земли. Публикация науч. рез. сотруду. ИНТЕРКОСМОС. - Москва: Астрон. Совет АН СССР, 1984. - № 21. - С. 106 - 115.
9. Сурнин, Ю.В. Задача определения орбит геодезических ИСЗ и методы расчёта изохронных производных [Текст] / Ю.В. Сурнин, С.В. Кужелев, В.И.Дударев; Новосиб. ин-т инж. геод., аэроф. и карт. - Новосибирск, 1986. - 22с. - Деп. в ОНТИ ЦНИИГАиК 24.03.86, № 203 - гд 86.
10. Cefola, P. On the formulation of the gravitational potential in terms of equinoctial variables [Текст] / P. Cefola, R. Broucke // AIAA Pap. - 1975. - № 9. - P.1 - 25.
11. Урмаев, М.С. Орбитальные методы космической геодезии [Текст] / М.С.Урмаев. - М.: Недра, 1981. - 256 с.

© В.И. Дударев, 2010

УДК 629.783:528.236

В.И. Дударев

СГГА, Новосибирск

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Приводится подробное описание и классификация основных систем координат, применяемых в космической геодезии.

V.I. Dudarev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

CLASSIFICATION OF COORDINATES SYSTEMS APPLIED IN THE SPACE GEODESY

The detailed description and classification of the basic coordinates systems applied in the space geodesy is resulted.

При решении геодезических задач методами космической геодезии применяются разнообразные системы координат [1 - 4]. Это обусловлено тем, что здесь выбираются такие системы, в которых математический алгоритм решения поставленной задачи оценивания параметров состояния сложной нелинейной динамической системы будет наиболее простым.

Все системы координат можно различить между собой по виду, расположению начала отсчета, выбору основной координатной плоскости, ориентировке оси абсцисс, типу. Любая выбранная система координат для полного ее определения в своем названии будет содержать все классификационные признаки (см. таблицу). Например, система координат Красовского 1942 года будет называться так: средняя земная эллипсоидальная экваториальная квазигеоцентрическая система координат. Ниже рассмотрим только те системы координат, которые в основном применяются в космической геодезии.

Пространственное положение наземного пункта (НП) удобнее всего определять в системах координат жестко связанных с вращающейся Землей. Это так называемые земные системы координат. В ряде случаев в них бывает также удобно определять пространственные положения естественных и искусственных небесных тел. У этих систем ось аппликат совмещается с осью вращения Земли и направляется в сторону ее северного полюса. В качестве основной координатной плоскости принимается плоскость земного экватора, а за начальный меридиан - меридиан Гринвича. Наиболее часто используются прямоугольные экваториальные геоцентрические координаты, связанные с

общим земным эллипсоидом и референц-эллипсоидом - это общеземная (гринвичская) и референсная (геодезическая) системы.

Начало средней земной (общеземной или гринвичской) системы координат $(OXYZ)_G$ расположено в центре масс Земли, ось аппликат Z_G направлена к среднему полюсу P Земли 1900-1905 гг. Ось абсцисс X_G направлена в точку пересечения среднего гринвичского меридиана со средним земным экватором 1900-1905 гг. [5 - 7]. За средний меридиан Гринвича принимается плоскость, содержащая вектор силы тяжести в обсерватории Гринвича и параллельная средней оси вращения Земли. Плоскость среднего меридиана Гринвича не содержит среднюю ось вращения Земли.

Начало референцной системы координат $(OXYZ)_Г$ совмещается с центром выбранного референц-эллипсоида. Ось аппликат $Z_Г$ совпадает с осью вращения этого эллипсоида. За ось абсцисс $X_Г$ принимается линия пересечения плоскости экватора референц-эллипсоида и плоскости начального гринвичского меридиана, заданного геодезическими датами в исходном пункте. Ось ординат $Y_Г$ дополняет систему до правой [3].

Наряду с отмеченными выше системами широко применяются прямоугольные горизонтные системы координат. Одна из них – это средняя прямоугольная геоцентрическая горизонтная система координат $(OXYZ)_Н$. Ее начало расположено в центре масс Земли. Ось ординат $Y_Н$ совпадает с линией пересечения плоскости местного меридиана НП и плоскости, проходящей через центр масс Земли параллельно плоскости местного горизонта. Ось абсцисс $X_Н$ лежит в плоскости среднего экватора и дополняет систему до правой.

В описанных выше отсчетных системах положение точки остается неизменным относительно поверхности Земли и не изменяется с течением времени (если не принимать во внимание геодинамические явления).

Истинная ось вращения в теле Земли не сохраняет своего пространственного положения, а испытывает периодические колебания. Следовательно, полюса Земли, являющиеся точками пересечения оси вращения с физической поверхностью Земли, также меняют свое положение. Отсюда следует, что земные координаты являются функцией времени. Явление перемещения мгновенных полюсов Земли относительно ее физической поверхности называется движением полюсов. Амплитуда этих перемещений доходит до 13 метров. Международная служба вращения Земли (MCB3, IERS) отслеживает эти движения и публикует координаты x_p , y_p истинного полюса относительно его среднего положения P , определенного за период 1900-1905 гг. В связи с этим различают истинную и среднюю земные системы координат.

Начало истинной земной системы координат $(OXYZ)'_G$ расположено в центре масс Земли. Ось аппликат Z'_G направлена к истинному полюсу P' Земли в некоторый текущий момент времени t . Ось абсцисс X'_G направлена в точку пересечения истинного меридиана Гринвича с истинным экватором на эпоху t . За истинный (мгновенный) меридиан Гринвича принимается плоскость, содержащая истинную (мгновенную) ось вращения Земли и линию пересечения среднего экватора со средним меридианом Гринвича.

Обсерваториями России (Государственной системы определения параметров вращения Земли – ГС ПВЗ), Украины, Узбекистана, Польши, Болгарии и Чехии выполняются регулярные астрооптические и спутниковые наблюдения с целью определения параметров вращения Земли (ПВЗ): координат мгновенного полюса Земли x_p , y_p и Всемирного времени UT1. Окончательные данные о Всемирном времени и координатах полюса, вычисленные в Главном метрологическом центре Государственной службы времени и частоты (ГМЦ ГСВЧ), периодически публикуются в бюллетене “Всемирное время и координаты полюса” серии “Е”. Там же приводятся сведения об отличии этих данных от результатов, полученных МСВЗ. В бюллетене “Всемирное время и координаты полюса” серии “А” публикуются предварительные (срочные) значения ПВЗ и их прогноз на семь недель, а также окончательные значения ПВЗ на прошедшие даты.

Координаты x_p и y_p истинного полюса P' Земли определяются в касательной плоскости (координатной плоскости), проведенной к среднему полюсу P Земли. Начало координат совмещено со средним полюсом P . Ось абсцисс x_p совпадает с линией пересечения этой координатной плоскости с плоскостью среднего меридиана Гринвича. Ось ординат y_p дополняет систему до правой (направлена к западу относительно меридиана Гринвича).

Для описания пространственного движения космического аппарата (КА) и НП относительно центра масс Земли наиболее приемлемой является инерциальная система координат, не вращающаяся вместе с Землей. В инерциальной системе координат начало помещается в некоторой точке пространства, либо перемещается с постоянной скоростью, направление осей в пространстве при этом сохраняется неизменным. В качестве таковой примем прямоугольную геоцентрическую экваториальную звездную систему координат $(oxyz)'$, начало которой совмещено с центром масс Земли [6, 8]. Ось аппликат z' совпадает с ее истинной осью вращения. Ось абсцисс x' направлена в истинную точку весеннего равноденствия, которая лежит в плоскости истинного экватора в начальную эпоху t_0 . Обычно за эту эпоху принимается момент задания начальных условий движения спутника. Ось ординат y' дополняет систему до правой. Такая система координат называется истинной звездной.

Для этой же цели широко применяется средняя звездная система координат $(oxyz)$, начало которой совмещено с центром масс Земли. Ось аппликат z совпадает с ее средней осью вращения. Ось абсцисс x направлена в среднюю точку весеннего равноденствия, которая лежит в плоскости среднего экватора в начальную эпоху t_0 . Ось ординат y дополняет систему до правой. Такая система координат называется средней звездной.

В общем случае звездные системы координат не являются инерциальными, так как ось вращения Земли постоянно меняет свою ориентировку в пространстве. Это сложное перемещение раскладывается на две составляющие: прецессию и нутацию. С прецессией связано пространственное перемещение так называемой средней оси вращения Земли (среднего полюса мира P_m), с нутацией – истинной (истинного полюса мира P_m'). Поэтому для соблюдения

условия инерциальности задание пространственной ориентировки координатных осей на эпоху t_0 является обязательным требованием.

В качестве некоторых аналогов инерциальной системы координат, пригодных для описания пространственного движения КА, Г.Вейсом [6] предложены небесная и орбитальная системы координат. Часто применяется прямоугольная геоцентрическая орбитальная система координат ($O\xi\eta\zeta$), начало которой совмещено с центром масс Земли. Ось аппликата ζ совпадает с вектором кинетического момента. Ось абсцисс ξ лежит в плоскости орбиты спутника и образует с радиусом-вектором спутника угол, равный сумме трех углов: долготы восходящего узла, аргумента перигея и истинной аномалии. Ось ординат η дополняет систему до правой [9]. Авторами работы [10] используется аналогичная система координат, называемая ими прямой равноденственной. Эта система координат является инерциальной системой.

В качестве другой орбитальной системы координат широко используется прямоугольная геоцентрическая орбитальная система координат ($O\xi'\eta'\zeta'$), начало которой также совмещено с центром масс Земли. Ось аппликата ζ' совпадает с вектором кинетического момента. Ось абсцисс ξ' лежит в плоскости орбиты и направлена на спутник. Ось ординат η' находится в плоскости орбиты перпендикулярно к радиусу-вектору спутника и направлена в сторону его движения. Данная система координат не будет инерциальной, так как оси ξ' и η' не сохраняют своей пространственной ориентировки.

Наряду с описанными выше системами в космической геодезии широко используются прямоугольные топоцентрические истинная ($\bar{o}, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$)' и средняя ($\bar{o}, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$) системы координат, начала которых совпадают с точкой наблюдения $\bar{o}$, расположенной на поверхности Земли. Координатные оси ориентируются в пространстве параллельно координатным осям соответствующих геоцентрических звездных систем.

Таблица. Название и классификационные признаки координатных систем

Классификационный признак системы координат	Наименование	Описание классификационного признака	Пример обозначения
1	2	3	4
Вид	Прямоугольная	Определяется направлением нормали к основной координатной плоскости.	x, y, z
	Сферическая	Определяется направлением нормали к поверхности сферы.	X, Y, Z
	Сфероидическая (эллипсоидальная, геодезическая)	Определяется направлением нормали к поверхности эллипсоида.	α, δ, ρ Φ, λ, R B, L, H
	Астрономическая	Определяется направлением нормали к поверхности геоида.	φ, λ, H^y
	Цилиндрическая	Определяется направлением нормали к поверхности цилиндра.	ρ, φ, z

Окончание таблицы

1	2	3	4
Расположение начала отсчета	Геоцентрическая Квазигеоцентрическая (референцная) Топоцентрическая Селеноцентрическая Барицентрическая	Начало координат расположено в центре масс Земли. Начало координат расположено вблизи центра масс Земли. Начало координат расположено на поверхности Земли. Начало координат расположено в центре масс Луны. Начало координат расположено в барицентре (центре масс образования Земля-Луна).	x, y, z X, Y, Z α, δ, ρ X_G, Y_G, Z_G $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ $\bar{\alpha}, \bar{\delta}, \bar{\rho}$ $x_{\zeta}, y_{\zeta}, z_{\zeta}$ x_B, y_B, z_B
Ориентировка основной координатной плоскости	Экваториальная Горизонтальная (горизонтная) Орбитальная Эклиптическая	За основную координатную плоскость принимается плоскость экватора или плоскость, параллельная ей. За основную координатную плоскость принимается плоскость горизонта или плоскость, параллельная ей. За основную координатную плоскость принимается плоскость орбиты или плоскость, параллельная ей. За основную координатную плоскость принимается плоскость эклиптики или плоскость, параллельная ей.	x, y, z α, δ, ρ A, h, ρ X_H, Y_H, Z_H x_H, y_H, z_H ξ, η, ζ u, w, ρ $x_{\varepsilon}, y_{\varepsilon}, z_{\varepsilon}$ $\alpha_{\varepsilon}, \delta_{\varepsilon}, \rho_{\varepsilon}$
Ориентировка оси абсцисс	Земная Звездная	Ось абсцисс направлена в точку G пересечения меридиана Гринвича с экватором. Ось абсцисс направлена в точку весеннего равноденствия γ .	X_G, Y_G, Z_G x_G, y_G, z_G $x_{\gamma}, y_{\gamma}, z_{\gamma}$
Тип	Средняя Истинная (мгновенная)	Ось абсцисс связана со средней точкой γ (или G) и средним полюсом мира P_m (или средним полюсом Земли P). Ось абсцисс связана с истинной точкой γ' (или G') и истинным полюсом мира P_m' (или мгновенным полюсом Земли P_G').	X, Y, Z x, y, z α, δ, ρ X', Y', Z' x', y', z' α', δ', ρ'

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абалакин, В.К. Основы эфемеридной астрономии [Текст] / В.К. Абалакин. - М.: Наука, 1979. - 448 с.
2. Бойко, Е.Г. Использование искусственных спутников Земли для построения геодезических сетей [Текст] / Е.Г. Бойко, Б.П. Кленицкий, И.М.Ландис, Г.А. Устинов. - М.: Недра, 1977. - 376 с.
3. Изотов, А.А. Основы спутниковой геодезии [Текст] / А.А. Изотов, В.И. Зубинский, Н.Л. Макаренко, А.М. Микиша. - М.: Недра, 1974. - 320 с.
4. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике [Текст] / В. К. Абалакин, Е.П. Аксёнов, Е.А. Гребеников и др. - М.: Наука, 1976. - 864 с.
5. Краснорылов, И.И. Основы космической геодезии [Текст] / И.И. Краснорылов, И.В. Плахов. - М.: Недра, 1976. - 216 с.
6. Лунквист, К. Стандартная Земля [Текст] / К. Лунквист, Г. Вейс. - М.: Мир, 1969. - 277 с.
7. Урмаев, М.С. Орбитальные методы космической геодезии [Текст] / М.С.Урмаев. - М.: Недра, 1981. - 256 с.
8. Сурнин, Ю.В. Математическая модель движения геодезических спутников Земли [Текст] / Ю.В. Сурнин, С.В. Кужелев, А.М. Токарев; Новосиб. ин-т инж. геод., аэроф. и карт. - Новосибирск, 1988. - 44 с. - Деп. в ОНИПР ЦНИИГАиК 18.01.88, № 297 - гд 88.
9. Сурнин, Ю.В. Задача определения орбит геодезических ИСЗ и методы расчёта изохронных производных [Текст] / Ю.В. Сурнин, С.В. Кужелев, В.И.Дударев; Новосиб. ин-т инж. геод., аэроф. и карт. - Новосибирск, 1986. - 22с. - Деп. в ОНТИ ЦНИИГАиК 24.03.86, № 203 - гд 86.
10. Velez, C.E. Calculation of precision satellite orbits with nonsingular elements (VOP formulation) [Текст] / C.E. Velez, P.J. Cefola, A.C. Long, K.S. Nimitz // Lecture Notes in Math. - Springer Verlag, 1974. - V. 362. - P. 183 - 205.

© В.И. Дударев, 2010

УДК 528.21/22

А.В. Елагин

СГГА, Новосибирск

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСОТ КВАЗИГЕОИДА ПО КОЭФФИЦИЕНТАМ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ EGM2008

A.V. Yelagin

SSGA, Novosibirsk

COMPUTATION OF QUASIGEOID HEIGHTS BY COEFFICIENTS OF GLOBAL MODEL OF THE GRAVITATIONAL FIELD OF EARTH EGM2008

The accuracy of modern global geopotential models suffices to compute quasigeoid heights with the error of 2 m, max. Heights anomalies, determined with such error, may be used for reducing land measurements to ellipsoid. The paper presents the calculating quasigeoid heights by computer program GRAV with using EGM2008 model up to power 1080, order 1080.

В 2009 году в работе [1] были представлены модифицированные формулы Пайнза, предназначенные для вычисления высот квазигеоида. Формулы были реализованы в компьютерной программе GRAV. В начале 2010 года автор попытался адаптировать модель гравитационного поля Земли EGM2008 до 2190 степени 2160 порядка в программе GRAV. Однако попытка оказалась неудачной.

Причиной неудачи стала нехватка разрядной сетки компьютера при вычислении аналогов присоединенных функций Лежандра [2]

$$\bar{A}_{nm}(\sin \varphi) = \frac{\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)}{\cos^m \varphi},$$

и функций

$$r_m(s, t) = \cos^m \varphi \cdot \cos m\lambda,$$

$$i_m(s, t) = i \cos^m \varphi \cdot \sin m\lambda,$$

где φ , λ - соответственно, широта и долгота точки.

С одной стороны, именно умножение и деление на $\cos^m \varphi$ позволило получить формулы, не имеющие особенности на полюсах при вычислении первых и вторых производных от гравитационного потенциала. С другой стороны, это явилось препятствием при использовании поля выше 1200 степени и порядка. Отсюда вывод: для высоких степеней и порядков лучше применять классические формулы для вычисления геопотенциала и его производных. Тем не менее, если использовать коэффициенты модели EGM2008 до 1080 степени и порядка, то программа GRAV выполняет расчеты. В табл. 1 представлены результаты вычислений по программе GRAV с полем EGM2008 до 1080 степени

и порядка и для сравнения результаты расчетов по программе hsynth_WGS84 с использованием коэффициентов этого же поля, но до 2190 степени и 2160 порядка.

Таблица 1. Сравнение результатов вычислений по программам GRAV и hsynth_WGS84

Широта В	Долгота L	GRAV, n=1080, m=1080, ζ , м	Hsynth_ WGS84 n=2190, m=2160, ζ' , м	$\Delta\zeta=\zeta-\zeta'$, м	v, м
-45	0	20.850	20.987	-0.137	-0.013
-45	45	45.746	45.881	-0.135	-0.011
-45	90	7.616	7.738	-0.122	0.002
-45	135	-20.409	-20.263	-0.146	-0.022
-45	180	3.278	3.379	-0.101	0.024
-45	225	-15.194	-15.030	-0.164	-0.040
-45	270	-1.037	-0.881	-0.156	-0.032
-45	315	-3.792	-3.667	-0.125	-0.001
0	0	17.077	17.225	-0.148	-0.024
0	45	-43.711	-43.575	-0.136	-0.012
0	90	-63.399	-63.286	-0.113	0.012
0	135	72.699	72.740	-0.041	0.084
0	180	21.173	21.281	-0.108	0.017
0	225	-6.859	-6.763	-0.096	0.030
0	270	-4.214	-4.059	-0.155	-0.031
0	315	-23.423	-23.280	-0.143	-0.019
45	0	46.615	46.767	-0.152	-0.028
45	45	0.719	0.844	-0.125	-0.001
45	90	-58.294	-58.261	-0.033	0.091
45	135	28.231	28.328	-0.097	0.022
45	180	-6.484	-6.338	-0.146	-0.022
45	225	-27.525	-27.380	-0.145	-0.021
45	270	-33.698	-33.583	-0.115	0.010
45	315	27.834	27.979	-0.145	-0.021
			$\Sigma=$	-2.984	
			$\Delta\zeta_{cp}=$	-0.124	

При вычислении высот квазигеоида по программе GRAV использовалось значение потенциала силы тяжести на геоиде $W_0 = 62636857.0 \text{ м}^2\text{с}^{-2}$ рекомендуемое МАГ. Какое значение W_0 применяется в программе hsynth_WGS84 не известно. Этим объясняется систематическое смещение высот квазигеоида в среднем на 12.4 см. Если вычислить среднее квадратическое отклонение разностей от среднего значения, то оно будет равно 3.3 см. Максимальное значение разностей не превышает 10 см.

Таким образом, для целей редуцирования наземных измерений с физической поверхности Земли на эллипсоид программа GRAV может найти применение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елагин, А.В. Вычисление высот квазигеоида по глобальным моделям Геопотенциала [Текст] / А.В. Елагин // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. ч. 1 : сб. матер. V междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009», 20–24 апр. 2009 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С.85–89.

2. Пайнз, С. Представление потенциала поля тяготения и его производных, свободное от особых точек [Текст]/ С. Пайнз // Ракетная техника и космонавтика. 1973. – Т.2, №11.-С.65-69.

© А.В. Елагин, 2010

УДК 528.24

А.С. Суздалев

СГГА, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБОБЩЕННОГО СФЕРИЧЕСКОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В статье рассмотрен метод математического моделирования эволюции геофизического поля в фазовом пространстве с базисом из сферических функций. Разработана модель эволюции поля как явной функции координат и времени. При фиксированном моменте времени эта модель определяет состояние поля в каждой точке исследуемой области, а при фиксированных координатах - эволюцию поля в этой точке. Модель описывает эволюцию поля как вектор-функцию с временным параметром в фазовом пространстве с базисом из сферических функций и фазовыми координатами - функциями времени, характеризующими состояние поля. Фазовые координаты геофизического поля представлены гармоническими коэффициентами, полученными по результатам обобщенного сферического гармонического анализа в фазовом пространстве на ряд эпох. Процесс эволюции отображается фазовой траекторией. Данный метод может быть применен для моделирования эволюции различных физических полей Земли.

A.S. Suzdalev

SSGA, Novosibirsk

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE EARTH GEOPHYSICAL FIELD EVOLUTION BY THE RESULTS OF GENERALISED SPHERICAL HARMONIC ANALYSIS

The paper presents the method of mathematical simulation for geophysical field evolution in phase space with spherical functions basis. The model of the field evolution as an explicit function of coordinates and time has been developed. At the fixed moment of time the model determines the state of the field in each point of the area under study, and with fixed coordinates it determines the evolution of the field in this point. The model describes the field evolution as a vector function with time parameter in phase space with spherical function basis and phase coordinates (time functions), characterizing the field state. The geophysical field phase coordinates are presented by harmonic coordinates produced by the results of the generalized spherical harmonic analysis in phase space for a series of epochs. The process of evolution is represented by the phase path. The method may be applied for modeling evolution of different Earth's physical fields.

Для описания эволюции геофизического поля рассмотрим его состояние как функцию времени /1,2/. Состояние геофизического поля, изменяемое в результате внешних воздействий или внутренних процессов, определяется набором характеристик q_i ($i=1, 2, \dots, L$). Каждая из этих характеристик принимает значения из некоторого множества Q_i , т. е. $q_i \in Q_i$. Следовательно, множество S возможных состояний геофизического поля - есть произведение множеств (1)

$$S = Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_L. \quad (1)$$

Это множество есть пространство состояний геофизического поля или фазовое пространство. Каждая точка этого пространства с координатами $\{q_1, q_2, \dots, q_i\}$ называется фазовой точкой. Она характеризует одно из состояний геофизического поля.

В процессе эволюции геофизическое поле переходит из одного состояния в другое. Поэтому значения характеристик q_i меняются и могут рассматриваться как функции времени. Эти функции можно интерпретировать как фазовые координаты точки в L -мерном фазовом пространстве. Тогда процессу эволюции геофизического поля будет соответствовать фазовая траектория, уравнение которой определяется вектор - функцией

$$\vec{q} = \vec{q}(t) = \{q_1, q_2, \dots, q_i\} \quad (2)$$

Вектор-функция (2) представляет собой математическую модель эволюции геофизического поля. Любая математическая модель описывает объект моделирования лишь приближенно, отображая те или другие его свойства. Модель эволюции геофизического поля (2) не является исключением. В ней отображаются лишь те его свойства, которые представлены фазовыми координатами. Эволюция геофизического поля может быть строго детерминированной или иметь стохастический характер.

Рассмотрим процесс моделирования эволюции геофизического на примере гравитационного поля. Состояние реального гравитационного поля в произвольный момент времени $t \in (\tau_0, \tau_k)$ для сферы или ее участка, обусловленное внутренними и внешними геодинамическими процессами, в точке $P(\varphi, \lambda)$ задается потенциальной функцией

$$\vec{W} = \vec{W}(P, t). \quad (3)$$

Одной из наиболее распространенных математических моделей гравитационного поля, представляющей его как явную функцию координат и времени, является ряд Фурье по системе сферических функций. Гармонические коэффициенты (4) этого ряда являются функциями времени

$$\left. \begin{aligned} a_{nm} &= a_{nm}(t) \\ b_{nm} &= b_{nm}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

В фазовом пространстве, с базисом из сферических функций, фазовые координаты гравитационного поля (3) - это гармонические коэффициенты $a_{nm}(t)$, $b_{nm}(t)$. Следовательно, моделью эволюции гравитационного поля (3) служит вектор-функция

$$\vec{W} = \vec{W}(t) = \{a_{nm}(t), b_{nm}(t)\};$$

$$n = 0, 1, 2, \dots; m = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Модуль вектор - функции (5) для любого момента времени t /101/ определяется по формуле

$$|\vec{W}(t)| = \left\{ \sum_n^N \sum_{m=0}^n (a_{nm}^2(t) + b_{nm}^2(t)) \right\}^{1/2}, \quad (6)$$

а направление задается орт - вектором (7)

$$\vec{W}^o(t) = \left\{ \frac{a_{nm}(t)}{|\vec{W}(t)|}, \frac{b_{nm}(t)}{|\vec{W}(t)|} \right\}. \quad (7)$$

В свою очередь, формулы (6)-(7) можно интерпретировать как фазовые координаты состояния гравитационного поля, представив его эволюцию моделью

$$\vec{W}(t) = \{|\vec{W}(t)|, \vec{W}^o(t)\}. \quad (8)$$

В формуле (8) можно положить

$$|\vec{W}(t)| = \left\{ \sum_{n=0}^N |\vec{D}_n(t)|^2 \right\}^{1/2}, \quad (9)$$

где

$$\vec{D}_n(t) = \{a_{nm}(t), b_{nm}(t)\} \quad (10)$$

- степенные дисперсии; а $m=0, 1, 2, \dots, n$; $n=0, 1, 2, \dots, N$.

В качестве фазовых координат моделей эволюции гравитационного поля можно принимать любые функции гармонических коэффициентов: порядковые дисперсии, моменты инерции и т.п.

Взаимное положение векторов $\vec{W}(t_i)$ и $\vec{W}(t_j)$ относительно друг друга определяется по формуле

$$\cos \alpha(t_i, t_j) = \{\vec{W}(t_i), \vec{W}(t_j)\} / \{|\vec{W}(t_i)| |\vec{W}(t_j)|\}, \quad j = 1, \dots, 5; i \in j. \quad (11)$$

Модель (6), (7) описывает эволюцию гравитационного поля. Для ее реализации необходимо определение стационарных моделей гравитационного поля методом обобщенного сферического гармонического анализа на ряд эпох $t_i = \tau_0 + \Delta \tau_i$ ($i=1, \dots, M$). По этим моделям составляются временные ряды гармонических коэффициентов, которые используются для построения моделей аппроксимации временных изменений коэффициентов.

В том случае, когда начало вектора $\vec{W}(P, t)$ помещено в фиксированную точку пространства, при изменении скаляра t он описывает в пространстве кривую. График этой кривой изображает модель эволюции гравитационного поля в соответствующем фазовом пространстве.

Исходя из формулы (11), найдем угол

$$\alpha(t_i, t_j) = \arccos(\cos \alpha(t_i, t_j)). \quad (12)$$

Итак, эволюцию как гравитационного, так и любого другого геофизического поля можно представить моделями (3)-(4) или (8). Модель (3), с учетом (4), описывает эволюцию поля как явную функцию координат и времени. При фиксированном моменте t эта модель определяет состояние поля в каждой точке исследуемой области, а при фиксированных координатах - эволюцию поля в этой точке. Модели (5) или (8) описывают эволюцию поля как вектор-функцию с временным параметром в фазовом пространстве с базисом из сферических функций и фазовыми координатами - функциями времени, характеризующими состояние поля.

Данный метод математического моделирования эволюции геофизического поля в фазовом пространстве с базисом из сферических функций может быть применен для моделирования эволюции и других физических полей Земли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк И.Г., Суздалев А.С. Моделирование эволюции планетарного гравитационного поля Земли // Тез. докл. Науч.- техн. конф. СГГА.- Новосибирск, 1996.- С. 161-162
2. Вовк И.Г., Суздалев А.С. Математическое моделирование эволюции геофизических полей по результатам сферического гармонического анализа // Вестник СГГА.-1997.- Вып. 2. – С. 97-99

© А.С. Суздалев, 2010

УДК 528.2:528.4

Ю.В. Дементьев

СГГА, Новосибирск

О РЕДУКЦИЯХ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Повышение точности гравиметрических измерений и внедрение новых геодезических технологий, в частности ГНСС – технологий, требует нового единого подхода в геодезии и геофизике к учету влияния топографических масс в поле силы тяжести. Предлагается: при определении аномалий силы тяжести использовать эллипсоидальную систему координат, в которой сохраняется преемственность характеристик рельефа местности; поправки за вертикальную составляющую притяжения топографических масс выполнять в полной топографической редукции; использовать «чистые» аномалии силы тяжести.

Yu.V. Dementiev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GRAVITY REDUCTIONS

Improvement of gravimetric measurements and introduction of the new geodetic technologies, particularly GNSS-technologies require a new uniform approach in geodesy and geophysics as concerns allowance for topographic masses effect in the gravity field. It is proposed that for the determination of the gravity anomalies the ellipsoidal coordinate system should be used which preserves the terrain succession characteristics. The corrections for the vertical component of the topographic masses attraction are to be made in the complete topographic reduction; “pure” anomalies of gravity should be used.

Измерения силы тяжести выполняются на физической поверхности Земли, во внешнем пространстве, по водой и под земной поверхностью, например, в шахтах. Выполненные в столь разных условиях наблюдения несопоставимы между собой и с нормальным гравитационным полем, построенным для фигуры относимости (уровенный эллипсоид). Все измеренные значения силы тяжести, согласно теории Стокса, должны быть отнесены к единой уровенной поверхности, при этом необходимо строгое сохранение условия отсутствия масс вне её [1,2,3].

Процесс приведения измеренных значений силы тяжести к единой поверхности получил название *редукционной задачи*. Сложность проблемы редуцирования состоит в том, что при переносе силы тяжести с физической поверхности Земли на поверхность относимости необходимо знать распределение масс вдоль линии переноса.

В середине прошлого века М.С. Молоденским разработана оригинальная теория изучения фигуры Земли по наземным геодезическим и гравиметрическим данным [4], в которой нет необходимости относить результаты гравиметрических измерений на какую-либо поверхность, а следовательно, не требуется знание плотности масс внутри Земли. В результаты наблюдений вводятся лишь поправки, обусловленные тем или иным фактором. Таким образом, термин «редукция» приобрел смысл расчета ряда поправок в результаты измерений, а не преобразования (переноса) одной точки в другую.

Аномалия силы тяжести Δg это разность между действительной (измеренной) силой тяжести g и её нормальным γ (теоретическим) значением $\Delta g = g - \gamma$, вычисленным в заданной точке пространства [5]. При этом, если в расчетах γ используются высоты точек земной поверхности относительно квазигеоида (нормальные высоты), то аномалии называют «смешанными», если геодезические (высоты точек наблюдения относительно эллипсоида) – то «чистыми». Очевидно, что «чистые» и «смешанные» аномалии имеют разные, хотя и близкие значения. Несомненно, предпочтение следует отдать «чистым» аномалиям, поскольку и геодезические высоты и нормальная сила тяжести связаны с отсчетным эллипсоидом вращения, а с появлением новых методов геодезических измерений (ГНСС- технологий) появилась возможность непосредственного определения геодезических высот. Аномалии $\Delta g = g - \gamma$ получили название аномалий в свободном воздухе.

В условиях дискретной гравиметрической съемки для определения аномалий в промежуточных пунктах, где наблюдений силы тяжести не производилось, появляется необходимость в их интерполяции. Однако линейное интерполирование аномалий в свободном воздухе приводит к неудовлетворительным результатам [2]. Основной причиной, вызывающей сложный характер изменения аномалий, является действие притягивающих масс, расположенных в промежуточном слое (рис. 1): - слое переменной толщины, ограниченной сверху физической поверхностью Земли, снизу – уровнем относимости нормального поля (уровнем эллипсоида вращения) [5].

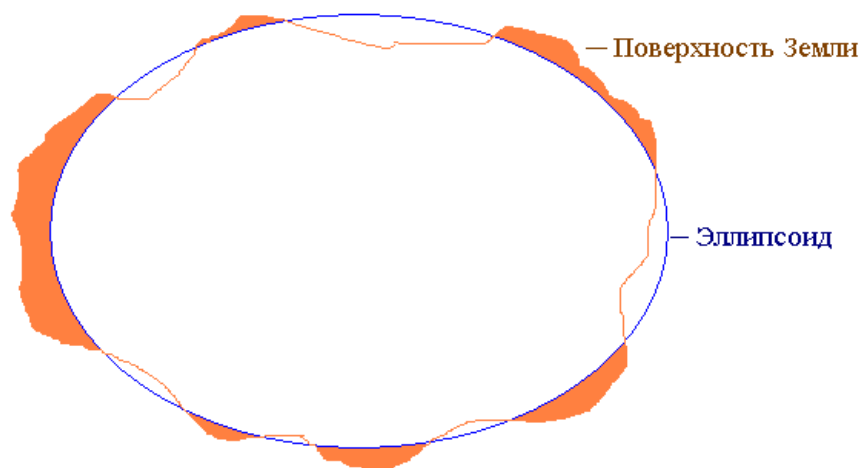


Рис. 1. Промежуточный слой

Массы промежуточного слоя (топографические массы), как правило, имеют переменную плотность, которая известна лишь приближенно. Однако, если для всего промежуточного слоя принять постоянную плотность пород и рассчитать соответствующую поправку в аномалию силы тяжести (топографическую поправку), то линейное интерполирование полученных таким образом аномалий может дать более удовлетворительные результаты.

В общем случае, редукция силы тяжести сводится к введению поправки в нормальное значение силы тяжести:

$$\Delta g_A = g_A - (\gamma + \delta g_A), \quad (1)$$

где g_A – измеренное значение силы тяжести в точке наблюдений “А”,

γ – нормальное значение силы тяжести в той же точке,

δg_A – поправка за промежуточный слой с постоянным значением плотности σ_0 .

В зависимости от принятой методики, поправка δg_A может быть вычислена либо сразу полностью, либо по частям:

$$\delta g_A = \delta g_1 - \delta g_2. \quad (2)$$

Здесь δg_1 – поправка за плоский (в редукции Буге), сферический или сфероидический (в топографической редукции) параллельный слой,

δg_2 – поправка за рельеф.

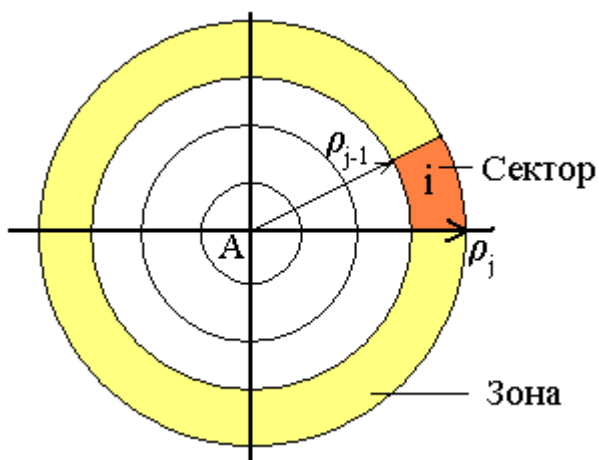


Рис. 2. Полярная (цилиндрическая) система координат

При этом если при вычислении поправки δg_A влияние топографических масс учитывается только до определенного радиуса ρ_j (рис. 2) исследуемой области, то аномалии силы тяжести Δg_A получаются в *неполной топографической редукции*. В противном случае (учтены все топографические массы Земли) – в *полной топографической редукции*.

Как правило, при расчете поправок за промежуточный слой используются либо цилиндрическая (плоский вариант), либо полярная (сферический вариант) система

координат. В этих системах вся земная поверхность делится концентрическими окружностями, проведенными вокруг точки наблюдений «А», на зоны, которые в свою очередь радиальными лучами делятся на секторы «i», в которых высота местности известна.

Таким образом, промежуточный слой представляется системой призматических тел. Ближайшие к точке наблюдений зоны (до 5-15 км) могут рассматриваться как плоские, остальные – сферические.

Расчет поправок за вертикальную составляющую притяжения топографических масс в полярной системе координат с одной стороны – упрощает вывод ряда формул, с другой – при переходе от одной точки наблюдений к другой, требуется заново снимать с карты (или измерять) величины, характеризующие рельеф местности.

В работах автора [6,7] применен другой подход к расчету топографической редукции. Поверхность эллипсоида разбивается регулярной сеткой координатных линий, в качестве которых выбраны меридианы и параллели с геодезическими долготами L и широтами B соответственно. Они образуют некоторые блоки, например $5' \times 5'$, или $30' \times 30'$, или $1^\circ \times 1^\circ$, или любые другие, удовлетворяющие конкретным исследованиям. Эти блоки имеют форму сфероидических (эллипсоидальных) трапеций (рис. 3).

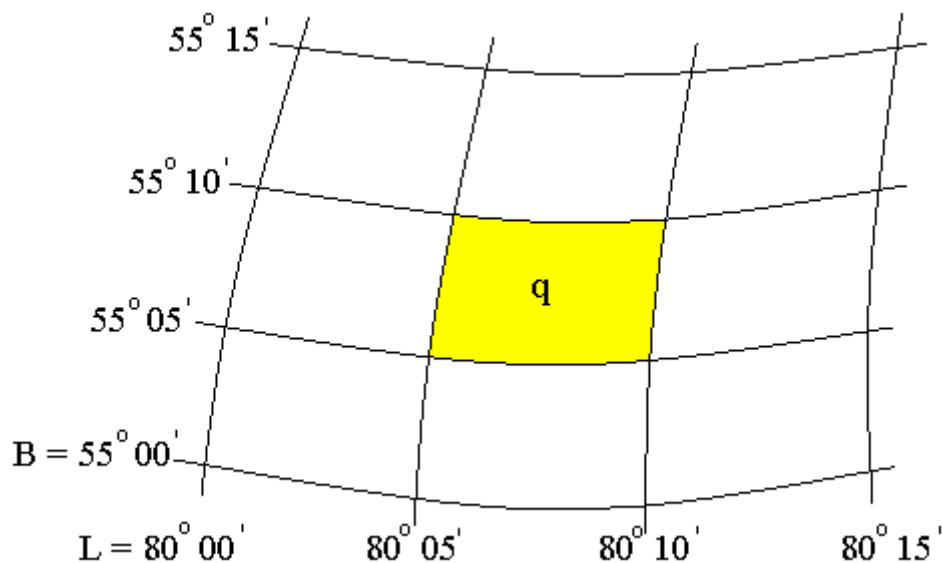


Рис. 3. Трапеции, образованные координатными линиями эллипсоидальной системы координат

В такой системе отсчета установленные один раз в отдельной трапеции характеристики рельефа могут быть использованы многократно для расчета топографических поправок в любой точке наблюдений. Очевидно, что при таком подходе желательно иметь цифровую модель рельефа (ЦМР).

Вычисление поправок за влияние масс промежуточного слоя, как правило, выполняют в неполной топографической редукции, полагая, что «дальние» зоны существенно не влияют на их значения.

Для проверки этого положения мы использовали упрощенную планетарную ЦМР, полученную по данным мелкомасштабной физической карты Земли. В этой модели земная поверхность представлена 648 эллипсоидальными трапециями размером $10^\circ \times 10^\circ$. Принято, что внутри отдельной трапеции геодезическая высота постоянна.

Для двух вариантов с разными эллипсоидальными координатами точки наблюдений, по методике, описанной в работах [6,7], были рассчитаны значения топографической редукции с нарастающим учетом масс

промежуточного слоя вокруг точек наблюдений. При этом, высоты этих точек принимались равными нулю. В этом случае определяемое значение гравитационного влияния топографических масс соответствует поправке за рельеф ($\delta g_A = \delta g_2$). Результаты вычислений представлены графиками на рис. 4.

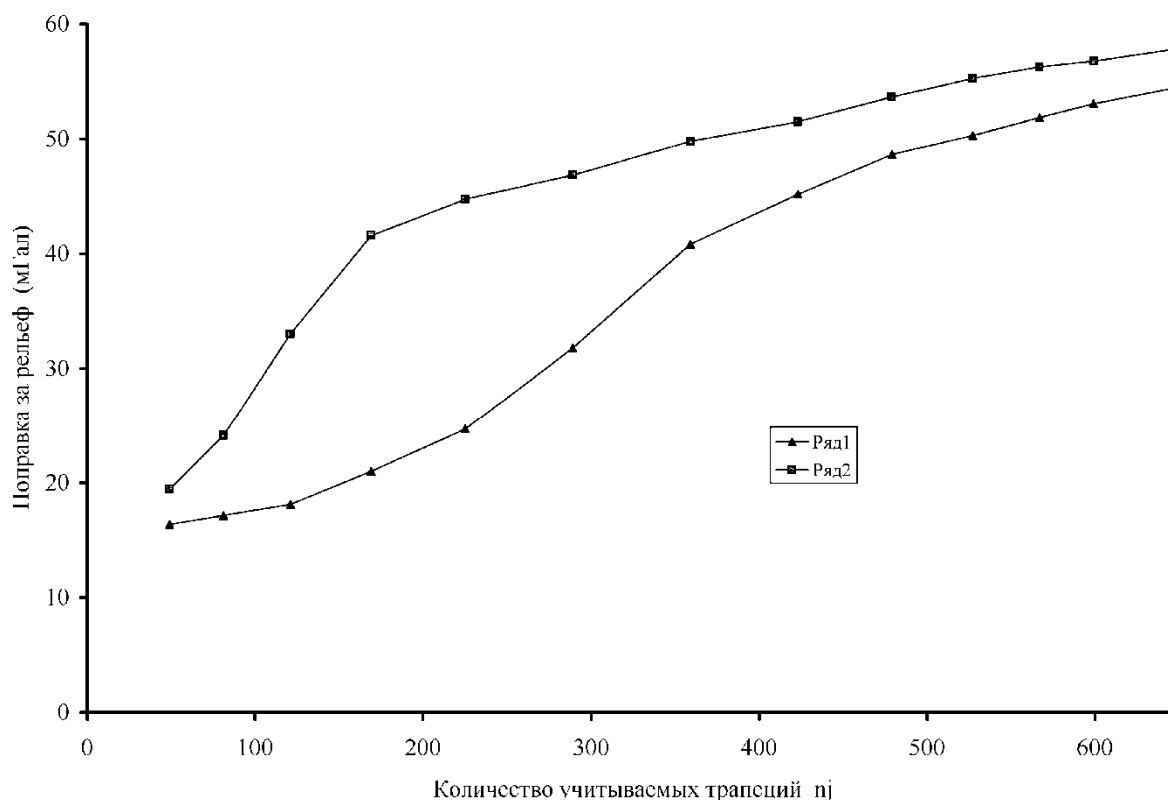


Рис. 4. График изменения поправки за рельеф

Как видно из рисунка, поправки за рельеф постоянно возрастают с увеличением учитываемой области промежуточного слоя.

Таким образом, на основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- При решении геодезических и геофизических задач желательно использовать «чистые» аномалии;
- Использование эллипсоидальной системы координат при расчете вертикальной составляющей притяжения топографических масс предпочтительнее, чем полярной системы, поскольку в первой существует преимущество характеристик рельефа местности (высоты, используемые при расчете топографических поправок в одной точке наблюдения, могут быть применимы и в других);
- При решении задач планетарного или регионального характера с использованием аномалий силы тяжести в топографической редукции следует учитывать полную модель рельефа поверхности Земли, представленную, например, планетарной ЦМР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли [Текст]. / Н.П. Грушинский – М.: Физматгиз, 1963. 448 с.: илл.
2. Шимбирев Б.П. Теория фигуры Земли [Текст]: учебник / Б.П. Шимбирев – М.: Недра, 1975. 432 с.
3. Гофман-Велленгоф Б. Физическая геодезия [Текст]: учебник / Перевод с английского Ю.М. Неймана, Л.С. Сугаиповой / Б. Гофман-Велленгоф, Г. Мориц – М.: МИИГАиК, 2007, - 426 с.: илл.
4. Молоденский М.С. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли [Текст] / М.С. Молоденский, В.Ф. Еремеев, М.И. Юркина // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 131. – М.: Геодезиздат, 1960. – 264 с.
5. Каленицкий А.И. Еще раз о редукциях в гравиметрии [Текст]. / А.И. Каленицкий// Вестник СГГА, вып.11. Новосибирск: СГГА,2006. – С. 98-110.
6. Дементьев Ю.В. Расчет топографических редукций силы тяжести по съемочным трапециям земного эллипсоида [Текст] / Ю.В. Дементьев // Геодезия и картография. – 2008. -№7. с.14 - 16.
7. Дементьев Ю.В. Учет сжатия Земли в топографических редукциях силы тяжести [Текст] / Ю.В. Дементьев // Геодезия и картография. – 2008. -№2. с. 3 – 6.

© Ю.В. Дементьев, 2010

УДК 511.3(075.8)

А.В. Маноенков

СГГА, Новосибирск

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОДОГРАФОВ СМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье приведены результаты исследования смещения оползня на основе спектрального метода анализа геодезических измерений. Выполнен анализ смещения оползня, в основе которого лежит представление обобщенной характеристики движения тела оползня в виде однонаправленных связанных векторов точек, полученных по всему циклу наблюдений.

A.V. Manoenkov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

SPECTRUM ANALYSIS OF HODOGRAPHS CURVE DISPLACEMENT CONTROL POINTS OF LAND SURFACE

The paper presents the results of sliding investigation on the basis of the geodetic measurements spectral analysis. The foundation of the sliding analysis is the generalized characteristic of the landslide body motion as unilateral bound vectors of the points received throughout the observation cycle.

Объектом исследования настоящей статьи явились оползни, а именно один из оползней, развитых на крутых береговых склонах, расположенных вдоль долины р. Москвы и ее крупных притоков, сформированный на моренных юрских глинах и развитый под влиянием речной эрозии, естественного и техногенного обводнения склонов и неразумных строительных воздействий. Одной из причин выбора такого объекта исследования явилось то, что сходы оползней могут стать виной чрезвычайных ситуаций, связанных с перекрытием автомобильных и железных дорог, повреждением опор ЛЭП и мостов, газо-, водо-, нефтепроводов, объектов жизнеобеспечения, разрушением жилых домов и строений. На сегодняшний день опасность схода оползней существует на территории Сочи, Геленджика, Новороссийска, Горячего Ключа, а также Туапсинского, Апшеронского, Северского, Абинского, Крымского, Темрюкского районов.

Для получения данных о пространственно-временном смещении оползня на нем был размещен 21 пункт (контрольная точка), за положением которых произведено 15 циклов наблюдений. После соответствующей обработки получены плановые и высотные смещения всех контрольных точек. Плановое и высотное смещение точек отражено на графике [1].

По геодезическим данным планового и высотного смещения точек земной поверхности получена траектория движения каждого пункта сети на оползне. Траектория каждого пункта в рассматриваемом случае является случайной функцией и может быть представлена годографом пространственно-временного смещения точек.

Для изучения характера кинематического процесса какого-либо участка оползня, был применен метод случайных функций, с помощью которого можно определить какие параметры влияют на процесс изменения местоположения оползня [2]. Представив траекторию каждого пункта как случайную функцию $X(t)$ и используя аппарат спектрального анализа можно определить периодичность и амплитуду колебательных движений, т.е. выявить характер пространственно–временных изменений точек земной поверхности по времени.

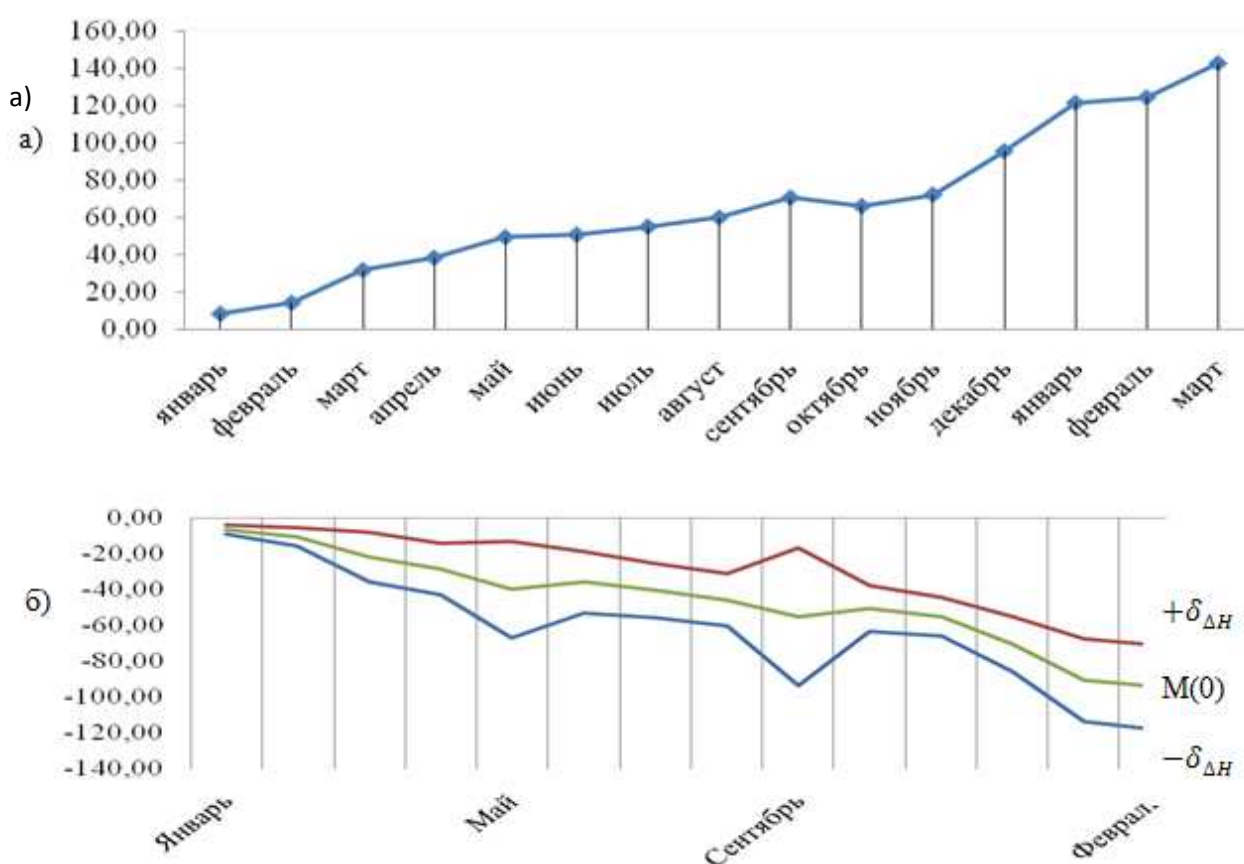


Рис. 1. График изменения положения точек геодезической сети на оползне:

- а) изменение планового положения точек;
- б) изменение высотного положения точек

Цель анализа – комплексное разложение комплексных временных рядов с циклическими компонентами, которыми являются пространственные траектории движения точек оползня.

Возьмем в качестве сечения случайной функции $X(t)$ промежуток времени в один месяц. Обозначая момент времени t , а промежуток времени τ , получим корреляционный момент двух сечений случайной функции $K_x(t, t + \tau)$.

В данном примере случайная функция будет сведена к системе пятнадцати случайных величин, отвечающих сечениям $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$. Намечая сечения на графике, и снимая с графика изменения высотного и планового смещения в этих сечениях, получили таблицу значений реализаций функции. Так как анализ высотного и планового смещения проводился аналогично, то для примера рассмотрим смещение высотного местоположения точек (табл. 1).

Таблица 1. Высотное смещение точек земной поверхности в мм

t № реализации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-8,06	-10,8	-18,9	-28,8	-40,4	-42,6	-44,6	-48,8	-54,3	-54,4	-50,9	-62,3	-82,1	-87,8	-95,6
2	-11,3	-18,9	-20,6	-21,5	-57,7	-59,1	-62,8	-66,4	-52,3	-65,2	-65,5	-79,6	-97,5	-102	-95,6
3	-5,0	-4,5	-4,0	-5,1	-4,3	-5,7	-37,0	-34,1	-43,7	-47,3	-58,8	-71,9	-83,8	-84,6	-88,1
4	-8,9	-6,7	-22,4	-22,6	-30,2	-43,2	-45,6	-50,8	-53,6	-57,2	-65,6	-75,3	-81,8	-87,0	-94,4
5	-10,0	-3,0	-12,5	-23,9	-27,2	-34,8	-36,4	-41,4	-47,8	-49,8	-51,0	-58,7	-76,4	-80,7	-84,9
6	-4,1	-9,50	-21,2	-34,8	-34,4	-42,2	-40,8	-47,2	-38,9	-43,1	-57,4	-66,2	-83,7	-80,7	-91,5
7	-5,1	-11,2	-1,0	-10,2	-11,7	-18,0	-22,2	-26,2	-29,2	-33,3	-66,6	-89,0	-106	-110	-114
8	-8,9	-18,9	-16,3	-49,1	-46,9	-49,4	-53,8	-60,2	-60,9	-63,7	-60,1	-85,9	-115	-121	-135
9	-9,2	-16,3	-50,8	-46,9	-48,3	-51,9	-54,5	-61,2	-61,2	-61,7	-60,9	-79,9	-110	-115	-122
10	-6,1	-13,6	-54,1	-41,0	-48,9	-50,3	-58,0	-64,4	-63,0	-63,7	-63,6	-89,6	-124	-128	-141
11	-4,1	-9,5	-38,9	-40,8	-45,3	-47,2	-51,1	-55,3	-56,6	-58,8	-60,1	-85,1	-112	-119	-128
12	-10,3	-23,3	-35,1	-38,0	-41,0	-43,4	-46,4	-54,2	-51,2	-56,9	-60,3	-80,9	-103	-107	-120
13	-5,1	-11,2	-32,2	-35,2	-41,0	-40,5	-40,8	-45,5	-47,4	-52,8	-55,2	-72,0	-91,4	-95,3	-103
14	-2,2	-2,2	-6,4	-7,3	-12,4	-8,9	-13,4	-20,2	-23,8	-28,7	-32,8	-42,9	-49,2	-52,4	-56,4
15	-2,2	-4,5	-6,7	-7,3	-8,2	-10,6	-13,4	-17,5	-24,2	-26,6	-30,1	-39,8	-45,9	-49,4	-73,0
16	-9,0	-6,1	-18,0	-20,6	-23,3	-21,9	-19,8	-37,4	-34,5	-39,7	-45,5	-53,9	-66,6	-67,7	-71,8
17	-4,1	-9,2	-13,3	-27,8	-31,2	-31,1	-35,4	-39,7	-217	-46,8	-54,5	-65,1	-83,1	-87,3	-94,3
18	-5,1	-9,2	-26,1	-41,6	-46,1	-48,5	-49,9	-53,5	-57,5	-60,2	-59,4	-83,4	-101	-107	-114
19	-5,0	-9,9	-22,0	-39,1	-43,0	-46,6	-50,5	-55,5	-57,2	-59,4	-62,0	-85,2	-111	-117	-126
20	-6,4	-13,9	-27,2	-48,0	-58,0	-55,8	-59,4	-61,7	-63,4	-66,1	-63,3	-72,2	-126	-132	-142
21	-4,1	-9,2	-13,0	-5,0	-139	-2,2	-14,1	-21,4	-21,9	-26,9	-33,2	-41,7	-52,3	-57,3	-65,1

Исходя из графиков (рис. 1) видно, что процесс смещения оползневых точек не зависит от времени (т.е. стационарен), то этот корреляционный момент не должен зависеть от того, где именно на оси $O(t)$ взяли участок τ , а должен зависеть только от длины этого участка. Таким образом, корреляционная функция стационарного случайного процесса должна зависеть не от

определенного момента времени, а только от промежутка между моментами времени. Следовательно, корреляционная функция стационарного случайного процесса есть функция не двух, а всего одного аргумента.

$$K_x(t, t + \tau) = K_x(\tau) \quad (1)$$

На примере образца стационарного случайного процесса построим его характеристики, а именно математическое ожидание дисперсию и корреляционную функцию.

Суммируя значения реализаций по столбцам и разделив сумму на число реализаций, получим зависимость математического ожидания от времени:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M _x (t)	-6,4	-10,6	-21,9	-28,3	-39,9	-35,9	-40,5	-45,8	-55,2	-50,6	-55,1	-70,5	-90,6	-94,6	-102,7

Для вычисления корреляционного момента соответствующих сечений случайной функции, перемножаются значения, стоящие в соответствующих столбцах сечения функции произведения складываются алгебраически; полученная сумма делится на 21 (количество реализаций) из результата вычитается произведение соответствующих математических ожиданий. Для получения несмещенной оценки корреляционного момента результат умножают на $21/(21-1)$.

По итогам этих вычислений строится корреляционная матрица системы случайных величин высотного перемещения точек $X(1), X(2), X(3), X(4)$, - она же таблица корреляционной функции $K_x(t, t + \tau)$ (табл. 2).

Таблица 2. Корреляционные моменты величин высотного смещения по времени

[illegible]

Оценки дисперсий величин высотного смещения, точек земной поверхности:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$D_x(t)$	7,4	30	201	220	760	308	245	226	1550	169	121	246	553	592	624

Извлекая из этих величин квадратные корни, найдем зависимость среднего квадратического отклонения σ_x от времени:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\sigma_x(t)$	2,7	5,5	14,2	14,8	27,6	17,5	15,6	15,0	39,4	13,0	11,0	15,7	23,5	24,3	25,0

Разделив значения из табл. 2 на произведения соответствующих средних квадратических отклонений, получим таблицу значений амплитуд колебаний, высотного смещения точек. Осредняя значения амплитуд колебаний, высотного смещения точек вдоль параллелей главной диагонали получим средние значения амплитуды колебаний и по этим данным построим график колебаний высотного смещения точек оползня (рис. 2):

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\rho_x(t)$	1	0,65	0,70	0,56	0,62	0,51	0,50	0,54	0,44	0,54	0,50	0,61	0,37	0,34	0,25

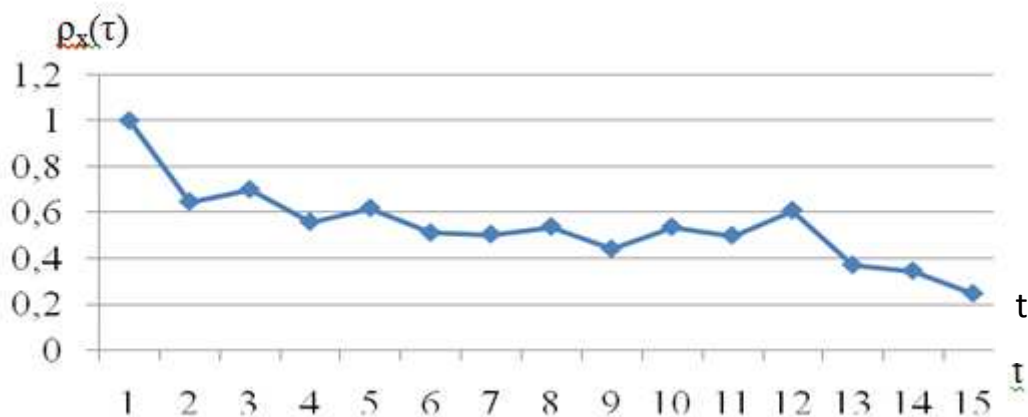


Рис. 2. График колебаний высотного смещения точек оползня

Представим колебательный процесс в виде суммы гармонических колебаний различных частот (так называемых «гармоник») спектром колебательного процесса будет являться функция описывающая распределение амплитуд по различным частотам. Спектр показывает, какого рода колебания преобладают в данном процессе и какова его внутренняя структура. Спектр случайной функции будет описывать распределение дисперсий по различным частотам.

Разложим корреляционную функцию $K_x(\tau)$ в ряд Фурье, пользуясь только четными косинусными гармониками

$$K_x(\tau) = \sum_{k=0}^{\infty} D_k \cos \omega_k \tau, \quad (2)$$

$$\text{где } \omega_k = k\omega_1, \omega_1 = \frac{2\pi}{2T} = \frac{\pi}{T}$$

где $K_x(\tau)$ – корреляционная функция;

D_k – дисперсия;

ω_k – гармонические колебания;

T – период гармонических колебаний.

Для вычисления дисперсий представим формулу (2) в виде:

$$D_k = \frac{2}{T} \int_0^T K_x(\tau) \cos \omega_k \tau d\tau \quad (3)$$

Произведем вычисления, подставив вместо T 15 (количество месяцев), а вместо $K_x(\tau)$ средние значения амплитуды колебаний. По полученным данным построим график спектрального разложения значений высотного смещения точек земной поверхности во времени (рис. 3).

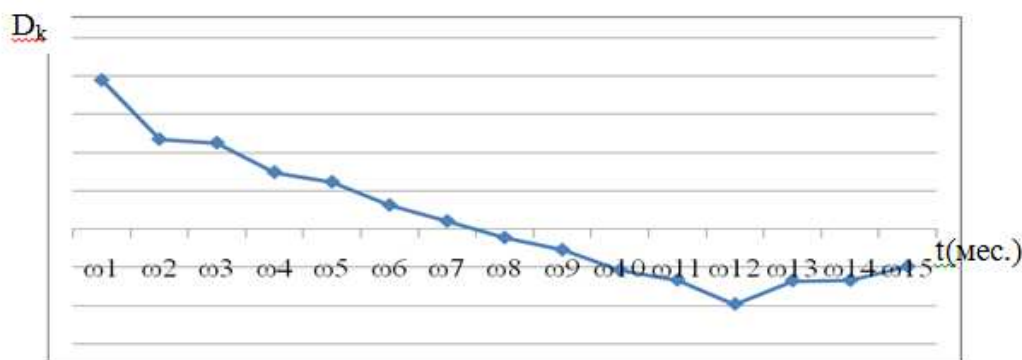


Рис. 3. Спектральное разложение гармонических колебаний высотного смещения оползня

На графике видно, что в структуре случайной функции присутствует некий элемент периодичности во времени, положительным значениям гармонических колебаний соответствует такое же количество отрицательных. Период колебаний равен примерно 8 месяцам. Исходя из этого, можно проследить стохастическую зависимость между временем года и колебаниями высотного смещения, т.е. в определенный годовой период можно точно предсказать величину колебания.

Для установления истинных причин смещения оползня требуются более детальные характеристики вещественного состава приповерхностного слоя земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симонян, В.В. Точность геодезических измерений и определение периода стабилизации оползней [Текст] / В.В. Симонян, В.В. Буш // Труды ГУЗ. – М., 1992.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учебник для студ. вузов / Е. С. Вентцель. – 10-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2005. – 576 с.

УДК 528.2

Ю.В. Дементьев, Е.Н. Кулик, Е.В. Дергачева

СГГА, Новосибирск

ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

В СГГА ведется работа по построению планетарной цифровой модели рельефа (ПЦМР) и ее приложениям в гравиметрии. Модель строится по узлам регулярной сетки с шагом 5'×5' на основе модели радарной топографической съемки SRTM.

Yu.V. Dementiev, E.N. Kulik, E.V. Dergacheva

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL AND APPLICATIONS

SSGA is building a global digital elevation model and working on model's applications in gravimetry. The model has the nodes of a regular grid with cell size 5'×5', is based on data of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

В настоящее время геопространственная информация находит всё большее применение в различных областях науки и производства, а эффективность решения геопространственных задач с помощью геоинформатики значительно повышается. Этому способствует всё большая доступность исходных данных, создание разнородных баз данных, появление всё более мощных персональных компьютеров, а также глобальная информационная сеть Интернет.

В последние годы особое место в мире информационных технологий отводится географическим информационным системам. Современные методы анализа геопространственных данных применяемые в ГИС могут быть очень простыми, в ряде случаев надо лишь создать аналитическую карту; или более сложными и комплексными, включающими много расчётных величин для моделирования реального мира и объединение большого числа различных слоёв.

Очевидно, что способы отображения и представления геопространственной информации должны совершенствоваться и развиваться по пути повышения наглядности, информативности и эстетичности.

Одним из способов изображения рельефа с применением современных технологий является построение цифровой модели рельефа (ЦМР).

ЦМР – это определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий восстановить исходную поверхность рельефа территории местности в цифровом виде.

Использование ЦМР постепенно становится неотъемлемой частью исследований в науках о Земле, экологии, земельном кадастре и инженерных проектах.

Аналитическая обработка ЦМР служит для получения производных морфометрических или иных данных, включая вычисление углов наклона и экспозиции склонов; анализ видимости/невидимости; построение ЦММ и профилей поперечного сечения; оценку формы склонов через кривизну их поперечного и продольного сечения; вычисление положительных и отрицательных объемов; генерацию линий сети тальвегов и водоразделов, образующих каркасную сеть рельефа; интерполяцию высот; построение изолиний; цифровое ортотрансформирование изображений, расчета различных редукций аномалий силы тяжести в гравиметрии и другие вычислительные операции, и графоаналитические построения [1].

Построение ЦМР требует определённой структуры данных. Исходные точки могут быть по-разному распределены в пространстве: сбор данных может осуществляться по точкам регулярной сетки, по структурным линиям рельефа и хаотично.

Источниками исходных данных для создания ЦМР суши служат:

- а) Цифровые и аналоговые топографические карты и планы;
- б) Данные дистанционного зондирования Земли (стереопары аэрофото-, радиолокационных и космоснимков);
- в) Результаты наземных съёмок (тахеометрическая съёмка, нивелирование, GPS-съёмка и др.)
- г) Лазерное сканирование.

При изучении формы, размеров и гравитационного поля Земли требуется знание данных о рельефе всей поверхности Земли, т.е. требуется планетарная цифровая модель рельефа (ПЦМР). Очевидно, что такие модели могут быть более разряженные, чем ЦМР локальных территорий. Ведущими учеными центрального научно-исследовательского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК) выполняются большой объем работ по изучению и моделированию гравитационного поля Земли (ГПЗ). Так в последние годы, по данным средних аномалий силы тяжести в трапециях размером $30' \times 30'$ по широте и долготе, получена планетарная модель ГАО2008 [2]. Ведутся работы по построению новой глобальной модели ГПЗ с более детальными аномалиями силы тяжести по трапециям размером $5' \times 5'$ [3]. Очевидно, что модели ГПЗ неразрывно связаны с ПЦМР. При вычислении аномалий, как разностей измеренных и нормальных значений силы тяжести, вводятся поправки (редукции) за влияние топографических масс, расположенных между физической поверхностью Земли и отсчетной поверхностью нормального гравитационного поля (поверхность эллипсоида). Следовательно, при расчете полной топографической редукции аномалий силы тяжести требуется ПЦМР, построенная по узлам регулярной сетки.

Анализируя множество цифровых моделей рельефа для построения ПЦМР, в качестве основы мы выбрали модель радарной топографической съемки

Shuttle Radar Topography Mission [4], покрывающую около 80% всей поверхности суши земного шара. Оставшуюся часть предварительно планируется заполнить по данным картографирования земной поверхности.

В рамках международного космического проекта Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) по радарной топографии Земли возглавляемого NASA проведенного с 11 по 22 февраля 2000 г., с борта космического корабля многоразового использования "Endeavour" выполнена трёхмерная съёмка поверхности Земли в районах, расположенных между 60° северной и 56° южной широты.

SRTM – это международный проект по радарной топографии Земли между Национальным агентством по авиации и исследованию космического пространства США (NASA), Национальным пространственно-информационным агентством (NGA) (также известным как Национальное картографическое управление, NIMA) министерства обороны США (DoD) и немецким (DLR) и итальянским (ASI) космическими агентствами [4].

Чтобы получить трёхмерные данные о поверхности Земли, инженеры оборудовали космический корабль двумя радарными антеннами использующие сигналы в С- и Х-диапазонах (длина волны 5,6 и 3,1 см соответственно), добавив выдвижную 60-метровую мачту (рис. 1).

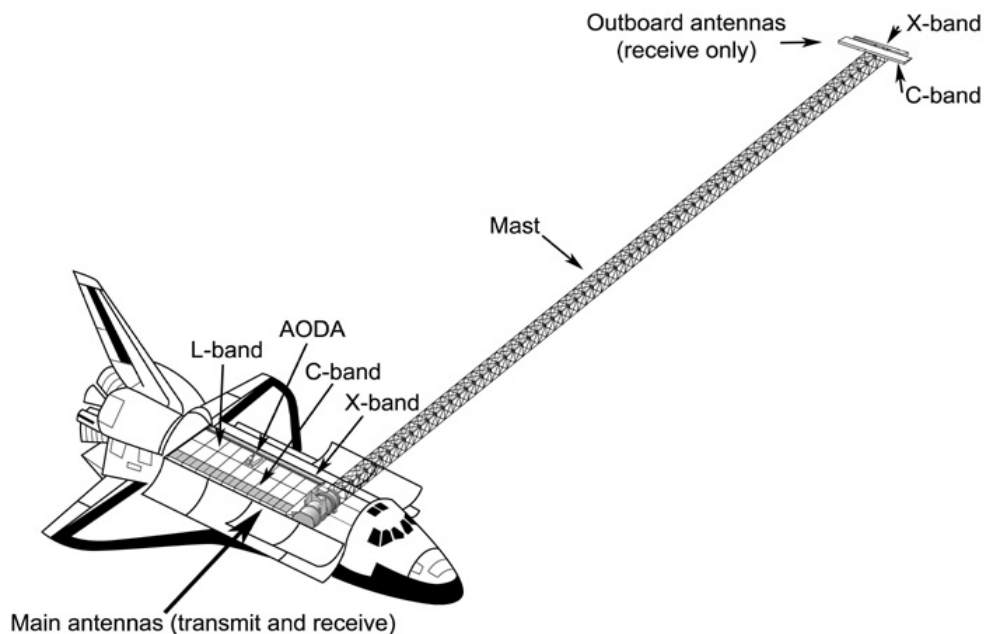


Рис. 1. Оборудование SRTM для выполнения радарной интерферометрической съёмки поверхности Земли космическим кораблём "Endeavour"

Main antennas (transmit and receive) – главная антенна (передача и приём сигналов); L-band – L-полоса; C-band – C-полоса; X-band – X-полоса; Mast – мачта; AODA – авиакосмическая электроника определения пространственного и орбитального положения; Outboard antennas (receive only) – внешняя (вспомогательная) антенна (только приём сигналов)

Таким образом, система могла работать как однопроходный интерферометр, обеспечивающий эффективный и точный сбор высотных данных о поверхности земного шара [4].

Всего в результате съёмки выполнено около триллиона измерений и получено 12 терабайт радиолокационных данных, которые в течение двух лет проходили обработку специалистами NASA и других организаций, в частности, представителями немецкого и итальянского космических агентств.

В настоящее время данные SRTM существуют в нескольких версиях: предварительная (версия 1, от 2003г.) и окончательная (версия 2, от февраля 2005 г). Окончательная версия прошла дополнительную обработку, выделение береговых линий и водных объектов, фильтрацию ошибочных значений. Кроме того, существует версия 3, полученная организацией CIAT из оригинальных высотных данных путём обработки, которая обеспечила получение гладких топографических поверхностей, а так же интерполяцию областей, в которых отсутствовали исходные данные[5].

Данные версии 1 и 2 распространяются в нескольких вариантах – сеть с размером ячейки 1 угловая секунда (что соответствует пространственному разрешению порядка 30 м) и 3 угловые секунды (порядка 90 м). Точность данных по высоте составляет 16 м.

Более точные одnoseкундные данные доступны на территорию США, на остальную поверхность Земли доступны только трёхсекундные данные.

Данные версии 1 и 2 распространяются квадратами размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ в формате HGT.

Данные версии 3 распространяются в виде файлов ARC GRID, а также ARC ASCII и в формате GeoTiff, квадратами $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ в системе координат WGS84[6].

Дополнительно с представленными данными в виде отдельных слоев также распространяются данные SWBD по площадным гидрографическим объектам.

Данные всех версий свободно доступны в Интернет.

На основе этой информации в СГГА ведется работа по построению ПЦМР по узлам регулярной сетки с шагом $5' \times 5'$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пространственное моделирование средствами ГИС для морфотектонического анализа [Электронный ресурс] / Е.А. Вишневская, А.В. Елобогоев, Е.М. Высоцкий, Н.Н. Добрецов. – Электрон. текст. и граф. данные // Из материалов международной конференции «Интеркарто-6» – Новосибирск: Объединённый институт геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения РАН, 2000. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2004/ggeo/solovjov/library/lib8.htm>, свободный.

2. Демьянов, Г.В. Планетарные модели гравитационного поля Земли, их роль в современных условиях развития геодезии [Текст] / Г.В. Демьянов, Р.А. Сермягин // Геодезия и картография. – 2009. – №10. – С.8-12.

3. Демьянов, Г.В. Построение общеземной системы нормальных высот [Текст] / Г.В. Демьянов, А.Н Майоров, М.И. Юркина // Геодезия и картография. – 2009. – №1. – С.12-16.

4. Shuttle Radar Topography Mission [Электронный ресурс]: The Mission to Map the World / JPL NASA; ред. Eric Ramirez. – Электрон. текст. данные, граф. данные и табл. – California: PFMA Group, 2005 – 2006. – Режим доступа: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, свободный.

5. GIS-Lab [Электронный ресурс]: Географические информационные системы и дистанционное зондирование: О данных SRTM и их импорте с помощью Arcinfo Workstation / Авторский коллектив GIS-Lab ; координатор GIS-Lab Максим Дубинин. – Электрон. текст. данные, граф. данные и табл. – [Б. м.: б. и.], 2002 – 2009. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>, свободный.

6. Муравьёв, Лев. Высотные данные SRTM против топографической съёмки [Электронный ресурс]: Авторский материал / Лев Муравьёв. – Электрон. текст. и граф. данные. – [Б. м.]: Институт геофизики УрО РАН, 2008. – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-97438.html>, свободный.

© Ю.В. Дементьев, Е.Н.Кулик, Е.В. Дергачева, 2010

УДК 528.004.13

Ю.П. Гуляев, О.Г. Павловская

СГГА, Новосибирск

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕАКЦИИ ОПОЛЗНЕЙ НА ВЗРЫВЫ И РАЗГРУЗКУ СКЛОНОВ

Представлена методика выявления реакции оползня на техногенные воздействия.

Yu.P. Gulyayev, O.G. Pavlovskaya

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GEODETIC DETECTION OF THE REGULARITY OF THE SLIDING REACTION TO THE EXPLOSION AND THE SLOPE DISCHARGE

The methods of detecting the reaction of the slide to the technogenic impacts are considered.

Актуальность исследований сложных и опасных оползневых процессов общеизвестна. Реакция оползней на различные техногенные воздействия малоизучена. В докладе демонстрируются основные этапы разработанной нами методики выявления по геодезическим данным особенностей и закономерностей динамики оползней в условиях выполнения взрывных работ и разгрузки склонов. Разработка методики осуществлялись с использованием материалов геодезических наблюдений за перемещениями правобережных оползневых склонов в зоне строительства на реке Ангаре каменнонабросной плотины Богучанской ГЭС [1]. Взрывы выполнялись для добычи скальных пород, большие массы которых затем вывозились из карьеров в кавальеры плотины и, таким образом, происходила разгрузка склонов. К сожалению, отсутствовала ретроспективная информация о местах, времени, мощности производимых взрывов и соответственно – о разгрузке склонов.

Объектом исследования служил единственный оползневой склон, где на протяжении девяти лет сохранились от взрывов пять реперов, многоцикловые наблюдения за вертикальными перемещениями которых производились нивелированием III класса. Однако межцикловые интервалы времени наблюдений значительно различались между собой, а выполнение циклов, по-видимому, не охватывало кульминации и спады техногенных воздействий. Даже в условиях такой неполноты информации обнаружилось проявление чередующихся во времени отрицательных и положительных вертикальных перемещений реперов [2]. Очевидно, что отрицательные перемещения обусловлены естественным скольжением оползня вниз по склону, значительно

усиленным воздействием взрывов. Положительные перемещения возникают вследствие известного в механике грунтов разуплотнения грунта после снятия в процессе разгрузки так называемого бытового давления.

Для подтверждения обнаружившихся особенностей реакции оползневого склона на взрывы и разгрузку были проведены дополнительные исследования. Исходными данными при этом служили поцикловые значения высот пяти реперов и их средние квадратические ошибки, полученные Е.А. Васильевым из межциклового уравнивания всей нивелирной сети разработанным им методом [3]. В начале были скорректированы имеющиеся высоты всех реперов исследуемой группы методом Ю.Е. Федосеева [4], позволяющим в условиях взаимной неустойчивости перемещающихся реперов определить их собственные относительные смещения, т.е. найти фактические высоты. Затем по скорректированным высотам определялись скорости межцикловых перемещений реперов и оценивалась их точность. Таким способом осуществлялось нормирование контролируемых параметров процесса, давшее возможность произвести сравнительный анализ его развития безотносительно продолжительности межцикловых промежутков времени.

В результате выполненного анализа установлено, что в 21 случае из 120 значения скоростей существенно превышают погрешности их вычисления. Близость значений скоростей и их погрешностей обусловлена преимущественно малыми скоростями, развивающимися на коротких межцикловых интервалах времени, а также недостаточной точностью нивелирования III класса. При этом следует учитывать, что оцениваемые значения плюсовых скоростей несколько преуменьшены продолжающимися в процессе разгрузки склона естественным скольжением оползня вниз, а минусовые скорости снижены инерционным влиянием предшествующей разгрузки. Как показано ниже, отмеченное влияние было подтверждено последующими исследованиями.

Таким образом, была доказана разнознаковая реакция оползневого склона на взрывные и разгрузочные воздействия. Это дало основание на следующем этапе исследований конструктивно отдельно рассматривать отрицательные и положительные составляющие процесса вертикальных перемещений в соответствии с его детерминировано-вероятностных природой [5]. Производилось отдельное центрирование вышеуказанных составляющих процесса, в результате которого выявился характер двух видов влияния техногенных воздействий в форме изменений во времени средних значений перемещений, зафиксированных наблюдениями. Центрированные значения минусовой составляющей процесса имели преимущественно положительную тенденцию развития, а плюсовой составляющей – отрицательную, что подтвердило отмеченное выше компенсационное и инерционное влияние факторов.

Очевидно, что центрированные значения обеих составляющих процесса отражают преимущественно естественный характер его развития с малой долей влияния техногенных воздействий. Поэтому они оказались близкими между собой, что позволило объединить их путем осреднения по близрасположенным

соседним сечениям и включения центрированных значений отдельных удаленных сечений. В целом мы получили пять объединенных реализаций центрированного процесса и два графика развития средних минусовых и плюсовых вертикальных перемещений, характеризующих степень влияния каждого из рассматриваемых техногенных воздействий.

Тренды минусового и плюсового развития во времени вертикальных перемещений под влиянием техногенных воздействий аппроксимировались с достаточной теснотой зависимости полиномами 4-ой и 5-ой степеней. Однако такая аппроксимация представляла лишь математическое описание наблюдаемого процесса, но недостаточно синтезировала общую закономерность его развития. Поэтому полученные тренды допустимо использовать для приближенной прогнозной оценки динамики оползневого склона, поскольку в данном случае отсутствовала возможность идентифицировать места, время и уровень воздействий с графиком наблюдавшейся реакции на них. Очевидно, при наличии такой информации можно получить достаточно точные результаты прогнозирования методами, представленными в монографии [5].

Закономерности кинематического развития выделенного центрированного процесса были определены нами на основе корреляционной теории случайных функций в виде основных параметров закона его распределения. Предварительно была оценена и обеспечена нормальность процесса в каждом сечении. Линейность тренда центрированного процесса обусловлена его нулевым математическим ожиданием во всех моделируемых сечениях. В результате было аппроксимировано с высокой теснотой развитие во времени стандарта и нормированной автокорреляционной функции [5]. Выявленные закономерности позволяют оценить ожидаемую динамику оползней в данных или подобных условиях.

Предлагаемая методика выявления особенностей и закономерностей развития оползней разработана нами для решения осложненной задачи в условиях неполной информации. Убеждены, что применение такой методики для решения аналогичных задач с другими видами воздействий при достаточной полноте информации будет значительно проще и эффективнее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев, Ю.П. Геодезические исследования техногенной геодинамики на строящейся Богучанской ГЭС / Ю.П. Гуляев, А.П. Павлов // Гидротехническое строительство. – 1993. – № 9. – С. 8-11.
2. Павловская, О.Г. Выявление однородных групп перемещений оползней / О.Г. Павловская, Ю.П. Гуляев // ГЕО-Сибирь-2009. Т.1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч 2.: сб. матер. V Междунар. Науч. Конгресса «Гео-Сибирь-2009, 20-24 апреля 2009 г.– Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 117-121.
3. Васильев, Е.А. Рекуррентный алгоритм уравниваний в задачах анализа устойчивости геодезической основы / Е.А. Васильев // Геодезия и фотограмметрия в горном деле. – Свердловск: СГИ, 1985. – С. 3-8.

4. Практикум по прикладной геодезии / Е.Б. Ключин, Д.Ш. Михеев, Д.П. Барков и др. – М.: Недра, 1993. – 368 с.

5. Гуляев, Ю.П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.

© Ю.П. Гуляев, О.Г. Павловская, 2010

УДК 550.34.06 ББК 6.01.16.

Г.М. Воскобойникова

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ВРЕМЕН ВСТУПЛЕНИЙ ВОЛН ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

В данной статье рассматривается задача в рамках проблемы локации сейсмических источников разного типа – промышленных и полигонных взрывов, сейсмических вибраторов. В ее основе лежит решение задачи определения времен вступления сейсмических волн по результатам регистрации сейсмических сигналов. При этом задача снижения погрешности измерений является одной из основных. Трудность ее решения обусловлена присутствием техногенных шумов и иных событий, которые являются фоновыми по отношению к полезному сигналу от события.

G.M. Woskoboynikova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Prospect Akademika Lavrentyeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

AUTOMATIC ESTIMATION OF THE ARRIVAL TIMES FROM SEISMIC SOURCES OF THE DIFFERENT NATURE

In this article the task within the location problem of the seismic sources of the different nature – industrial and ground explosions, seismic vibrators, is considered. The task solution of arrival time's detection of the seismic waves according to the recording results is underlain of this task. At the same time the problem of the measurements inaccuracy reduction is one of fundamental. The difficulty of this task solution is that technogeneuous noises occurrence and other events which are background with respect to useful signal form event.

АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕН ВСТУПЛЕНИЯ ВОЛН

Предложен апостериорный алгоритм для автоматического определения времен вступления волн, решаемый с помощью метода динамического программирования.

В качестве целевой функции выбрано выражение вида:

$$S(n_1, \dots, n_M) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{k=0}^{q-1} y_{n_i+k} y_{n_j+k} \rightarrow \max_{\Omega} \quad (1)$$

где n_i, n_j ($i, j = \overline{1, M}$) – времена вступления первых волн;

$y_{n_j+k}, y_{n_j+k}, i, j = \overline{1, M}, k = \overline{0, q-1}$ – сейсмические волны заданной длительности q ;

M – количество сейсмограмм;

$$\Omega = \{(n_1, \dots, n_M) \mid 0 \leq n_1 \leq T_{\max} - q - 1, N - T_{\max} - q \leq n_M \leq N - q - 1,$$

$$q \leq T_{\min} \leq n_i - n_{i-1} \leq T_{\max}, i = \overline{2, M}\}$$

Критерий (1) основан на методе максимального правдоподобия. В результате некоторых преобразований, выражение (1) эквивалентно следующему выражению:

$$\tilde{S}(n_1, \dots, n_M) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=0}^{q-1} u_k (u_k - 2y_{n_i+k}) \rightarrow \min_{\Omega} \quad (2)$$

$$\text{где } \tilde{u}_k = y_{n_1+k}^*, k=0, \dots, q-1, n_1^* = \underset{0 \leq n_1 \leq T_{\max}-q-1}{\operatorname{Argmax}} S(n_1) = \underset{0 \leq n_1 \leq T_{\max}-q-1}{\operatorname{Argmax}} \sum_{k=0}^{q-1} y_{n_1+k}^2.$$

В результате решения задачи минимизации (2) с помощью метода динамического программирования найден оптимальный набор времен вступления волн и их количество:

$$(\tilde{n}_1, \dots, \tilde{n}_{\tilde{M}}, \tilde{M}) = \underset{\Omega}{\operatorname{Argmin}} \tilde{S}(n_1, \dots, n_M).$$

Этот алгоритм очень критичен к уровню шума. На начальные условия наложено ограничение – стационарность шума, что невозможно на достаточно длинных сейсмограммах. За счет этого резко падает точность алгоритма. Чтобы избежать этой проблемы, необходимо рассматривать не всю сейсмограмму, а выбирать временную и частотную области, где заведомо находится сейсмическая волна, т.е. область наибольшего сосредоточения энергии сейсмической волны. Это осуществляется с помощью фрактального представления сейсмограмм – построения спектрально-временных функций (СВФ) для каждой из вибрационных сейсмограмм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

Чтобы продемонстрировать работу этой методики, рассмотрим следующий эксперимент, который проходил на оз. Байкал, п. Мантуриха. В результате эксперимента были получены вибрационные сейсмограммы, на которых необходимо как можно более точно определять времена вступления сейсмических волн (рис. 1).

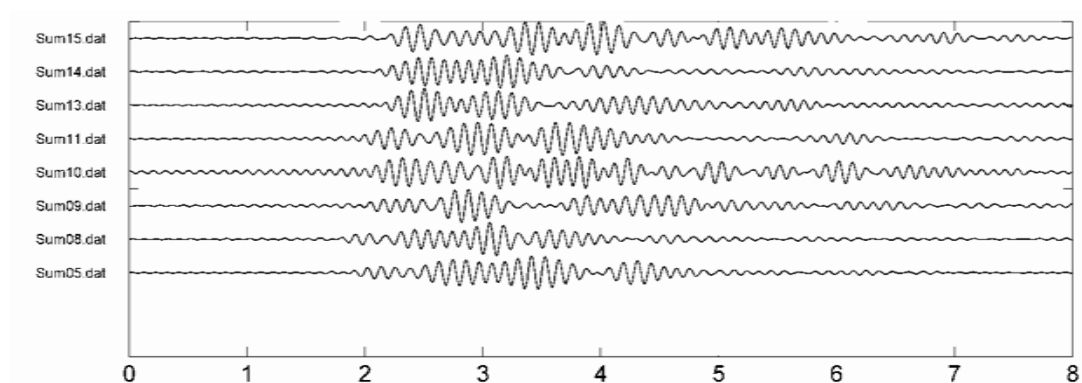


Рис. 1. Мантуриха, 9 сентября 2009 г.

Фрактальное представление – спектрально-временные функции (СВФ) для вибрационных сейсмограмм рис. 1 представлены на рис. 2. С помощью СВФ легко выделить временные области для повышения точности работы апостериорного алгоритма.

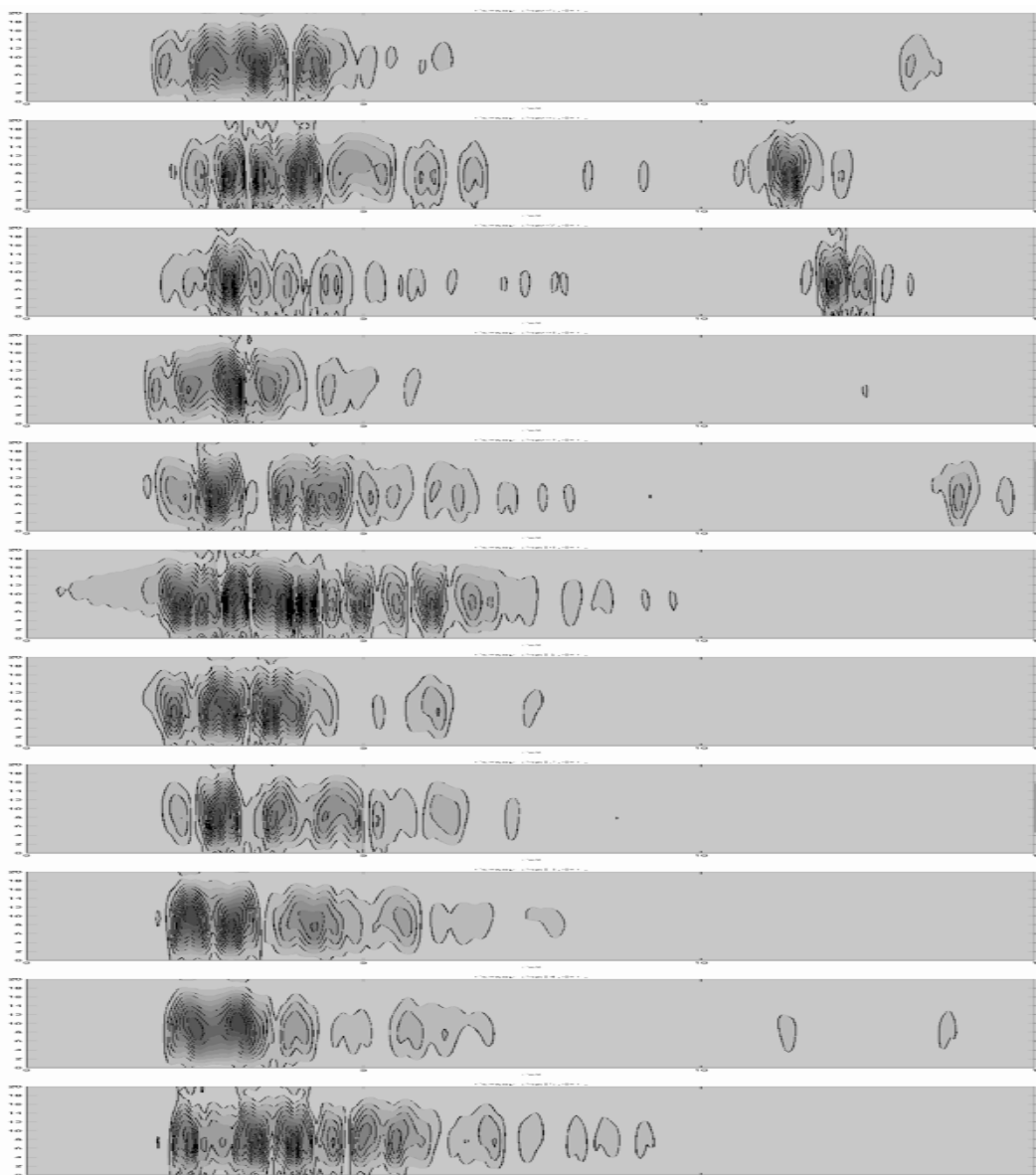


Рис. 2. Спектрально-временные функции, п. Мантуриха, 9 сентября 2009 г.

На рис. 3 представлены вибрационные сейсмограммы после фрактальной обработки. Времена вступления сейсмических волн на каждой из сейсмограмм, измеренные с помощью описанного алгоритма, помечено кружком.

Точность измерений времен автоматически алгоритмом составляет не хуже 5% по сравнению со временами, вычисленными оператором вручную.

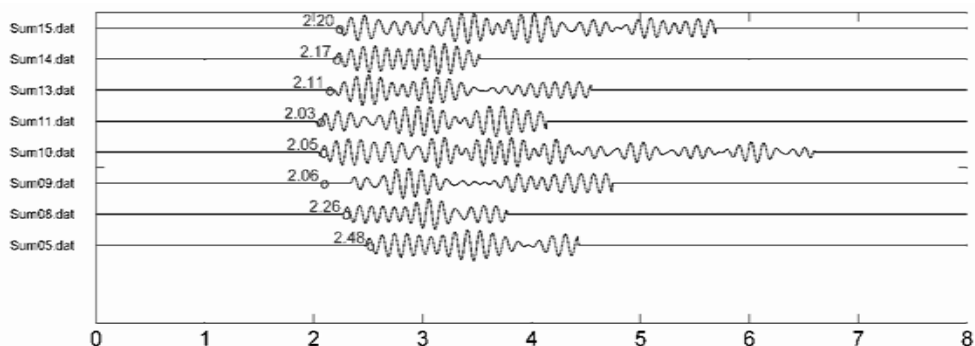


Рис. 3. Времена вступления сейсмических волн

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирована точность работы предложенного алгоритма по отношению к экспериментальным данным, полученным на оз.Байкал, п.Мантуриха. Дополнительным вопросом исследования явилось наложение начальных условий на работу алгоритма для повышения точности времен вступлений, которое осуществлялось с помощью фрактального представления сейсмограмм во временной и частотной областях с наибольшим сосредоточением энергии сейсмических волн. Показано, что предложенный способ обработки сейсмических сигналов позволяет автоматически вычислить времена с точностью 3-5 %.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-07-00214-а, №08-07-10000к.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khairtdinov M.S., Omelchenko O.K., Sedukhina G.F., Woskoboynikova G.M. Numerical algorithms and results of experiments to determine the parameters of the borehole bottom and medium // Bulletin of Novosibirsk, Mathematical Modeling in Geophysics, Issue 10, 2005 - pp 19-35.
2. Воскобойникова Г.М., Седухина Г.Ф., Хайретдинов М.С. Анализ структурных изменений сейсмических волновых полей в трещиноватых и флюидонасыщенных средах // Вестник НЯЦ РК, Вып. 2, Боровое, – сс. 99-105.
3. Хайретдинов М.С., Клименко С.М. Автоматизированная сейсмолокация с помощью малой приемной группы // Динамика сплошной среды, вып.123, Акустика неоднородных сред. - С.127-133.
4. Woskoboynikova G.M. Detection and measurement of quasi-periodic seismic waves parameters. // The Proceedings of 8th Korea-Russia Int. Symposium (KORUS-2004), v.1, 2004, pp.184-187.

УДК 528:48

В.Д. Астраханцев

СГУПС, Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ В СЖАТЫЕ СРОКИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МАРОК

Приводится методика проведения экстренных исследований осадок крупного сооружения геодезическими методами в условиях нарастающей угрозы его разрушения.

V.D. Astrahancev

STU, Novosibirsk

RAPID DEFORMATION DYNAMICS OF CONSTRUCTION DETERMINATION BY GEOMETRICAL LEVELING WITHOUT SETTLEMENT MARKS

The article is about the method of emergency analysis of a large construction settlement by geodetic techniques under an increasing threat of its collapse.

В одном из научных центров был построен новый корпус. А затем возникла идея построить переход, чтобы соединить этот корпус с уже существующим сооружением, которое до этого успешно функционировало более сорока лет. Ранее построенное сооружение по своей конфигурации в плане напоминает букву Н, одна из стен средней части которого была укреплена контрфорсами. Как раз со стороны этой стены для постройки перехода и был выкопан котлован размером 20 на 20 метров и глубиной 4 метра, при этом контрфорсы были уничтожены (рис. 1).

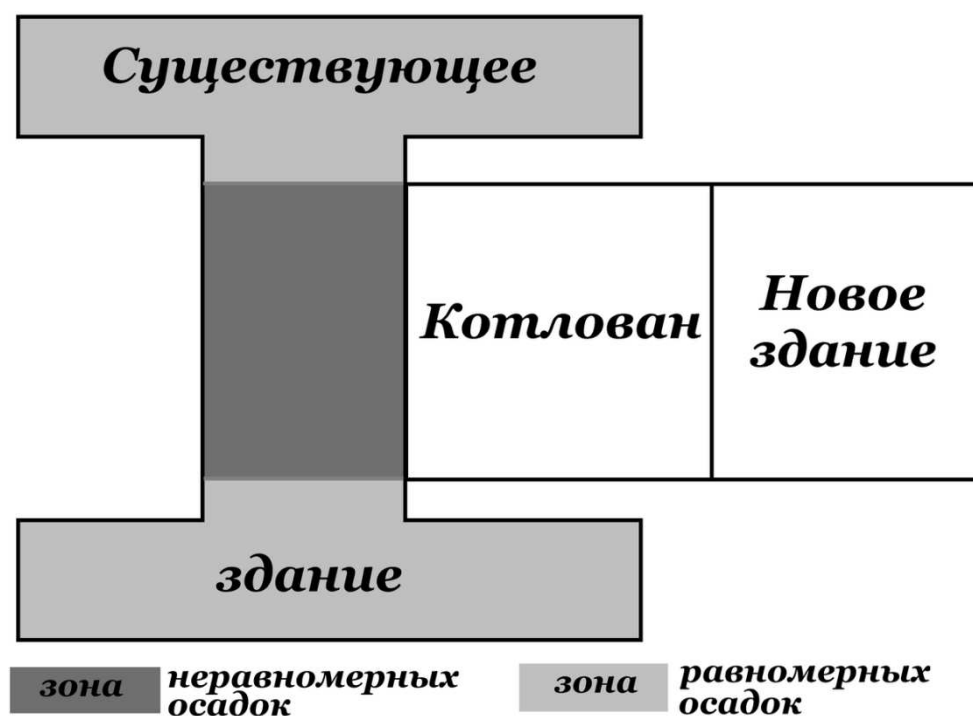


Рис. 1. Схема объекта

Реализация этого недостаточно проработанного в инженерном отношении варианта привела к негативным последствиям. Через месяц после того, как был выкопан котлован, в стене старого здания со стороны котлована появились трещины. Трещины могли возникнуть либо из-за крена стены после уничтожения контрфорсов, либо из-за осадки фундамента старого здания со стороны котлована. Возможно, деформации были обусловлены совместным влиянием этих двух факторов. Установленные маяки контроля трещин свидетельствовали о том, что процесс их образования стремительно идет по нарастающей. Необходимо было в самые сжатые сроки установить действительную причину возникновения деформаций сооружения (крен стены или осадка фундамента), поскольку, только зная истинную причину возникших деформаций, можно найти грамотное инженерное решение данной задачи, способное остановить этот негативный процесс. Неравномерные осадки являются самыми опасными. Именно они и приводят к появлению трещин и последующему разрушению сооружений.

Определение величины крена было выполнено за 1 день методом лазерного сканирования. Максимальное значение крена по всей высоте стены со стороны котлована составило 6 см на 25 м высоты здания в сторону котлована.

Наблюдения за осадками старого корпуса на протяжении 40 лет его существования никогда не выполнялись и поэтому никаких осадочных марок и реперов на данном объекте не было. В связи с этими обстоятельствами использование известного метода определения осадок по разностям наблюдений отметок между циклами [1] было невозможно.

С целью оценки технического состояния сооружения был выполнен пассивный контроль геометрических параметров здания [2]. Для оперативного

определения величин осадок было принято решение выполнить вертикальную исполнительную съёмку цокольного этажа здания геометрическим нивелированием. Измерения выполнялись нивелиром фирмы «CARL ZEIS JENA» Konі 007. По центральной продольной оси цокольного этажа был разбит пикетаж. Затем по пикетным точкам был проложен нивелирный ход, и отметки пикетов были определены в условной системе высот. Далее, через горизонт прибора были определены отметки пола по левой и правой сторонам здания. После этого с использованием полученных значений отметок были определены относительные осадки между правой и левой стенами сооружения. Измерения и вычисления осадок были выполнены в течение одного дня.

По результатам измерений на цокольном этаже было установлено:

1. Правая стена просела в сторону котлована.
2. Выявленные значения осадок являются неравномерными.
3. Максимальное значение осадки по разностям отметок между правой и левой стенами составило 95 мм.
4. Место с максимальной осадкой находится как раз посередине линии сопряжения между стеной здания и котлованом.
5. Основной причиной появления трещин является неравномерная осадка здания. Крен стены здания является следствием осадки.

На основании полученных результатов было принято решение:

- В первую очередь – немедленно - выполнить работы по укреплению фундамента со стороны котлована путем бурения наклонных и вертикальных скважин с последующим закачиванием в них бетона с армированием;
- Затем - укрепить стены металлическими стяжками по всей высоте пятиэтажного сооружения, что и было выполнено.

Как показали результаты последующих измерений, эти решения были верными и своевременными, они позволили остановить деформации сооружения.

С целью последующего контроля за динамикой осадок было решено осуществлять постоянные наблюдения за осадками до их затухания. Для этого были заложены осадочные марки по всему периметру здания. Измерения проводились от реперов, заложенных вне зоны деформаций, с периодичностью вначале через десять дней между циклами наблюдений, а затем интервал между циклами был увеличен до 20 дней. Укрепление дна котлована и армирование стены металлическими стяжками привели к положительным результатам. Трещины на стенах здания перестали увеличиваться. Осадка стены здания со стороны котлована стала затухать и прекратилась. Через 6 месяцев после начала наблюдений работы по контролю за осадками были прекращены. Максимальное значение осадки за полугодовой период наблюдений составило 9 мм.

В настоящее время строительные работы завершены и объект сдан в эксплуатацию.

Для предотвращения разрушения инженерных объектов в условиях ЧС и в других подобных случаях при остром дефиците времени необходимо применять

неординарные решения инженерно-геодезических задач, иногда противоречащие традиционным методам и не определенные нормативами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулешов Д.А., Стрельников Г.Е. Инженерная геодезия для строителей.- М.: Недра, 1990.- 256 с.
2. Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации.- Новосибирск: СГГА, 2004.- 375 с.

© В.Д. Астраханцев, 2010

УДК 550.344

Г.Ф. Седухина

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ПРОБЛЕМЫ ЛОКАЦИИ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ МАЛОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ

В статье рассматривается один из подходов к решению задачи локации источников сейсмического излучения малой группой сейсмоприемников. Рассмотрены вопросы оценивания погрешностей локации источников.

G.F. Sedukhina

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

pr. Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

PROBLEMS OF LOCATION OF SEISMIC WAVES BY A SMALL SEISMIC GROUP

An approach to solving the problem of the location of sources of seismic radiation is considered, which is based on the use of a small group of seismodetectors. The issues concerning the evaluation of the errors of location of the seismodetectors are analyzed.

В рамках работ по созданию геоинформационной технологии мониторинга природных и техногенных очаговых зон была исследована возможность локации источника сейсмических волн на ближних и дальних расстояниях с помощью малой сейсмической группы. Проблема локации разного типа сейсмических источников – землетрясений, ядерных и промышленных взрывов является актуальной в современной сейсмологии. В ее основе лежит решение обратной задачи восстановления параметров источника по данным регистрации сейсмических сигналов с помощью сейсмической группы [1]. При этом проблема понижения погрешности локации является одной из основных. Трудность ее решения обусловлена присутствием техногенных шумов, которые являются фоновыми по отношению к полезному событию, и азимутальной скоростной неоднородностью среды.

В решении задачи локации сейсмических источников можно выделить следующие этапы:

- Выделение и измерение времен вступления сейсмических волн Р и S;
- Определение азимутального направления на источник;
- Определение расстояния до источника.

Разработанный алгоритм позволяет выполнять локацию источника с использованием сейсмотрасс, полученных от линейки сейсмоприёмников,

расположенных в пространстве регулярно (на равном удалении друг от друга). При разработке алгоритма было принято допущение, что проходящий к датчикам волновой фронт является линейным.

Исследования проводились на данных, полученных от испытательных взрывов, так и от вибрационных источников типа СВ-10/100, которые использовались для просвечивания зоны грязевого вулкана Карабетова (Таманская грязевулканическая провинция).

В рамках исследований по каждому эксперименту были проведены вычисления времён прихода сейсмических Р и S-волн. Точность этих вычислений очень существенно влияет на погрешность локации источника. Были так же оценены сейсмические скорости для конкретной среды в районе проведения экспериментов.

Направление на источник сейсмических волн определяется методом вычисления КНД и построения диаграммы направленности.

Вычисляется зависимость коэффициента направленного действия сейсмической антенны из n равномерно расставленных датчиков от временной задержки прихода волны между двумя соседними датчиками Δt . Если датчики расположены в линию на равном расстоянии друг от друга, то задержка прихода волны на датчик 2 = Δt , задержка прихода волны на датчик 3 = $2 \cdot \Delta t$, задержка прихода волны на датчик 4 = $3 \cdot \Delta t$ и т.д.

Вычисление коэффициента направленного действия производится по формуле [2]

$$K.H.D. = E_{\text{сум}} / E_{\text{max}},$$

$$\text{где } E_{\text{сум}} = \sum_n (f_1(t_n) + f_2(t_n + \Delta t) + \dots + f_k(t_n + \Delta t \cdot (k - 1)))^2$$

$$E_{\text{max}} = 1/k^2 \cdot \sum_n f_n^2$$

Зависимость временного запаздывания Δt прихода сейсмической волны на соседний датчик от угла прихода выражается соотношением

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{V^*} = \frac{\Delta x \cdot \cos \alpha}{V}$$

При известных значениях скорости сейсмической волны V для данной местности и расстояния между датчиками Δx можно перевести диаграмму направленности в полярные координаты, в соответствии с выражением

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\Delta t \cdot V}{\Delta x} \right).$$

Для практического использования интерес, в первую очередь, представляют диаграммы направленности, построенные в полярных координатах, поскольку они характеризуют количественно пространственные селективные свойства антенн и точность определения азимута на источник.

Схема приведения экспериментов по отношению к испытательным взрывам представлена на рис. 1. Регистрация их осуществлялась двумя линейками сейсмоприёмников, расположенных крестом. Каждая линейка

содержала по 7 датчиков с азимутами расположения: линейка 1 – 238,7 град, линейка 2 – 331,16 град. Шаг расстановки датчиков составлял 34,5м. Были обработаны сеймотрассы от 21 взрыва.

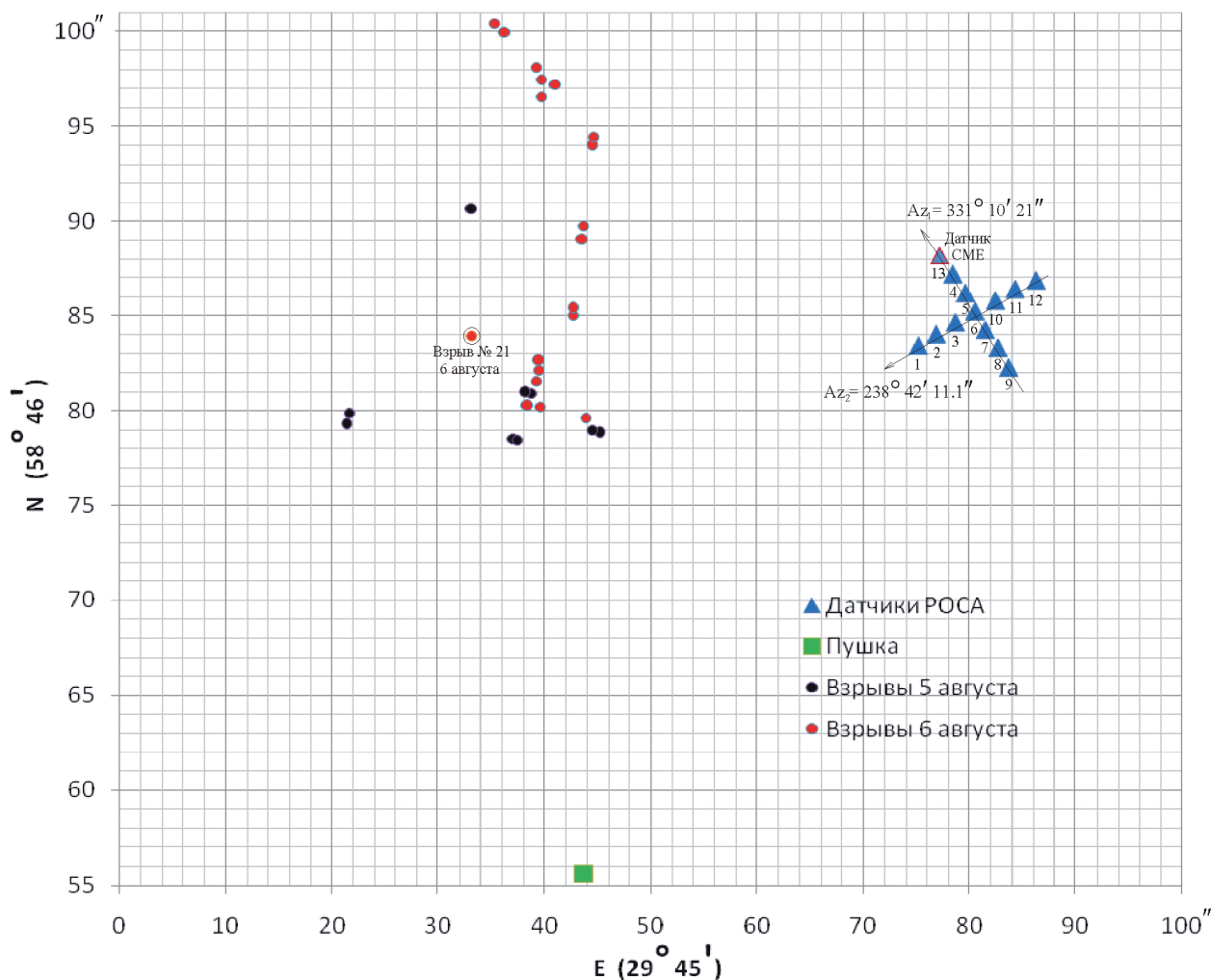


Рис. 1

Вид диаграмм направленности для одного из взрывов в качестве примера представлен на рис.2 и 3.

Результаты вычислений азимутов по всем взрывам приведены в табл. 1 и представлены погрешности определения азимутов «приемник-источник» описанным выше методом по сравнению с географическим азимутом, рассчитанным с помощью GPS. Предположительно, что искомая погрешность пропорциональна $1/(K.H.D_n)'$, где знаменатель является производной от функции направленности. Уменьшение погрешности может быть достигнуто за счет сужения лепестка диаграммы, а это, в свою очередь достигается за счет увеличения регистрирующей базы. По результатам таблицы значение средней погрешности для первой и второй линеек регистрирующего профиля составило 1,1 и 0,6 град. соответственно.

Для определения расстояния до источника применялся метод вычисления виртуальной скорости расхождения двух типов волн. Примеры сейсмограмм с характерной выраженностью этих волн приведена на рис. 4. Умножая эту

скорость расхождения на разность ранее вычисленных времён прихода Р и акустической волн, можем составить себе представление о расстоянии до источника.

По результатам вычислений значение средней погрешности для первой и второй линеек регистрирующего профиля составило 5,6 и 7,0 метров соответственно. Погрешности определения направления на взрыв составили 1.1 и 0.6 градуса соответственно.

06.08.08, линия 1, $t=0.5040-0.5140$ с, $V=2.0720$, 06.08.08, линия2, $t=0.4895-0.4995$ с, $V=2.0720$,

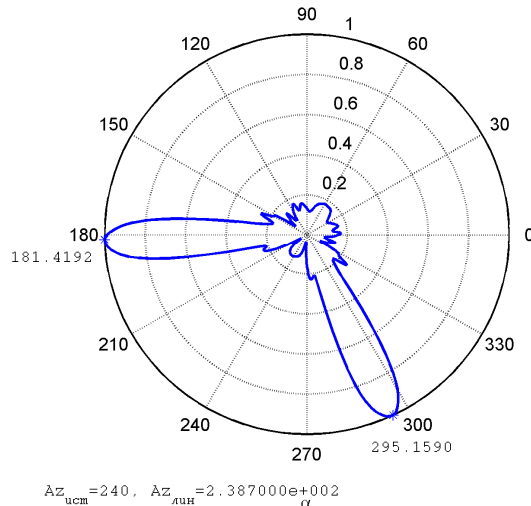


Рис. 2

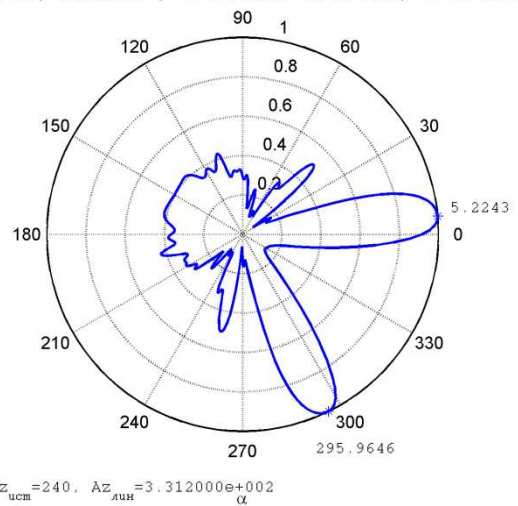


Рис. 3

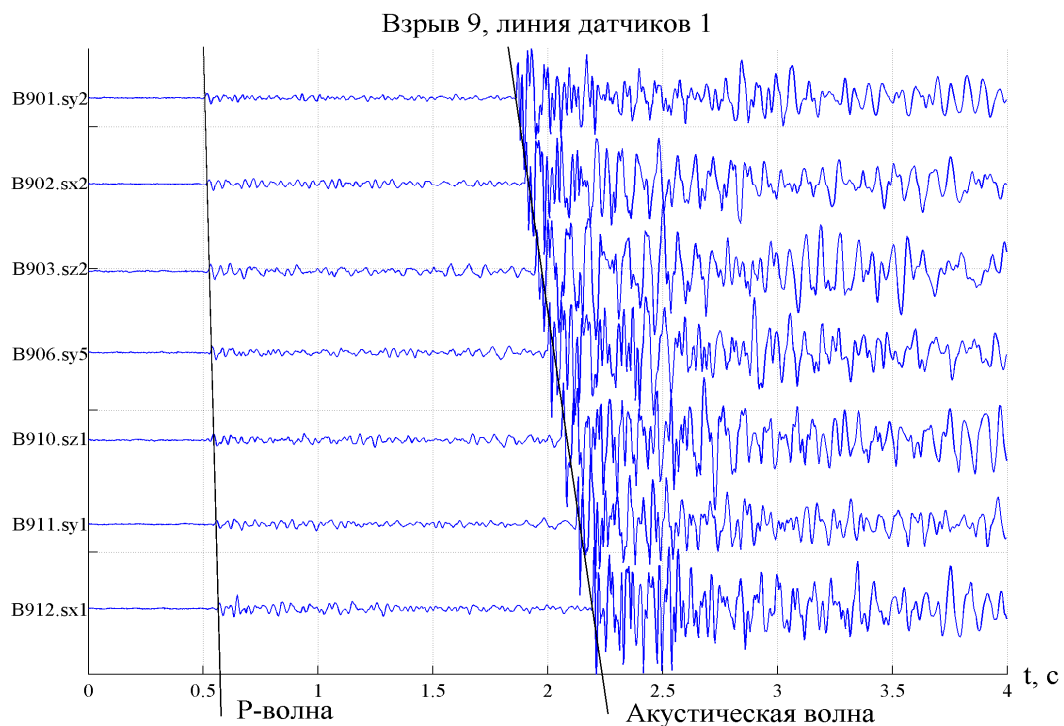


Рис. 4

Метод так же хорошо работает на больших расстояниях 300-600км [3] (Савушки, Дегелен), давая минимальную погрешность (табл. 2).

Таблица 2

	Источник, координаты источника	Пункт регистрации, координаты приёмника	Географиче- ский азимут приёмник- источник	Компон- ента	Расчётный азимут приёмник- источник	Ошиб. опреде- ления азимута	Расст. приёмник- источник, км
1	Быстровка, ЦВ- 100 54° 33,843' N 82° 39,521' E	Савушки 51° 22,4' N 82° 11,0' E	5°	x	5	0	355
				y	5	0	
				z	-18, 5, -28, - 90, 9	-	
2	Дегелен, взрыв 49° 46,092' N 77° 57,995' E	Быстровка 54° 33,843' N 82° 39,521' E	209°	x	209	0	620
				y	209	0	
				z	-90	-	

Таблица 3

Погрешность определения азимута источ. для вулк.Карабетова			
Точка	Реальн. азимут (град)	Азимут по КНД (град)	Погрешность (град)
T1	351	359	8
T2	0	1	1
T3	8	14	6
T4	341	335	6
T5	332	329	3

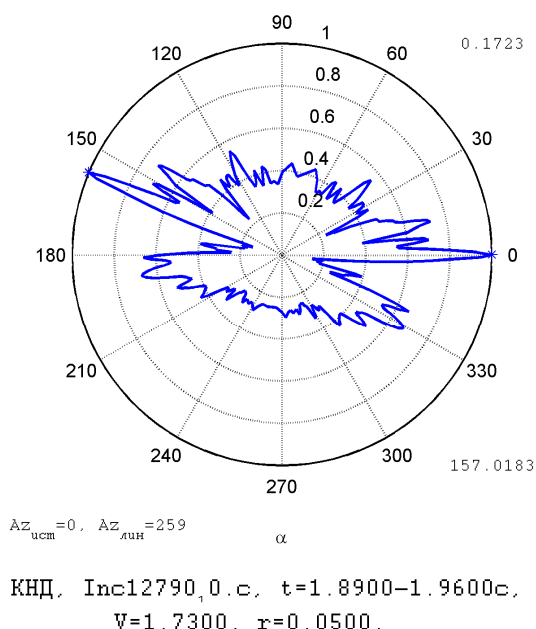


Рис. 5

В эксперименте на вулкане Карабетова основной задачей ставилось восстановление структуры неоднородной среды вулкана. Здесь успешное применение метода локации вибрационного источника явилось бы показателем возможности достоверного воспроизводства структуры вулкана.

Однако, применение метода для эксперимента, проведённого на Таманском полуострове, где между вибрационным источником и сейсмоприёмниками находилась неоднородная флюидонасыщенная среда вулкана Карабетова, дало худшие результаты. Погрешность по азимутальному направлению составила в среднем 4,8 град. Высокая погрешность в данном случае определяется высокой азимутальной скоростной неоднородностью среды вулкана, которую необходимо учитывать в расчетах. Так же в перспективе алгоритм должен подстраиваться под любую схему расстановки сейсмоприёмников, что позволит сделать метод более универсальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Соболев Г.А. Сейсмические свойства внутренней и внешней зоны очага землетрясения. Вулканология и сейсмология, №2, 2003, с.3-12.
2. Хайретдинов М.С., Клименко С.М. Программная система автоматизированной локации и визуализации сейсмических источников. // Вестник НЯЦ РК. – 2004. – Вып. 2(18). – С. 70-76.
3. Воскобойникова Г.М., Седухина Г.Ф., Хайретдинов М.С. Пространственная селекция очага подземного ядерного взрыва с использованием направленного излучения и приёма вибросейсмических колебаний // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 2(26). – С.149-154.

© □ Г.Ф. Седухина, 2010

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОПОЛЗНЯ

Выведена формула средней квадратической ошибки определения скорости вертикального перемещения оползневого репера. Приведен пример.

O.G. Pavlovskaya

SSGA, Novosibirsk

SLIDING RATE ACCURACY ESTIMATION

The formula for the root-mean-square error of the slide reference point vertical displacement has been derived. The example is given in the article.

Скорость перемещения контролируемых геодезическими методами осадочных марок, заложенных в сооружения, и оползневых реперов является важнейшим параметром, характеризующим уровень безопасности развития наблюдаемых процессов. При этом скорость представляет собой нормированную по времени величину, позволяющую сравнивать величины перемещений, возникающих на различных межцикловых интервалах времени. Актуальность оценки точности скорости перемещения обусловлена тем, что в ряде случаев значения скоростей могут быть соизмеримы с погрешностями её определения.

Межцикловые колебания высот исследуемого репера вычисляются по формуле:

$$x_i(\tau_j) = H_i(t_j) - H_i(t_{j-1}), \quad (1)$$

где t_{j-1} и t_j – текущие моменты $(j-1)$ -ого и j -ого циклов наблюдений соответственно;

$\tau_j = t_j - t_{j-1}$ – межцикловые интервалы наблюдений;

$H_i(t_{j-1})$, $H_i(t_j)$ – высоты оползневого i -того репера в моменты времени t_{j-1} и t_j соответственно.

Средняя квадратическая ошибка межциклового перемещения $x_i(\tau_j)$ с учетом высокой автокорреляционной зависимости ошибок имеет вид:

$$m_x(\tau_j) = \sqrt{m_{H'}^2 + m_{H''}^2 - 2m_{H'}m_{H''}r_H(t_{j-1}, t_j)}, \quad (2)$$

где $m_{H'}$, $m_{H''}$ – средние квадратические ошибки высот i -того репера в периоды времени t_{j-1} и t_j соответственно;

$r_H(t_{j-1}, t_j)$ – коэффициент автокорреляции, отражающий степень зависимости между значениями погрешностей вертикальных перемещений в циклах t_{j-1} и t_j .

Скорость смещения оползневой марки определяется по формуле:

$$v_i(\tau_j) = \frac{x_i(\tau_j)}{\tau_j}. \quad (3)$$

Продифференцируем функцию (3) и переходя к средним квадратическим ошибкам получаем:

$$\begin{aligned} m_v^2(\tau) &= \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \tau}\right)^2 = \left(\frac{1}{\tau}\right)^2 \cdot m_x^2 + \left(-\frac{x}{\tau^2}\right)^2 \cdot m_\tau^2 = \\ &= \frac{1}{\tau^2} \cdot m_x^2 + \frac{x^2}{\tau^4} \cdot m_\tau^2 = \frac{1}{\tau^4} \cdot (\tau^2 \cdot m_x^2 + x^2 \cdot m_\tau^2), \end{aligned}$$

или

$$m_v(\tau) = \frac{1}{\tau^2} \sqrt{\tau^2 \cdot m_x^2 + x^2 \cdot m_\tau^2}, \quad (4)$$

где m_x – средняя квадратическая ошибка межциклового перемещения, определяемая по формуле (2);

m_τ – средняя квадратическая ошибка значения τ определяемая продолжительностью наблюдения.

В монографии [2] представлена формула среднего квадратического отклонения скорости оползневого смещения, которая несколько отличается от выведенной выше в силу отдельных неточностей дифференцирования исходного выражения (3).

Для оценки точности вычисления скорости использованы материалы геодезических наблюдений за вертикальными перемещениями правобережного склона реки Ангара в зоне строительства Богучанской ГЭС [3]. На исследуемом склоне были закреплены пять реперов, продолжительность наблюдения которых равна одним суткам, т.е. $m_\tau = 1 \text{ сутки} = 0,033 \text{ месяца}$.

При исследовании использовались результаты межциклового уравнивания всей нивелирной сети контролируемого объекта. Уравнивание выполнялось в соответствии с [1], его результаты представлены в каждом цикле значениями высот реперов $H_i(t_j)$ с их средними квадратическими ошибками m_{H_i} .

Коэффициент автокорреляции $r_H(t_{j-1}, t_j)$ для вычисления средней квадратической ошибки межциклового перемещения $x_i(\tau_j)$ оползневого репера считался равным 0,9.

В качестве примера ниже приведены результаты наблюдения за вертикальными перемещениями оползневого репера 8025 (см. табл. 1).

Таблица 1

цикл	H (м)	m_H (мм)	τ (мес)	$x(\tau)$ (мм) □	m_x (мм) □	V (мм/мес)	m_V (мм/мес)
13	157,026	2,000	2,40	-3,00	1,483	-1,250	0,618
14	157,023	3,000					
15	157,028	1,000	3,00	5,00	2,145	1,667	0,715
16	157,020	2,000	6,60	-8,00	1,183	-1,212	0,179
17	157,036	2,000	6,36	16,00	0,894	2,516	0,141
18	157,010	4,000	3,24	-26,00	2,366	-8,024	0,735
19	157,015	2,000	6,60	5,00	2,366	0,758	0,359
20	156,991	2,000	3,00	-24,00	0,894	-8,000	0,311
21	157,007	2,000	6,00	16,00	0,894	2,667	0,150
22	156,992	3,000	4,20	-15,00	1,483	-3,572	0,354
23	157,010	2,000	3,00	18,00	1,483	6,000	0,499

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, Е.А. Рекуррентный алгоритм уравниваний в задачах анализа устойчивости геодезической основы / Е.А. Васильев // Геодезия и фотограмметрия в горном деле. – Свердловск: СГИ, 1985. – С. 3-8.
2. Григоренко, А.Г. Измерение смещений оползней / А.Г. Григоренко. – М.: Недра, 1988. – 144 с.
3. Гуляев, Ю.П., Павлов, А.П. Геодезические исследования техногенной геодинамики на строящейся Богучанской ГЭС / Ю.П. Гуляев, А.П. Павлов // Гидротехническое строительство. – 1993. – № 9. – С. 8-11.

© О.Г. Павловская, 2010

УДК 622.2:528.061.4

Б.Т. Мазуров, О.И. Некрасова

СГГА, Новосибирск

АЛГОРИТМ АППРОКСИМАЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ КОНУСООБРАЗНЫХ ФОРМ ЗЕМНОГО РЕЛЬЕФА

Конус является достаточно типичной формой рельефа в естественной и техногенной среде. Конусообразные рудные выработки, отвалы пород, вулканы оказывают значимое влияние на локальное поле силы тяжести. Выражение гравитационного потенциала конкретных тел в элементарном виде или через хорошо известные функции имеет определенные трудности. При решении прямых и обратных задач физической геодезии предпочтительнее использовать аппроксимационные модели. Здесь рассматривается алгоритм аппроксимации гравитационного влияния конусообразных форм рельефа. Конус разбивается на конечные элементы – кольцевые секторы. Находятся координаты центра масс каждого конечного элемента, который заменяется точечной массой с этими координатами с величиной, равной массе исходного конечного элемента. Это позволяет вычислить потенциал от влияния конуса в любой точке пространства, как сумму потенциалов влияния точечных масс.

B.T. Mazurov, O.I. Nekrasova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ALGORITHM OF APPROXIMATION OF GRAVITY INFLUENCE OF CONE-SHAPED FORMS OF EARTHLY RELIEF

A cone is a quite typiform of the relief in natural and technogenic environment. Cone-shaped ore workings, heap of rocks, and volcanos influence significantly on the local field of gravity. Expression of gravity potential of concrete bodies in an elementary way or in terms of well known functions is complicated. It is better to use an approximate models to solve direct and inverse problems of physical geodesy. Here we have an approximation algorithm of gravity influence of cone-shaped forms of relief. A cone is divided into finite elements - circular sectors. There are coordinates of the mass centre of every finite element which is replaced by point mass with these coordinates with value, which is equal to the mass of initial finite element. It allows to calculate potential of the influence of cone in any point of space, as the sum of potentials of influence of the point masses.

В естественной и техногенной среде конус является достаточно типичной формой рельефа. Конусообразными являются вулканы, отдельные составляющие горных хребтов. В относительно короткое время (годы, месяцы)

вследствие выемки и первичной переработки руды образуются конусообразные карьеры, отвалы. В этом случае возникают ситуации ощутимого изменения локального поля силы тяжести в относительно короткие периоды времени [1].

Выражение гравитационного или электростатического потенциала конкретных тел в элементарном виде или через хорошо известные функции имеет определенные трудности. Есть частные решения для фигур равновесия небесных тел [2], для прямоугольной призмы бесконечного простираения [3], для прямоугольного параллелепипеда и вертикального цилиндра для точки на его оси [4]. В работе [5] предлагаются формулы вычисления гравитационного потенциала однородного эллиптического конуса через однократные интегралы. В случае кругового конуса они сводятся к элементарным функциям, но имеют практическое приложение для пространства вблизи вершины конуса.

При решении прямых и обратных задач физической геодезии предпочтительнее использовать аппроксимационные модели. Самой удобной для вычислителя моделью аппроксимации гравитационного влияния конуса является точка (сфера, шар, маскон)/ Шаровая модель была использована, например, при аппроксимации гравитационного влияния конуса вулкана в работах [6-9]. В работе [10] представлена пятиточечная модель, причем для вычисления координат центров тяжести пяти равнообъемных масс, аппроксимирующих гравитационное влияние усеченного конуса, аналитически выведены строгие математические формулы. В работах [11, 12] приведены результаты вычислительного эксперимента по оценке степени влияния конусообразного тела на результаты геодезических измерений.

Здесь описан алгоритм, позволяющий аппроксимировать гравитационное влияние конуса, как сумму влияний конечных элементов – кольцевых секторов.

Дано:

Круговой конус с радиусом основания R , высотой H (рисунок 1), плотность пород δ .

Найти:

Гравитационный потенциал $T_{\text{конуса}}^C$, вызываемый этим конусом в любой точке C окружающего пространства.

Алгоритм решения:

1. Делим конус $K-1$ горизонтальными плоскостями на K объемных тел: $K-1$ усеченных конуса и один (верхний) неусеченный. Радиусы оснований этих тел, начиная с нижнего $r_1, r_2, \dots, r_K$. Высота каждого конуса $h=H/K$. На рис. 1 показано вертикальное сечение этого деления для $K=10$.

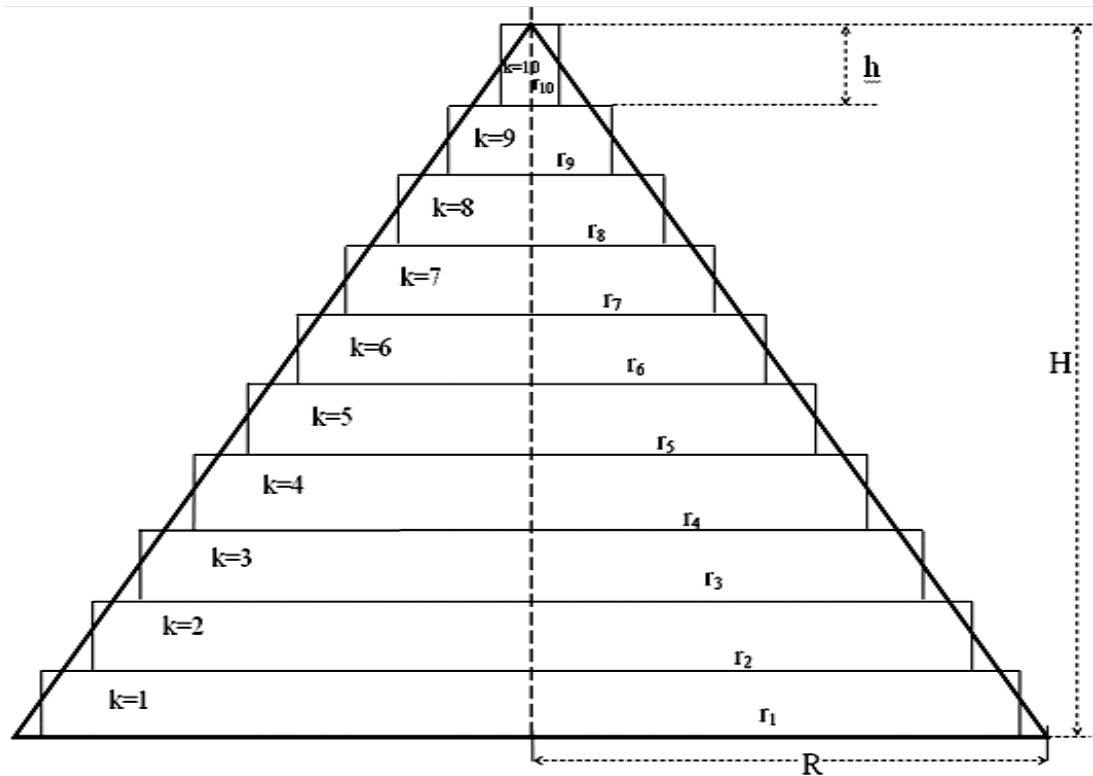


Рис. 1. Вертикальное сечение деления конуса для K=10

2. Заменяем каждый k-й конусообразный слой с радиусом нижнего основания r_i и радиусом верхнего основания r_{i+1} на его аппроксимирующий k-й цилиндрический слой той же высоты h под условием равенства их объемов:

$$V_{\text{конуса}}(r_i; r_{i+1}) = V_{\text{цилиндра}}(r_k);$$

или

$$\frac{1}{3}\pi h(r_i^2 + r_i r_{i+1} + r_{i+1}^2) = \pi h r_k.$$

Таким образом, радиус основания аппроксимирующего цилиндра может быть вычислен

$$r_k = \frac{1}{3}(r_i^2 + r_i r_{i+1} + r_{i+1}^2).$$

3. Делим каждый цилиндрический слой на J_k concentric rings with radii through equal distance $dr = r_k / J_k$. Each ring we divide into N ring sectors (curved parallelepipeds) through angle $\alpha = 360 / N$. On fig. 2 is shown an example of such finite element division for $k=1, 2, \dots, 10$; $J_k = 2 \cdot (11 - k)$; $\alpha = 6^\circ$.

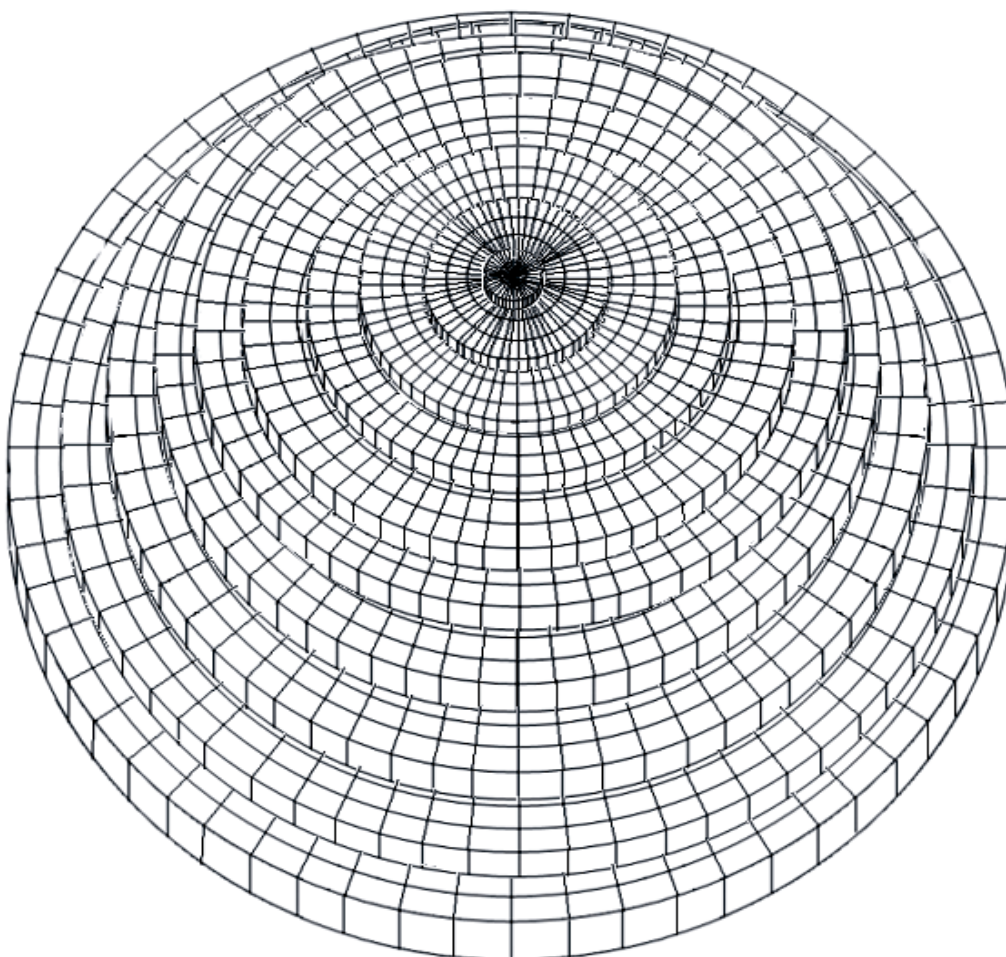


Рис. 2. Конечноэлементное разбиение конуса

4. Для того, чтобы заменить каждый объемный конечный элемент на точечную массу, найдем координаты его центра масс. Нахождение координаты z (по вертикали) не представляет трудностей. Очевидно, что для любого кольцевого сектора k -го цилиндрического слоя:

$$z_k = \frac{h}{2} + h(k - 1).$$

Координаты x , y будем находить, используя известные в теории сопротивления материалов формулы для кольцевого сектора и его свойство симметрии. Для сектора угловой величины α , внутренним радиусом $r_{k,j}$, внешним радиусом $r_{k,j+1}$ может быть найдено расстояние $rm_{k,(j;j+1)}$ от центра образующего кольца O до центра масс кольцевого сектора m (рис. 3).

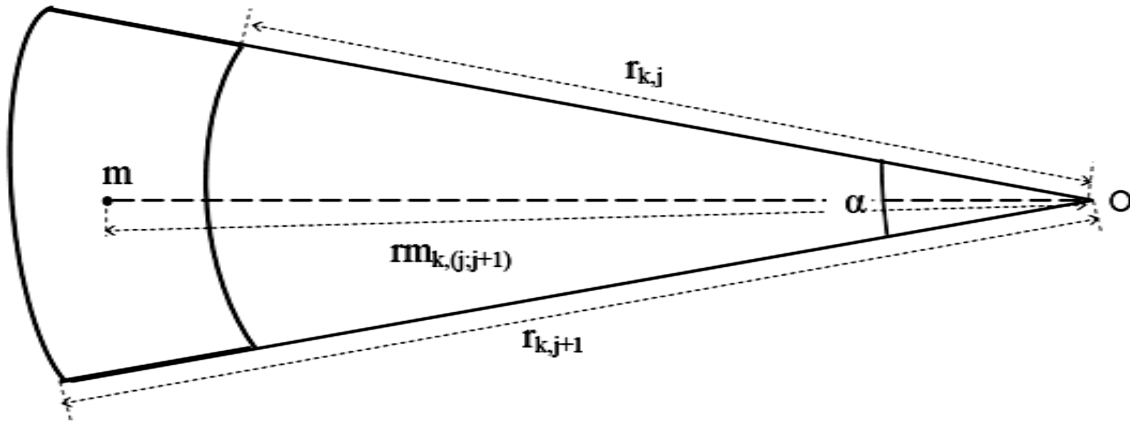


Рис. 3. Нахождение центра масс кольцевого сектора

Для угла α , выраженного в радианной мере

$$rm_{k,(j;j+1)} = \frac{4}{3} \frac{\sin(\alpha/2)}{\alpha} \frac{(r_{k,j+1}^3 - r_{k,j}^3)}{(r_{k,j+1}^2 - r_{k,j}^2)}.$$

5. Зная радиус $rm_{k,(j;j+1)}$, можно вычислить координаты x , y центра масс каждого конечного элемента:

$$x_{k,(j;j+1),n} = rm_{k,(j;j+1)} \cos \beta_n,$$

$$y_{k,(j;j+1),n} = rm_{k,(j;j+1)} \sin \beta_n,$$

где $\beta_n = \alpha/2 + \alpha(n-1)$; $n=1,2,\dots,N$.

6. Объем каждого кольцевого сектора вычисляем

$$V_{k,(j;j+1)} = \alpha(r_{k,j+1}^2 - r_{k,j}^2)h,$$

и, с учетом плотности пород δ , вычисляем массу сектора j -го кольца k -го слоя

$$m_{k,(j;j+1)} = V_{k,(j;j+1)}\delta.$$

Гравитационный потенциал в точке C окружающего пространства, вызываемый точечной массой величины $m_{k,(j;j+1)}$ с координатами $x_{k,(j;j+1),n}$,

$y_{k,(j;j+1),n}$, $z_k = h/2 + h(k-1)$ определяем как

$$T_{k,(j;j+1),n}^C = G \frac{m_{k,(j;j+1),n}}{r_{k,(j;j+1),n}^C}, \quad G - \text{гравитационная постоянная,}$$

$r_{k,(j;j+1),n}^C$ - расстояние от центра масс конечного элемента до точки C .

Общий гравитационный потенциал в точке C окружающего пространства, вызываемый конусом, вычисляем как сумму потенциалов точечных масс:

$$T_{\text{конуса}}^C = G \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \frac{m_{k,(j;j+1),n}}{r_{k,(j;j+1),n}^C}$$

Таким образом, здесь представлен алгоритм аппроксимации гравитационного влияния конуса, как типичной формы земного рельефа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров, Б.Т. Математическая обработка нивелирных и гравиметрических наблюдений в условиях извлечения и перемещения больших объемов руды и пород / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. - № 4. - С. 99 – 104.
2. Антонов, В.А. Введение в теорию ньютоновского потенциала / В.А. Антонов, Е.И. Тимошкова, К.В. Холшевников // М.: Наука, 1988.
3. Бровар, В.В. Теория фигуры Земли / В.В. Бровар, В.А. Магницкий, Б.Л. Шимбирев // М.: Геодезиздат, 1961.
4. Торге, В. Гравиметрия / В. Торге // Пер. с англ. – М., Мир, 1999. – 429 с.
5. Антонов, В.А. Аналитическое представление потенциала однородного эллиптического конуса / В.А. Антонов, Баранов А.С. // «Журнал технической физики», - 2001, т. 71, вып. 10, с. 8 – 12.
6. Мазуров, Б.Т. Модель вертикальных движений земной поверхности и изменений гравитационного поля в районе действующего вулкана [Текст] / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, - 2007. - № 2. С. 97 – 106.
7. Мазуров, Б.Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 3. С. 93 – 101.
8. Мазуров, Б.Т. Совместная математическая обработка разнородных комплексных геодезических и геофизических наблюдений за движениями земной поверхности и изменениями аномальных масс / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 6. С. 30 – 38.
9. Мазуров, Б.Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния вулканической области по результатам математической обработки разнородных геодезических и геофизических наблюдений / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 7. С. 58 – 62.
10. Мазуров, Б.Т. Пятиточечная модель гравитирующего усеченного конуса / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2008. – № 5. С. 58 – 62.
11. Мазуров, Б.Т. Некоторые модели аппроксимации гравитирующего влияния усеченного конуса. Сб. материалов V Международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2009», т. 1, ч. 2. – Новосибирск, 2009. – С. 35-39.
12. Мазуров, Б.Т. Влияние перемещаемых гравитирующих масс на результаты наблюдений и их интерпретацию, Междунар.конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», ИГД СО РАН, – Новосибирск, 2009.

УДК 622.2:528.061.4

Т.В. Лобанова

ВостНИГРИ, Новокузнецк

Б.Т. Мазуров, Е.А. Ибатуллина, И.Е. Дорогова, К.В. Дербенев

СГГА, Новосибирск

АНИМАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ НА ТЕХНОГЕННОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

На основе результатов десяти циклов наблюдений горизонтальных смещений GPS-пунктов на техногенном геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения создано анимационное представление основных геомеханических данных, характеризующих деформирование земной поверхности в районе объектов промплощадки, охраняемых от влияния подземных горных разработок. Такая визуализация данных позволила преодолеть различие пространственных и временных масштабов изучаемых геодинамических явлений, выявить новые интересные стороны сложного геодинамического явления, выполнить более точный и комплексный его анализ и моделирование.

T.V. Lobanova

VostNIGRI, 19 Klimasenko Ul., Novokuzneck, 654038, Russian Federation

B.T. Mazurov, E.A. Ibatullina, I.E. Dorogova, K.V. Derbenev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ANIMATION OF MOVEMENT AND DEFORMATIONS ON A TECHNOGENIC GEODYNAMIC GROUND

Initial was GPS data on the technogenic geodynamic ground of Tashtagol'skogo of iron-ore deposit. The presence of results of ten cycles allowed to create animation presentation of basic geodata, characterizing deformations of earthly surface on the technogenic geodynamic ground of Tashtagol'skogo of iron-ore deposit. It allows to notice the new interesting sides of the difficult geodynamic phenomenon, execute his more exact and complex analysis and design.

Одним из важнейших элементов информационной технологии геодинамического мониторинга и математического моделирования природно-технических систем (ПТС) является визуализация параметров и полей, характеризующих ПТС. В работе [1] понятие визуализации увязано с возможностью сделать видимым для человека какие-либо невидимые данные. В работе [2] дано определение: «Визуализация (visualization, display, viewing) – преобразование невидимых человеческому глазу физических параметров или

кодов объекта в удобное для зрительного восприятия черно-белое или цветное изображение». В аспекте решения некоторых задач геодинамики актуальна визуализация разнородных научных данных о ПТС: рельеф местности, геологическая структура, сейсмические данные, данные дистанционного зондирования, расположение объектов, характеристики объектов, экспертные оценки, численное моделирование, динамика во времени.

Примеры визуализации движений и полей, характеризующих напряженно-деформированное состояние земной коры по результатам геодезических наблюдений даны в [3, 4]. В [3] компьютерная визуализация полей деформаций позволила определить место эпицентра Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г.). В работе [4] выполнен анализ полей и моделей постсейсмических смещений Горного Алтая. Основой анализа являлись векторы смещений GPS-пунктов. Были показаны некоторые элементы технологии компьютерной визуализации, позволяющей более наглядно представить поля смещений и деформаций. А это, в свою очередь, позволяет заметить новые интересные стороны сложного геодинимического явления, выполнить более точный и комплексный его анализ и моделирование.

Поле смещений однозначно определяется двумя компонентами вектора смещений δ в каждой точке:

$$\delta = \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{Bmatrix}. \quad (1)$$

Деформация связана со смещениями соотношением:

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \delta_x}{\partial x} \\ \frac{\partial \delta_y}{\partial y} \\ \frac{\partial \delta_x}{\partial y} + \frac{\partial \delta_y}{\partial x} \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

Используя метод конечных элементов, величины (1) и (2) могут быть рассчитаны для любой точки района. Основные визуализируемые геомеханические данные: поле векторов горизонтальных смещений (1), изменение формы и деформирование границы конечно-элементной области, поля тензоров деформаций и их компонентов (2), поле абсолютных значений векторов смещений $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$.

Использование спутниковых технологий позволяет уплотнить во времени наблюдение геодинимических объектов и процессов, ПТС, приближаясь даже к мониторингу и параллельно идущей при этом математической обработке в режиме realtime. В нашем случае исходными являлись дискретные во времени и в пространстве данные о горизонтальных смещениях GPS-пунктов на техногенном геодинимическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения. GPS-пункты расположены в районах основных объектов

промплощадки, охраняемых от влияния подземных горных разработок. В обработку взяты данные о смещениях 11-ти пунктов в 10-ти циклах наблюдений с 14 июня 2005 года по 19 сентября 2008 года [5]. Наблюдения выполнялись сотрудниками лаборатории сдвижения горных пород Восточного научно-исследовательского горнорудного института (г. Новокузнецк) и лаборатории горной информатики Института горного дела СО РАН (г. Новосибирск).

Наличие десяти циклов наблюдений горизонтальных смещений GPS-пунктов позволило создать анимационное представление основных геомеханических данных, характеризующих деформирование земной поверхности в районе охраняемых объектов на техногенном геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения. На экране компьютера в течение нескольких секунд возникает представление явлений, которые реально происходят на протяжении нескольких месяцев или лет на территориях размерами до сотен и даже тысяч километров. Изменение в пространстве и во времени векторного изображения величин сдвижений, моделируемого на основе фактических данных, отражает направление развития геодинамических процессов, позволяет визуально оценить влияние развивающихся во времени процессов сдвижения земной поверхности на деформирование расположенных на ней зданий и сооружений, установить причины нарушения охраняемых объектов.

Таким образом, преодолевается различие не только пространственных масштабов изучаемых геодинамических явлений, но и временных. А это позволяет заметить новые интересные стороны сложного геодинамического явления, выполнить более точный и комплексный его анализ и моделирование. Однако при этом необходимо обеспечить достоверность визуализации и анимации геомеханических данных, что обеспечивается правильным выбором граничных условий и расчетной области при моделировании процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А.М. Свойства визуализации как способа моделирования геоизображений. – Геодезия и картография. – 2005. – №12.
2. Берлянт А.М. Картографический словарь. – М.: Науч. мир, 2005.
3. Мазуров, Б.Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48 – 50.
4. Мазуров, Б.Т. Компьютерная визуализация полей постсейсмических смещений и деформаций / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 51 – 53.
5. Лобанова, Т.В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном регионе: автореф. дисс. ... доктора техн. наук / Т.В. Лобанова. – Новосибирск, 2009. – 37 с.

© Т.В. Лобанова, Б.Т. Мазуров, Е.А. Ибатуллина,
И.Е. Дорогова, К.В. Дербенев, 2010

УДК 528.2:519.654:519.2

А.Г. Барлиани

СГГА, Новосибирск

КОРРЕЛАТНАЯ ВЕРСИЯ УРАВНИВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО МЕТОДУ ПСЕВДОНОРМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

В данной статье рассмотрено непосредственное решение условных уравнений связи и получены формулы, как для уравнивания, так и для оценки точности результатов обработки.

A.G. Barliani

SSGA, Novosibirsk

CORRELATION-ADJUSTMENT AND ACCURACY RANKING OF GEODETIC NETWORKS BY PSEUDONORMAL SOLUTION

The direct solution of conditional coupling equations is considered. The formulas are derived both for adjustment and the results accuracy ranking.

Коррелатным называют способ уравнивания по методу наименьших квадратов (МНК), при котором в качестве исходной системы берутся условные уравнения связи, вытекающие из геометрии сети. При этом условные уравнения связи в матричной форме имеют вид:

$$BV + W = 0. \quad (1)$$

Хорошо известно, что по МНК от условных уравнений связи (1) переходят к нормальным уравнениям коррелат. Решая их, получают коррелаты и далее вычисляют вектор поправок V к измеренным величинам.

Предлагается иной подход, основанный на методе псевдонормального решения. Псевдонормальное решение уравнений (1) при случае неравноточных измерений имеет вид:

$$V = -P^{-0,5}\bar{B}^+W, \quad (2)$$

где P - диагональная матрица результатов измерений;

$\bar{B}^+$ - псевдообратная матрица к матрице

$$\bar{B} = P^{-0,5}B. \quad (3)$$

В данном случае задача состоит в определении псевдообратной матрицы $\bar{B}^+$. Применим рекурсивный алгоритм вычисления этой матрицы [1]. Для этого матрицу исходной системы уравнений связи запишем в виде:

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{b}_1 \\ \bar{b}_2 \\ \vdots \\ \bar{b}_r \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\bar{b}_i$ - вектор-строка и имеет вид:

$$\bar{b}_i = [\bar{B}_{i1}, \bar{B}_{i2}, \dots, \bar{B}_{in}].$$

Приведем рекурсивный алгоритм вычисления псевдообратной матрицы в случае, когда при каждой рекурсии последовательно присоединяются строки $\bar{b}_i$, который имеет вид:

$$\bar{B}_i^+ = \begin{bmatrix} \bar{B}_{i-1}^+ (E - \beta_i \bar{b}_i) & \beta_i \end{bmatrix}. \quad (5)$$

При уравнивании любых геодезических построений (как свободных, так и несвободных) матрица условных уравнений связи $\bar{B}$ имеет полный ранг, равный r . Поэтому в выражении (5) после каждой рекурсии вектор-столбец β_i всегда будет определяться по формуле [1]:

$$\beta_i = \frac{C_i^T}{\|C_i\|^2}, \quad (6)$$

где $\|C_i\|^2$ - квадрат евклидовой нормы;

C_i - вектор-строка, получаемый по выражению:

$$C_i = \bar{b}_i - d_i \bar{B}_{i-1}. \quad (7)$$

Здесь вектор-столбец d_i определяется по формуле:

$$d_i = \bar{b}_i \bar{B}_{i-1}^+. \quad (8)$$

Необходимо заметить, что для первой рекурсии в выражении (7) матрица $\bar{B}_{i-1}$ будет равняться первой строке матрицы (4), т.е.

$$\bar{B}_0 = \bar{b}_1.$$

После каждой рекурсии размерность матрицы $\bar{B}_{i-1}$ будет расширяться на один вектор-строку. Например, для второй рекурсии она будет соответствовать матрице

$$\bar{B}_1 = \begin{bmatrix} \bar{b}_1 \\ \bar{b}_2 \end{bmatrix},$$

и т.д.

Очевидно, что для начала процесса вычисления псевдообратной матрицы необходимо иметь начальный псевдообратный вектор-столбец, который рассчитывается известным образом [1]:

$$\bar{B}_0^+ = \frac{\bar{b}_1^T}{\|\bar{b}_1\|^2}. \quad (9)$$

Далее, используя выражение (5)-(8), постепенно расширяя размерность матрицы $\bar{B}_i^+$ и после $(r - 1)$ -кратного обращения к этим выражениям, получим псевдообратную матрицу

$$\bar{B}_r^+ = \bar{B}^+.$$

Таким образом, решается задача уравнивания методом псевдонормального решения.

Перейдем к оценке точности результатов уравнивания. На первом этапе рассмотрим получение ковариационной матрицы уравненного вектора поправок. С этой целью к выражению (2) применим известную теорему обобщенной оценки точности Фишера [2]:

$$K_V = P^{-0,5} \bar{B}^+ K_W \bar{B}^{+T} P^{-0,5}, \quad (10)$$

где K_W - ковариационная матрица вектора невязок, которая при неравноточном случае измеренных величин равна

$$K_W = \mu^2 \bar{B} \bar{B}^T. \quad (11)$$

Здесь μ - средняя квадратическая ошибка единицы веса.

С учетом выражения (11) формулу (10) перепишем в виде:

$$K_V = \mu^2 P^{-0,5} \bar{B}^+ \bar{B} \bar{B}^T \bar{B}^{+T} P^{-0,5}.$$

Из математики известно, что произведение двух матриц $\bar{B}^+ \bar{B}$ является матрицей идемпотентной. Поэтому

$$\bar{B}^+ \bar{B} \bar{B}^T \bar{B} = \bar{B}^+ \bar{B}.$$

Тогда получим

$$K_V = \mu^2 P^{-0,5} \bar{B}^+ \bar{B} P^{-0,5}. \quad (12)$$

Так как в выражении (12) матрица $P^{-0,5}$ является диагональной, поэтому получим простые формулы для вычисления элементов ковариационной матрицы K_V .

Недиагональные элементы этой матрицы можно вычислить по формуле:

$$K_{V_{ij}} = \mu^2 \frac{\|\bar{b}_i^+ + \bar{b}_j^+\|^2}{\sqrt{P_i P_j}}. \quad (13)$$

Диагональные элементы при $i = j$ рассчитываются по выражению:

$$K_{V_{ii}} = \mu^2 \frac{\|\bar{b}_i^+ + \bar{b}_i^+\|^2}{P_i}. \quad (14)$$

Поступая аналогично, несложно получить ковариационную матрицу уравненного вектора измеренных величин, которая будет равняться

$$K_{\tilde{y}} = \mu^2 (P^{-1} - P^{-0,5} \bar{B}^+ \bar{B} P^{-0,5}). \quad (15)$$

После несложных преобразований получим формулы для вычисления элементов данной матрицы. При этом недиагональные элементы рассчитываются по формуле:

$$K_{\tilde{y}_{ij}} = -\mu^2 \frac{\|\bar{b}_i^+ \bar{b}_i^-\|^2}{\sqrt{P_i P_j}}. \quad (16)$$

Вычисление диагональных элементов ковариационной матрицы уравнированного вектора результатов измерений, можно выполнить по выражению

$$K_{\tilde{y}_{ii}} = \mu^2 \frac{1 - \|\bar{b}_i^+ \bar{b}_i^-\|^2}{P_i}. \quad (17)$$

Как известно, при уравнивании оценки точности геодезических сетей нет необходимости построения полной ковариационной матрицы, а ограничиваются только вычислениями средних квадратических ошибок, которые на основании выражения (17) можно получить по простой формуле:

$$m_{\tilde{y}_i} = \mu \sqrt{\frac{1 - \|\bar{b}_i^+ \bar{b}_i^-\|^2}{P_i}}. \quad (18)$$

Аналогичным образом получим ковариационную матрицу векторной функции, которая в данном случае запишется следующим образом:

$$K_F = \mu^2 F^T (P^{-1} - P^{-0,5} \bar{B}^+ \bar{B} P^{-0,5}) F = F^T K_{\tilde{y}} F. \quad (19)$$

В заключении отметим, что непосредственное решение условных уравнений связи на основании метода псевдонормального решения, по мнению автора, имеет преимущество перед классическим методом наименьших квадратов. Это выражается в том, что в предложенном алгоритме отпадает необходимость составления и решения нормальных уравнений коррелат. Так же для оценки точности результатов уравнивания получены простые формулы, которые упрощают данную задачу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барлиани, А.Г. Псевдорешение и метод наименьших квадратов: сб. науч. ст. по материалам V Международного конгресса «ГЕО-Сибирь-2009». - Новосибирск: СГГА, 2009.
2. Маркузе, Ю.И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей / Ю.И. Маркузе. - М.: Недра, 1982. - 191 с.