

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

ГЕО-СИБИРЬ-2008

Т. 1

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ.
СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

Ч. 1

Сборник материалов
IV Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2008

УДК 528.48:629.783
С 26

Ответственные за выпуск:

координаторы направлений «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»,
«Спутниковые навигационные системы»

Доктор технических наук, профессор, ректор Сибирской государственной геодезической
академии, г. Новосибирск

А.П. Карпик

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой метрологии Московского
государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва

Х.К. Ямбаев

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой картографии и геоинформатики
Сибирской государственной геодезической академии, г. Новосибирск

Д.В. Лисицкий

Кандидат технических наук, генеральный директор ФГУП «Сибгеоинформ», г. Новосибирск

В.Ф. Рожков

Доктор наук, профессор Университета прикладных наук Карлсруэ, Германия

Райнер Ягер

Доктор физико-математических наук, профессор, зам. губернатора Новосибирской области,
руководитель департамента науки, инноваций, информатизации и связи Новосибирской
области

Г.А. Сапожников

Кандидат технических наук, зам. руководителя Федерального агентства геодезии и
картографии (Роскартография), г. Москва

Г.Г. Побединский

С 26 ГЕО-Сибирь-2008. Т. 1. Ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография,
маркшейдерия. Спутниковые навигационные системы : сб. матер. IV Междунар.
научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008 г., Новосибирск. –
Новосибирск : СГГА, 2008. – 291 с.

ISBN 978-5-87693-273-0 (т. 1, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-271-6

В сборнике опубликованы материалы IV Международного научного
конгресса «ГЕО-Сибирь-2008» направлений «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия» (пленарного заседания, секции «Геодезическо-
маркшейдерское обеспечение городов, промышленных предприятий и
нефтегазодобывающих комплексов»), «Спутниковые навигационные системы».

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

УДК 528.48:629.783

ISBN 978-5-87693-273-0 (т. 1, ч. 1)
ISBN 978-5-87693-271-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Joël van Cranenbroeck. Инновация и опыт использования системы пространственного мониторинга мостов в реальном времени с использованием ГНСС.....	9
Joël van Cranenbroeck. Сети ГНСС в качестве базисной основы для создания цифровых городов.....	18
Карпик А.П., Афонин К.Ф., Телеганов Н.А., Шитиков П.К., Ветошкин Д.Н., Кужелев С.В., Тимонов В.А. Система региональных плоских прямоугольных координат Новосибирской области.....	26
Гуляев Ю.П. Прогнозирование как составляющая геодезического мониторинга природно-технических систем	37
Гуляев Ю.П., Максименко Л.А. Анализ развития процесса осадки высотного здания МГУ	41
Лисицкий Д.В., Комиссарова Е.В. Расширение языка картографического изображения в геоинформационном обеспечении территории с помощью мультимедийных методов и гиперфайлового принципа	49
Reiner Jäger, Simone Kälber. The new RTCM 3.1 Transformation messages – declaration, generation from reference transformations and implementation as a server-client-concept for GNSS services	56
Karl-Peter Traub. Metropolitan Information Systems: The application of GIS for foundation management in Hamburg.....	82
Антонович К.М., Каленицкий А.И., Карпик А.П., Клепиков А.Н. Рациональное высокоточное планово-высотное геодезическое обеспечение нефтегазовых территорий западной Сибири	92
Huaan Fan. Преобразования пространственных координат	98
Mehmet Zeki Coskun. Documentation and presentation of Historical Monuments by WEB-GIS	99
Ашраф Абдель Ванис Бешр. Исследование возможности применения метода линейного полиномиального уравнивания для мониторинга деформаций инженерных сооружений	108
Комиссаров А.В., Ашраф Абдель Ванис Бешр. Исследование точности определения деформаций сооружений при помощи электронного тахеометра и наземного лазерного сканера.....	115
Хорошилов В.С. Разработка структурно-функционального содержания и этапы реализации информационной экспертной системы для оптимального геодезического обеспечения инженерных объектов...	120
Вовк И.Г. Системный анализ и моделирование пространственно-временного состояния технических систем	127
Дударев В.И. Оценка качества аэрофотосъемочных маршрутов	131
Егорова С.А. Использование средств визуализации в статистическом анализе.....	133
Зверев Л.А. Формирование условных стандартов в инженерных изысканиях для строительства.....	137

Гладун Л.Ю., Ловягин В.Ф. Концептуальные положения геоинформационного обеспечения многовариантного проектирования линейных сооружений	140
Полещенков В.Н., Любивая Л.С. Элементы проектирования в среде MapInfo	145
Максименко Л.А., Лубягин А.В., Ткаченко В.А., Романенко С.В. Геодезические наблюдения строительных объектов в эксплуатационный период	150
Гладун Л.Ю., Ловягин В.Ф. Решение методологической проблемы геоинформационного обеспечения многовариантного проектирования линейных сооружений	154
Новоселов Д.Б. Съёмка подкрановых путей с применением электронного тахеометра и программного продукта Credo-dat	159
Гринь Г.А., Мурзинцев П.П. Геодезический мониторинг подводных переходов трубопроводов на территории западной Сибири	162
Горохова Е.И. Возможности применения наземного лазерного сканирования при геодезическом обеспечении тоннелей.....	170
Теплых А.Н. Разработка методики поверки индикаторов веса ГИВ6-М2	174
Тетерин Г.Н. Законы исторического развития геодезии.....	179
Лебедев О.В., Федорова Н.В. Перспективы развития и реконструкции геодезической сети ЛАЭС	181
Горохова Е.И. Сравнение традиционных методов и технологии наземного лазерного сканирования при мониторинге деформаций тоннелей	187
Карев А.П., Павлова А.И. К вопросу оценки точности положения геодезических пунктов, определяемых линейно-угловыми засечками	192
Глазунов А.С. Современные тенденции в геодезической астрономии.....	198
Никифоров С.Э. К вопросу маркшейдерского обеспечения разработки месторождений углеводородного сырья	204
M. Kaloop, H. El-Shmbaky, Ashraf A. Beshr. How can you estimate the geoid undulation by least square collocation technique and GPS data?.....	212
Мурзинцев П.П. Геодезический мониторинг нефтегазовых месторождений	218
Joël van Cranenbroeck. Automatic geodetic monitoring solutions early warning systems for structural engineering risk's management	223
Визгин А.А., Неволин А.Г. Оценка способов уравнивания геодезических измерений.....	230
Визгин А.А., Ковалева О.В. Непараметрические методы оценки устойчивости железнодорожной колеи.....	232
Охотин А.Л., Соболев А.В. Опыт применения лидарной съемки в горном деле	234
Голякова Ю.Е., Николаев А.Ф. Опыт применения электронного тахеометра Sokkia Set 530 RL для привязки опорной межевой сети к стенным знакам в безотражательном режиме.....	237

Новоселов Д.Б. Наблюдение за креном дымовых труб с применением электронного тахеометра и программного продукта Credo-dat	242
Дементьева О.А., Широкова Т.А., Комиссаров А.В., Середович В.А. Опыт применения высокоточного наземного лазерного сканера Minolta VI-9I для решения прикладных задач	246
Хасенов К.Б., Рахымбердина М.Е., Сыдыков К.У. Способ определения и исправления угла I у нивелиров.....	250
Гольцев А.Г., Ипалаков Т.Т. Выверка строительных конструкций с использованием лазерных приборов.....	254
Антонович К.М. Учет набега фазы при ГНСС измерениях.....	257
Мальцев Г.И., Мелеск А.Х., Лапко А.П. Исследование высокоточной спутниковой аппаратуры в лесной местности	261
Горохова Т.И. Обзор современных методов выявления и восстановления потерь счета циклов при обработке фазовых гнсс измерений	266
Михайлович Е.В. Результаты обработки траекторных измерений с использованием программного комплекса «Орбита-СГГА-2»	270
Синякин А.К., Кошелев А.В. Об особенностях спектров сигналов ГЛОНАСС	274
Сурнин Ю.В., Гиенко Е.Г. Методика регулярного оценивания параметров взаимного трансформирования геодезических сетей, построенных спутниковым и традиционным методами.....	277
Яхман В.В. Вопросы создания банка данных спутниковых измерений....	283
Барлиани А.Г. Метод Гревилля при уравнивании геодезических сетей....	288
Шендрик Н.К. Опыт использования и адаптация GPS-системы Trimble R3 к работе в полевых условиях	291
Щербаков В.В., Барсук М.Н., Васеха В.Н. Применение глобальных спутниковых навигационных систем для координатного обеспечения скоростных железнодорожных магистралей.....	295
Янкуш А.Ю. Комплексирование спутниковых и инерциальных технологий для решения задач высокоточного позиционирования	299
Евстафьев О.В. Технологии точного позиционирования с использованием спутниковых базовых станций.....	300

CONTENTS

Joël van Cranenbroeck. Innovation and Experience in GNSS Bridge Real Time 3D-Monitoring System.....	9
Joël van Cranenbroeck. GNSS Networks as the Fundamental Infrastructure for Building the Digital Cities	18
Karpik A.P., Afonin K.F., Teleganov N.A., Shitikov P.K., Vetoshkin D.N., Kuzhelev S.V., Timonov V.A. System of Novosibirsk regional rectangular plane coordinates.....	26
Gulyaev Yu.P. Prognostication as a part of geodesic monitoring of natural-technical systems.....	37
Gulyaev Yu. P., Maksimenko L.A. Analysis of settling process development of high-rise MSU building.....	41
Lisitsky D.V., Komissarova Ye.V. Extension of cartographic image language in territorial georeferenced data basis by means of multimedia techniques and hyperfile concept.....	49
Reiner Jäger, Simone Kälber. The new RTCM 3.1 Transformation messages – declaration, generation from reference transformations and implementation as a server-client-concept for GNSS services	56
Karl-Peter Traub. Metropolitan Information Systems: The application of GIS for foundation management in Hamburg.....	82
Antonovich K.M., Kalenitskiy A.I., Karpik A.P., Klepikov A.N. Effective high precision horizontal and vertical geodetic networks for west Siberia oil-and-gas fields.....	92
Huaan Fan. Three-Dimensional Coordinate Transformations	98
Ashraf Abd El-Wanis Abd El-Mawla Beshr. Documentation and presentation of Historical Monuments by WEB-GIS	99
Komissarov A.V., Ashraf Abdel Vanis Beshr. Study the possibility of application of linear polynomial adjustment technique in monitoring the structural deformation	108
Komissarov A.V., Ashraf Abdel Vanis Beshr. Investigation of deformations measurement accuracy by total station and terrestrial laser scanner	115
Khoroshilov V.S. The Development of Expert Information System, its Structural – and – Functional Content Used for Optimum Geodetic Maintenance of Engineering Objects.....	120
Vovk I.G. System analysis and modeling of technical systems space-time state	127
Dudarev V.I. Assessment of air-strips quality	131
Yegorova S.A. Use of vizualization means in statistical analysis	133
Zverev L.A. Development of conventional standards in engineering surveys for construction	137
Gladun L.Y., Lovyagin V.F. Concepts of geodetic surveys dataware for multivariant designing of linear constructions.....	140
Poleshchenkov V.N., Lyubivaya L.S. Elements of designing in MapInfo environment.....	145

Maksimenko L.A., Lubyagin A.V., Tkachenko V.A., Romanenko S.V. Geodetic monitoring of construction- projects in operation period	150
Gladun L.Y., Lovyagin V.F. Solution of methodological problem on engineering surveys dataware for multivariant designing of linear constructions	154
Novosyolov D.B. Surveying of crane tracks with total stations and Credo-dat program product	159
Grin G.A., Mursinzev P.P. Geodetic monitoring of oil-and-gas pipelines in west Siberia.....	162
Gorokhova Ye. I. Ground-based laser scanning application for tunnels engineering surveys dataware	170
Teplykh A.N. Development of methods for weight indicators calibration.....	174
Teterin G.N. Laws of historical development of geodesy	179
Lebedev O.V., Fyodorova N.V. Prospects for development and reconstruction of a geodetic network of LAPP (Leningrad atomic power plant).....	181
Gorokhova Ye.I. A comparison between the traditional method and that of laser scanning to be used for tunnel deformation monitoring	187
Karev A.P., Pavlova A.I. The problem of positional accuracy estimation with geodetic points determined by linear-angular intersections.....	192
Glasunov A.S. Modern trends in astrogeodesy	198
Nikiforov S.E. Mining surveys for hydrocarbon deposits development	204
M. Kaloop, H. El-Shmbaky, Ashraf A. Beshr. How can you estimate the geoid undulation by least square collocation technique and GPS data?.....	212
Mursinzev P.P. Geodetic monitoring oil and gas deposits	218
Joël van Cranenbroeck. Automatic geodetic monitoring solutions early warning systems for structural engineering risk's management	223
Vizgin A.A., Nevolin A.G. Estimation of methods for geodetic data adjustment	230
Vizgin A.A., Kovalyova O.V. Nonparametric methods for rail gauge stability estimation	232
Ohotin A.L., Sobolev A.V. Experience of application lidar survey works in mining.....	234
Goliakova U.E., Nicolaev A.F. The experience of applying of electronic tachymeter Sokkia Set 530 RL for attachment of supporting measuring net to the wall sings in unreflecttable regime	237
Novosyolov D.B. Observation of chimneys heelings with a total station and program product Credo-dat	242
Dementyeva O.A., Shirokova T.A., Komissarov A.V., Seredovitch V.A. Operational experience of high-precision land-based laser scanner Minolta VI-91 for applied problems solution.....	246
Khasenov K.B., Rakhimberdina M.Ye., Sydykov K.U. The method of definition and correction of a corner I of levels	250
Goltsev A.G., Ipalakov T.T. Laser adjustment of building structures	254
Antonovich K.M. Accounting the carrier phase wind-up in GNSS measurements	257

Maltsev G.I., Melesk A.H., Lapko A.P. Investigation of high-precision satellite equipment in forest areas	261
Gorokhova T.I. Review of modern methods for cycle slips detection and restoration during GNSS phase measurements processing.....	266
Mikhailovitch Ye.V. Trajectory measurements processing by “Orbita-SSGA-2” program complex	270
Sinyakin A.K., Koshelev A.V. GLONASS signals- spectrums features.....	274
Surnin Yu.V., Gienko Ye.G. Procedure for regular parameters estimation of mutual geodetic network transformation constructed by means of GPS and traditional surveying methods	277
Iachman Vi.V. Satellite measurements data- bank establishment.....	283
Barliany A.G. Greville’s method application for geodetic networks adjustment	288
Shendrik N.K. GPS-system Trimble R3 operational experience and its adaptation for field works	291
Shcherbakov V.V., Barsuk M.N., Vasekha V.N. Utilization of global satellite navigation systems for coordinate metrology of high speed main lines...	295
Yankush A.Yu. Integration of gnss and inertial technologies for the purposes of high precision positioning	299
Evstafiev O.V. Technologies of precise positioning with the use of the satellite base stations.....	300

УДК 528.48:629.783

Joël van Cranenbroeck

Business Development Manager

GNSS Networks and Geodetic Monitoring

Leica Geosystems AG, Heerbrugg

Switzerland

ИННОВАЦИЯ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА МОСТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС

INNOVATION AND EXPERIENCE IN GNSS BRIDGE REAL TIME 3D- MONITORING SYSTEM

Annotation. Transportation Authorities are continually challenged to provide and maintain a safe and efficient highway network. Not only are bridges an integral part of the network, they also represent a multibillion-dollar investment. To meet this challenge and safeguard this investment, transportation authorities need to understand completely the condition and behavior of the bridge structures, so that the bridge can remain open to traffic, be resistant to the elements, and be undaunted by the millions of loading cycle per year – all with minimal maintenance expense.

Realistically, the high cost of maintenance – often exacerbated by the budget-driven policies of bridge owners – frequently leads to the deferment of routine bridge repairs and reservation measures. These policies can contribute to an occasional bridge failure, which is completely unacceptable and forces more costly actions.

To manage bridges effectively, more needs to be done to access the day-to-day and long-term condition and behaviour of in-service bridges, so that preventive measures can be taken, and deterioration rates can be better understood.

Owing to the advantages of high accuracy, all-weather conditions and no requirements of inter-visibility between measuring points, GNSS, the acronym standing for Global Navigation Satellite System and including the US Global Positioning System, GLONASS its Russian equivalent and the future European GALILEO and the Chinese BEIDOU (Big Dipper) is playing more and more important role in high precision positioning missions in structure/construction health monitoring.

For achieving a particular purpose, a properly configured GNSS measurement system can meet most of the possible static and dynamic measurement needs in such applications for absolute positioning and relative displacement. In other words the required precision and accuracy can be approached with an architecture of the GNSS single/dual (L1 or L1/L2) frequency carrier phase, data sampling rate, communication between GNSS receivers and control data centre and the method of data processing. GNSS for Structural Health Monitoring.

GNSS is a very interesting tool for monitoring because it has a number of distinct advantages over terrestrial positioning technologies. GNSS is able to measure at high rates with low latency, operate in all weather conditions, has synchronized measurement, does not require line of site to ground marks/targets, can measure over long baselines, has low maintenance and a long service life and can provide timing for other sensors, such as accelerometers.

These unique characteristics make GNSS particularly interesting for monitoring large structures such as long bridges, dams, high rise buildings but also for seismic and land slide applications and for the provision of control for other instruments, such as robotic total stations, in unstable areas.

Each point to be measured must have an antenna, a receiver, ground mark, power, communications and, possibly, protection against lightning and vandalism or theft.

The reference stations receivers from where the baseline to the monitoring receivers will be processed must be installed in a stable place as all the results will refer to this. The minimum required is only one but to ensure an independent control on the solution and to have also an internal control on the relative stability of their location it is suggested to set-up at least two.

Leica Geosystems has developed dedicated GNSS receivers like the Leica GMX901 (see Figure 1) and the Leica GMX902 (see Figure 2) for monitoring applications complemented by GNSS antenna's that has the capacity to mitigate and reduce the multipath effects induced by the structure itself in many cases.

The Leica GNSS Monitoring Receivers



Figure 1 Single Frequency GMX901



Figure 2 Dual Frequency GMX902

The Leica GPS AT504 GG Choke Ring Antenna (see Figure 3) provides the state of art in GNSS signals tracking even in multi-path environment and radio jamming and the Leica AX1202 GG Geodetic antenna (see Figure 4) fits well any GNSS monitoring project until the location can be guaranteed free of multi-path effects. During the design phase of a GNSS monitoring project, the choice of the proper antenna will be one of the most important topics.

In monitoring applications, accuracy is of paramount importance, so only ambiguity-fixed positions are of interest. A highly reliable ambiguity resolution strategy is needed to prevent wrong fixes, which will be detected immediately by the monitoring system as an apparent movement.

The Leica GNSS Antennas



Figure 3 AT504 GG Choke Ring Antenna



Figure 4 AX1202 GG Geodetic Antenna

The processing kernel that has been developed for the bridge GNSS monitoring solution is based on that used in Leica Geosystems high-end RTK GNSS sensors and the LGO (Leica GeoOffice) post-processing software.

Real Time and Post-Processing modes

The kernel, which is integrated into the Leica GNSS Spider reference station and GNSS monitoring software, is able to process single and dual frequency data from GPS and/or GLONASS in real time and post processing. Three ambiguity resolution techniques have been implemented and successfully tested on many projects: Kinematic On the Fly (OTF), Initialisation on a Known Mark and the new Leica innovative Quasi-Static approach. The OTF technique allows full dynamics of the rover antenna suitable for use in formula one racing. The quasi-static approach uses assume lower dynamics such as would be experienced in most monitoring applications like the one we will have for the Yeong Jong Bridge in Korea.

The traditional approach to real time GNSS monitoring is to deploy RTK enabled receivers to the field, which receive corrections from a nearby reference station and self compute their positions. This distributed processing approach has some distinct disadvantages:

Two communications lines are required per point that is measured (one to receive the corrections and one to transmit the resulting coordinates),

- Only one baseline can be computed per point,
- Single frequency RTK is not supported,
- Post processing is not possible, and
- Archiving of the raw observations is not possible.

In the decentralized approach used by Leica GNSS Spider, only a single communication channel is required to send the raw observations to the monitoring

server. Multiple baselines may be computed for each point using different reference stations or processing parameters. Single frequency RTK is supported, as is post processing and archiving of both raw data and results. In the case of unreliable communications, it is also possible to log directly in the memory of the GNSS and then download the data periodically for post processing, rather than relying on having a permanent open communications channel. In that case the GNSS receivers used must have local storage capacity on flash card memory.

The Leica GNSS Spider software is dual-purpose software. It offers comprehensive GNSS reference station capabilities for the configuration and control of GNSS sensors, archiving of data and dissemination of correction data for single-base and network RTK positioning.

In addition to the reference station capabilities, GNSS Spider has advanced GNSS baseline processing capabilities for monitoring applications. The marriage of reference station and GNSS monitoring features produces a flexible and powerful application with sophisticated communications, processing, data management and security functionality.

GNSS Spider may be combined with Leica GNSS QC coordinate analysis software as well as with any third party monitoring and analyzing software for integration with other geo-technical sensors and to leverage the GNSS QC advanced limit checks, messaging and analysis features. The integration is easily made by streaming out the results in real time as well through TCP/IP ports, serial interface or Modem. All the results can be stored in text files as well for further analysis investigations.

The baseline processing in Leica GNSS Spider is divided in two parts: real time processing and post processing. The Leica GNSS Spider also has the capacity to re-process complete observation files in RINEX format in those two modes. It's particularly interesting during the design phase whereby receivers can be placed temporarily to collect 24hour or 48 hour data and then processed at a later stage. The advantage of this is that performance of the system can be analysed prior to permanently fixing cabling for power and communications as well as estimating any errors associated with multipath.

Real Time Monitoring With GNSS Spider

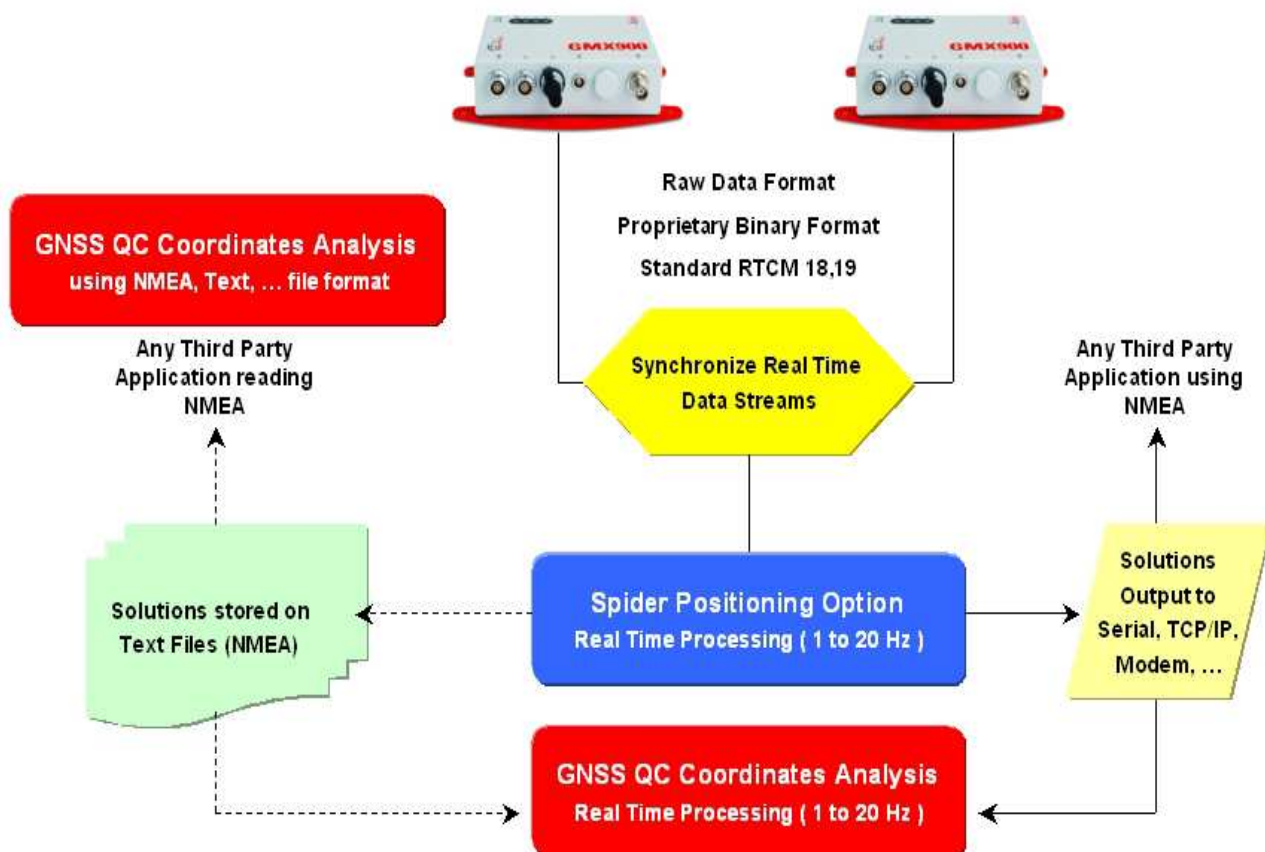
The real time processing kernel is based on that used in the Leica GNSS RTK rover, but has been modified for monitoring applications. The Leica Smart Check technology, which is an evolution of the repeated search process, is used to continuously re-verify the ambiguity fix to ensure the highest reliability. With this improved kernel GNSS Spider is able to compute RTK-fixed positions from both single and dual frequency data at extremely high reliability.

Three ambiguity resolution techniques are available: Kinematic on the fly (also known as OTF or While Moving initialisation), Initialisation on Known Marker (IOKM) and Quasi-Static (QSI). The OTF ambiguity resolution allows for full receiver dynamics during the initialisation at the cost of reliability, especially for single frequency processing. The IOKM ambiguity resolution assumes strictly limited receiver dynamics (which is not practical for monitoring) but has much higher reliability. The QSI

technique is combination of the previous two techniques – it allows for the antenna to be in motion during the initialisation but not to the same extent as OTF initialisation.

GNSS Processing Strategies

Real Time from 1Hz up to 20Hz



Post Processing Monitoring With GNSS Spider

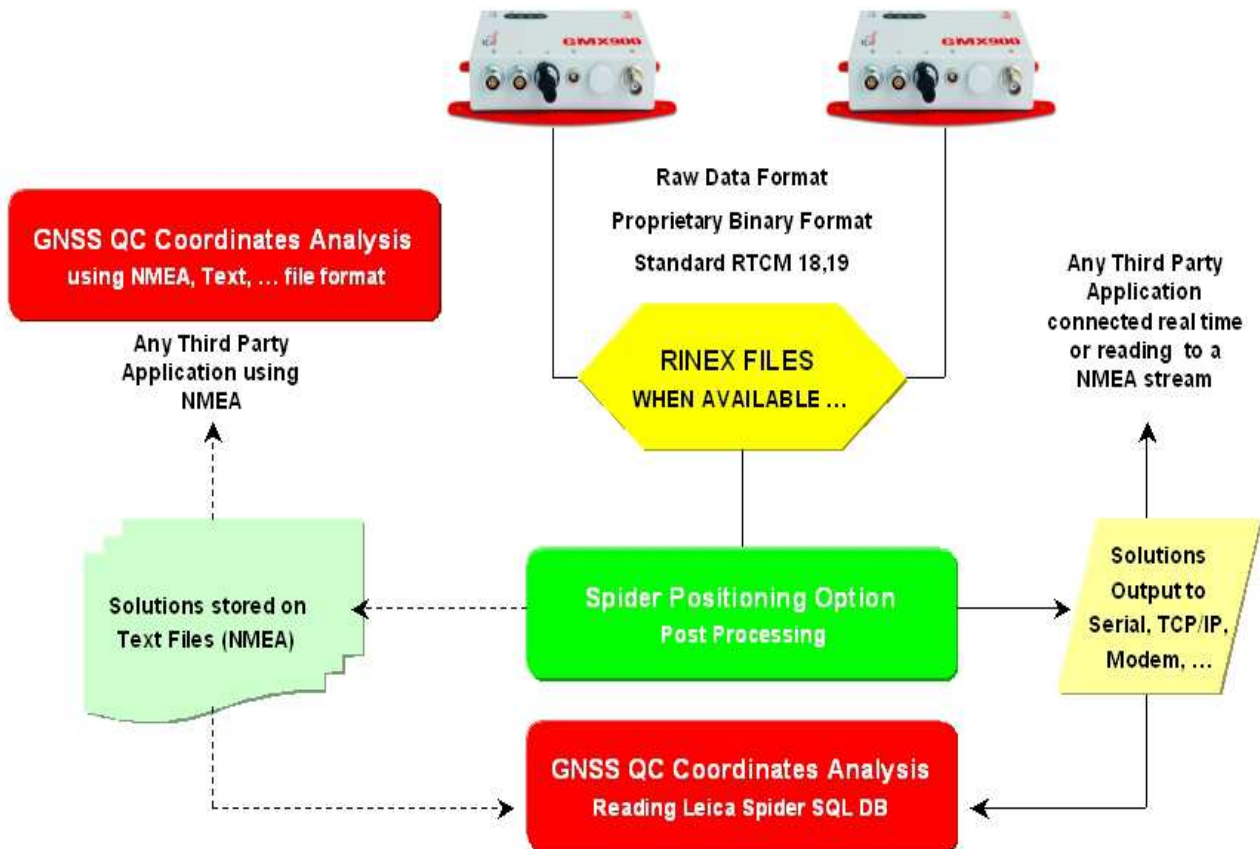
The post-processing kernel used in GNSS Spider is based on that used in LGO. Like with the real time processing, a repeated search process is used to ensure highly reliable ambiguity resolution.

In addition, the initialisation on float marker is used to further improve the reliability. Post-processing intervals of between 1 minute and 24 hours are possible for dual frequency data and between 10 minutes and 24 hours for single frequency data.

Due to the nature of the different sources that affects the solution of GNSS measurements like the atmospheric delays, the orbital errors and the multi-path effects in some extend, the results are generally noisy and will not reflect at first look the full potential of the solution.

GNSS Processing Strategies

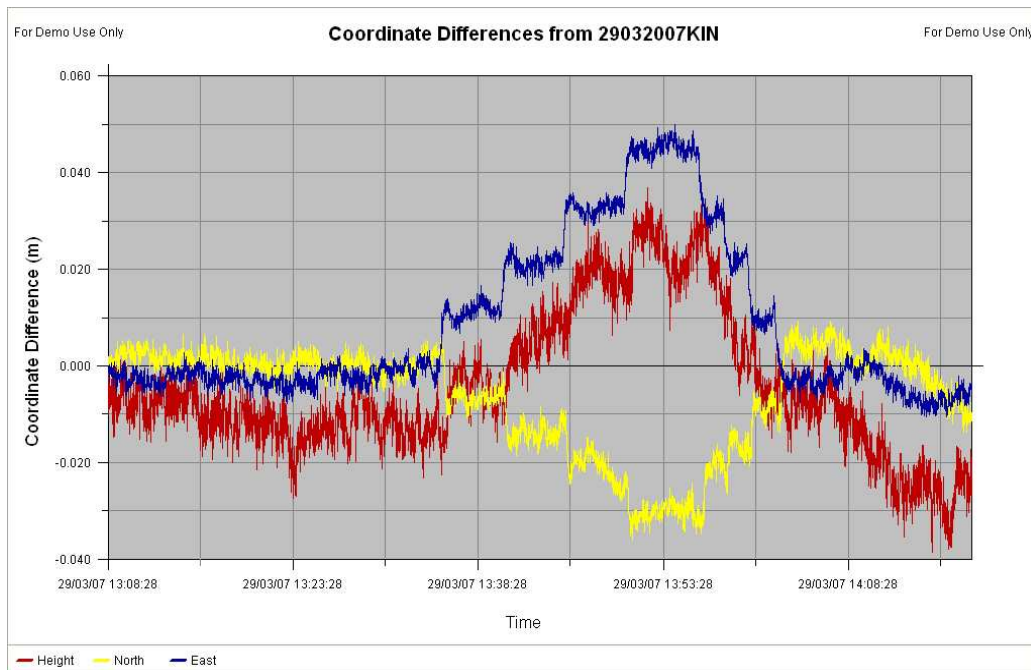
Near RT and Post-Processing ...



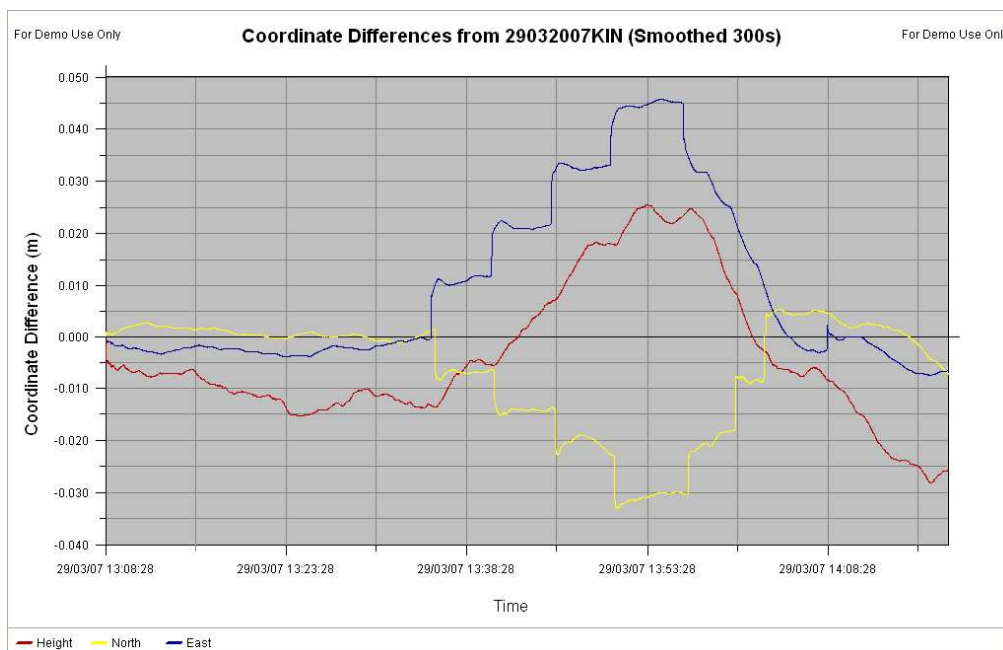
Reducing Inherent GNSS result noise by using Low Pass Band Filtering

Due to the nature of the different sources that affects the solution of GNSS measurements like the atmospheric delays, the orbital errors and the multi-path effects in some extend, the results are generally noisy and will not reflect at first look the full potential of the solution.

Therefore it is necessary to reduce the noise by using digital signal processing filtering techniques. Leica GNSS Spider has that capacity and various tests have demonstrated that up to 30% to 45% of the noise are effectively reduced.



Real Time results unfiltered and resulting from a maximum displacement of 4 cm.



Real Time results filtered and resulting from a maximum displacement of 4 cm.

Implementation of a GNSS Bridge Monitoring solution

A typical GPS Bridge Monitoring Solution proposal is based on a dedicated monitoring design, which must address the following questions:

- How many monitoring station must be deployed on the infrastructure, where they should be located and which kind of support (mast, fixture) is allowed?

- Where will be the location of the GNSS Reference station(s). How many do we need? These stations play a very important role in the monitoring point determination and must be located on a very stable area...

- Do we need the results in real time or/and in post processing?

- What is the infrastructure project size? (3 km over 300 meters e.g.)

- Do we need to convert the results in a local datum? Which local datum?

Who will deliver the parameters?

- How can we power up safely the GNSS receivers? Lightning protection? Do we need to interface the GNSS receivers with other sensors like tilt-meters, meteorological stations etc.?

- Where we will the control centre hosting Leica SPIDER Server be located? To which application(s) must we interface the output results? Do we have to provide a PC computer with peripheral(s)?

- A technical map must be provided with the location of the reference station(s), the monitoring stations and the control centre.

- What environmental conditions surround the GPS monitoring stations?

- What is the required accuracy for X-Y coordinates? (Horizontal displacements)

- What is the required accuracy for Z-coordinate? (Vertical displacements)

- Required measurement frequency? (20Hz, 5Hz, 1Hz, slow motion, static)

- Expected movement's entity? (mm/hour, cm/day, dm/year, etc.)

- Planned/preferred communication link between measuring stations and Control Centre?

- Object extension: which is the maximum distance between two monitoring stations?

- Sky visibility. Presence of obstacle (structures, cables.) that could restrict the satellites visibility?

- Is there a budget already allocated for this monitoring project?

- Planned time-schedule: Monitoring system installation? Measurement start?

- How many GNSS sensors and their GNSS antenna, including various accessories like cables, power supplies, uninterruptible powering system, lightning protection, mast and adapters must be provided?

- Does the receiver have to log the raw data or/and just to stream? How many ports? Does it have to synchronize other monitoring equipment on GPS time (PPS)?

- What will be the solution for the communication interfaces and lines?

- Which modules of Leica GNSS Spider software must be delivered?

- What kind of analysis software will be used and which interface should be delivered?

Type of services to provide:

- Feasibility study, support for the monitoring project design, location of the monitoring stations, processing scheme, simulations, multi-path analysis...

- Comprehensive and clear quotation including delivery terms...

- Installation, tests, training, support and commissioning...
- Maintenance contract including upgrade proposals for both hardware and software...

Conclusion

The ability to monitor real-time data from a remote location is a critical issue due to the divergence often found between the location of structures and the location of the people charged with monitoring those structures.

Leica Geosystems can provide GNSS monitoring systems that gather the data and feed it to a remote location via the Internet to give you 24/7 monitoring capability from any location.

Whether the movement occurs over a period of seconds, minutes, hours, days, weeks or months, the system is able to track the movement. Parameters can be set such that any movement outside a designated range can automatically notify the responsible people. This timely information gives the operators time to take an appropriate response and avoid any critical failures.

For further information please contact:

Leica Geosystems AG Switzerland

Joel van Cranenbroeck, Business Development Manager for Geodetic Monitoring

Heinrich-Wild-Strasse

CH-9435 Heerbrugg

Phone/Fax: +32 (0)81/41 26 52

Mobile: +32 474/98 61 93

Joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

www.leica-geosystems.com

© Joël van Cranenbroeck, 2008

УДК 528.48:629.783

Joël van Cranenbroeck

Business development Manager – GNSS Networks and Geodetic Monitoring

Leica Geosystems, Heinrich-Wild-Strasse, Heerbrugg, 9435

Switzerland

СЕТИ ГНСС В КАЧЕСТВЕ БАЗИСНОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ГОРОДОВ

GNSS NETWORKS AS THE FUNDAMENTAL INFRASTRUCTURE FOR BUILDING THE DIGITAL CITIES

Abstract. In keeping with the philosophy and spirit of the Digital Earth initiative, more and more organisations are building digital cities with the express aim of providing a comprehensive range of spatial related services to industry and the public.

As technology advances and the number of applications requiring position attributes increases, greater numbers of users are demanding spatial data services with higher accuracy than ever before. These services are expected to provide high-quality, high-accuracy and high-reliability coordinates and corrections via various communication channels and protocols, for use across entire metropolitan areas. The construction of an infrastructure system that possesses these characteristics is the primary objective of all organisations wanting to succeed and benefit from digital cities.

Since GNSS technology has come to the forefront of modern surveying technologies thanks to accuracies better than one metre and a few centimetres, through DGNSS and RTK-GNSS technologies respectively, the user community have developed new applications to use these convenient and efficient technologies in a productive manner. Consequently GNSS Reference Station networks have caught the attention of authorities for their scalability, flexibility, stability and reliability whilst supporting spatial services. As a result, those organisations responsible for the construction, operation and management of digital cities, are becoming aware of the important role that GNSS reference station networks can play as the most important infrastructure component in their digital cities.

Thanks to the establishment of a GNSS reference station network, with their inherent high accuracy services and corrections based on a consistent geodetic coordinate datum, the fundamental coordinate control infrastructure for a digital city is already in place. Not only do surveying, GIS and mapping activities benefit from this fundamental infrastructure in terms of faster data acquisition and position updates, but also many other real-time applications, such as structural monitoring and vehicle navigation, that are becoming prevalent in urban areas.

Leica Geosystems, as a pioneer of GNSS in the geomatics industry, has identified the benefits of reference station networks and responded by improving the performance as well as the usability of reference networks to fulfill the needs of digital city applications. The new generation of Leica GNSS Network products is composed of a series of GNSS receivers for all reference station applications and GNSS Spider - the most powerful GNSS network configuration and management software incorporating advanced Network RTK algorithms utilizing the new Master-Auxiliary Concept. From the communication channels supported to the usability of the software system, from the core algorithms to the GNSS data and correction formats, from the sensor and product configuration to the management of rover users, Leica's GNSS Reference Station network portfolio can help ensure that digital cities are built to last.

Keywords. GNSS, Reference Station network, Digital Cities.

1. Introduction

Digital Earth (DE), as first promoted by Gore (1998) was envisioned as a computerised, multi-dimensional, multi-scale, multi-temporal and multi-layer information facility. DE concepts are already strongly rooted in the visions of many governments as being the means of being the sole platform for the management and display of spatial information. Not long after, China's State Bureau of Surveying and Mapping (SBSM) embarked on Digital China – an ambitious mapping project to digitally map the entire nation. The realisation of Digital China would provide decision support in city planning and natural disaster prevention – two activities important to growing economies in over 600 Chinese cities. Already, the SBSM has created three digital map series of the country with a level of detail comparable to map scales of 1:4 million, 1:1 million and 1:250,000. 2005 should see the completion of a digital map series equivalent to a 1:50,000 map scale. Initiatives at the local level, are already generating detailed digital maps of cities, for example the city of Weihai in East China's Shandong Province has already produced a detailed 3D digital city map at 1:500 scale, see Rediff (2004).

This specific focus on compiling a detailed representation of an individual city can be described as building a 'Digital City'. Authorities in China are also working to build similar models of strategically important features such as coastlines and waterways as featured in the 'Digital River' initiative. Together such digital cartographic representations can be combined with demographic and environmental data to form Digital China.

The benefit of building these models is that they form the most efficient basis for administering and operating these resources. Given the rapid growth of China's economy, and thus demand for natural, man-made and human resources, having such an overview makes extremely good sense. With the establishment of Digital China, particularly with the integration of demographic data, the visionary concepts of e-government, e-city management and others, become reality.

One major challenge within DE applications is that of data access and data fidelity (correctness). This paper focuses on the specialized activity relating to the definition of the reference frame for this datum – that is with the establishment of a

GNSS Reference Station Network (RSN) that essentially defines the coordinates datum over the area that it covers, i.e. the Digital City - and the associated benefits that a RSN brings to the entire DC project.

2. Foundations for Digital Cities

A digital city can only be of benefit to its 'digital architects' and users if the data it contains is accurate and reliable – a true representation of the real world environment it portrays. At all times, the accuracy of the position information is the defining characteristic of the digital city's worth. In terms of spatial accuracy, the specifications for digital cities can range from large scale mapping at the metre level for asset management and environmental applications, through decimetre and centimetre for cadastral surveying and engineering construction, up to millimetre level high-precision engineering and deformation monitoring tasks. The currency of the data can be described as its temporal accuracy – at which time did it have the attribute have that spatial accuracy.

Using a real world example of Kunming in Yunnan Province of China, the ongoing construction and population of new Kunming demanded the establishment of a representative location model, namely a digital city model of Kunming, see Wu (2005). There in Kunming the construction of an active control network system was necessary to support surveying specifically for the construction of the City Spatial Data Infrastructure, to aid acceleration of construction in the city through improved survey control, to provide active control given that the majority of traditional survey control points are seriously damaged, and finally to provide a dynamic real-time correction service to support all users.

Kunming City's needs in terms of city planning, construction and management demanded that the updating of digital topographic maps using GIS could take place in real-time, navigation and tracking of special vehicles, along with intelligent City traffic management and decision making.

To realise this active network, it is necessary to establish a system that provides a consistent coordinate reference datum over the area of interest. Every country that has been, or is, embarking on a redefinition of their national reference frame has done so making use of GNSS technology, typically in the form of a Reference Station Network.

A network of such continuously operating GNSS reference stations (CORS) is more efficient than a traditional triangulation and traverse network. The stations can be set-up at convenient locations where they are needed. Network geometry is not as critical as with traditional networks, and the accuracy is higher and more consistent.

Typically, local network operators define their own local datum covering their area of responsibility. Considering China, there are over 2000 counties, many of which have their own incumbent local datum. This is fine when working on a regional county level, but impractical and incorrect for production use on a national level.

By default, the information (whether data, corrections or final positions) supplied by the RSN is provided in a consistent global satellite datum, typically WGS84 (in some cases ITRF2000 or later). This datum and its parameters are well-known, many national reference frames are derived from it, and satellite surveying

systems are well equipped to cope with this datum, and transformations based upon it. Once the datum is defined, all surveying of digital city features can be referenced to the geodetic datum, including geoid height if necessary. The designs of future projects (buildings, bridges, roads, etc.) can all then be represented in the digital city's datum providing accurate and reliable datum-consistent position information.

3. Technologies in Reference Station Networks

Since GNSS technology has come to the forefront of modern surveying technologies thanks to accuracies better than one metre and a few centimetres, through DGNSS and RTK-GNSS technologies respectively, GNSS Reference Station Networks have caught the attention of authorities for their scalability, flexibility, stability and reliability whilst supporting spatial services. Users and operators in Digital Cities make use of different systems for populating and maintaining the geospatial data within the DC. GNSS is of course one such well-established tool used worldwide, and under its conditions, allows for the rapid and efficient collection of specific features / attribute data. One of the main advantages of reference stations; both in their individual and network realisations, is their usage for supporting multiple applications, through both post-processing and real-time services. For example, the introduction of single-site RTK-GNSS into conventional surveying activities has yielded improvements in survey productivity of over 30%.

Leica Geosystems, as a pioneer of GNSS in the geomatics industry, has identified the benefits of Reference Station Networks and responded by improving the performance as well as the usability of reference networks to fulfill the specific needs of digital city applications.

The new generation of Leica GNSS Reference Station Network products is composed of a series of GNSS receivers for all reference station applications and GNSS Spider – a powerful GNSS network configuration and management software incorporating advanced Network RTK algorithms utilizing the new Master-Auxiliary Concept (MAC), see Leica (2005a). This concept, the basis for the forthcoming open RTCM standard for network RTK corrections, is a revolutionary new approach to network RTK that essentially extends the range and accuracy compared to conventional single-site RTK.

The RTCM network messages offer a truly open standardized format that enables efficient and accurate network RTK in both broadcast and two-way mode. Leica (2005c) shows that the theoretical advantages of the Master-Auxiliary Concept translate into true benefits for the rover user in terms of increased accuracy, performance and reliability. The statistical analysis of all tests clearly showed that the best performance was achieved by combining Leica GNSS Spider with Leica GNSS 1200 rovers utilizing MAX corrections. The individualized version of the MAX, known as i-MAX, which is also available from the Leica GNSS Spider reference station software gives almost similar high level performance as MAX but with the advantage of using the lower bandwidth RTCM 3.0 format that can also be used by older (legacy) receivers which are incapable of supporting the new network messages.

Seamless support of legacy and older GNSS receivers is an extremely desirable quality within RSN software ensuring that the valuable correction information afforded by the network can be used by the highest number of users operating in the digital city.

Broadband networks, including the Internet, provide the communications backbone to today's society and are firmly anchored as the main communications channel for digital cities. Today's communication technologies including Internet, cell phones, spread-spectrum radios etc, can support all manner of users and applications, and should do so if they want to become a part of the digital city's extended infrastructure. Users want to have access to all of the data products available over the entire area of the network all of the time, over as many different media as possible, and digital city architects must recognise this. Portals in the digital city platform are typically web-based allowing multiple access by multiple users for multiple applications. Clearly these components of the digital city's RSN infrastructure should also be capable of this.

Even with the runaway success of GNSS as a surveying tool, it is limited by factors such as satellite visibility and communications coverage. Consequently Reference Station Networks should also be flexible in their ability to support surveying and mapping systems using conventional measurement sensors.

A recent groundbreaking innovation in data collection is the SmartStation concept – the integration of terrestrial and satellite data collection systems, see Leica (2005b). This concept is especially useful in metropolitan areas where satellite visibility can be limited, wherein the SmartStation can be established quickly and easily like any conventional total station system.

Use of a SmartStation unit removes the need to traversing to propagate coordinates from distant control points by providing RTK GNSS positioning of the total station, without the surveyor needing any specialised GNSS know-how. The proliferation of GNSS Reference Station Networks means that in many cases a surveyor can simply connect into the omnipresent network and receive a real-time correction stream in order to fix its position accurately and reliably within the preferred datum; coordinate transformations are just an additional step to be made on the survey system.

No longer is it necessary for surveyors to undertake time consuming traversing to propagate control into the survey area: comparisons show that topographic surveys can be completed over 30% faster than conventional survey, whilst maintaining an accuracy of better than 15mm in both horizontal and vertical components. The time savings were achieved through reduced reconnaissance and eliminating a control traverse to propagate control to the survey area. Following that, the individual components (TPS & GNSS) can be separated to individual survey teams.

4. Data Fusion and Application Fusion

Such integrated measurement systems exploit the synergies of data attribute collection and are ideally suited when building and maintaining the digital city model. Coupled with GIS-data collection products such as MobileMatriX (which is fully interoperable with Arc GIS products) and the GS20/SR20 GNSS/GIS data collectors,

aerial photography systems to machine guidance systems, HDS (high-definition scanning) to Railroad engineering, a Reference Station Network can provide consistent real-time control for all spatial positioning systems supporting multiple-applications.

Thanks to the establishment of a GNSS Reference Station Network, with their inherent high accuracy services and corrections based on a consistent geodetic coordinate datum, the fundamental coordinate control infrastructure for a digital city is already in place. Not only do surveying, GIS and mapping activities benefit from this fundamental infrastructure in terms of faster data acquisition and position updates, but also many other real-time applications, such as structural monitoring and vehicle navigation, that are becoming prevalent in urban areas.

This Data Access and Availability service is a prime example of the benefits that Reference Station Networks afford, not only in Data Fusion, but also Application Fusion.

The Kunming GNSS CORS System, running GNSS Spider, provides multi-level, multi-aspect social service for all users on two levels: the first is a Positioning information service directly supporting those users requiring spatial information, be it data or correction products. The second service is Non-spatial but equally important – examples include forecasting and environmental protection information. For example, weather forecasting trends can be derived from information contained within the magnitude of tropospheric refraction afforded on those GNSS signals received at the reference station locations, at a level of accuracy 30% to 40% higher than the traditional way, see Wu (2005).

The integration of the GNSS CORS System and Digital Maps can be applied to any fields requiring spatial position information, such as city planning, land-use management, city management, police and fire control, landscaping, forestation, intelligent traffic management and decision, through to vehicle location and monitoring. The tracking of public transport vehicles (such as buses, trams, trains) requires GNSS infrastructure/components – all of which can be provided via RSN infrastructure. Nominally, precision agriculture does not typically exist in a digital city, rather the countryside but nevertheless makes use of the very same infrastructure; just another example of the interoperability and application fusion that a RSN brings to today's society. Equally, the digital city architects should not neglect the importance of Reference Station Networks for upcoming applications such as Assisted GNSS and LBS (Location-based Services).

In terms of data access, the amount of data associated with GNSS RSN is relatively small compared with geospatial imaging datasets; in contrast, the importance of RSN data is arguably much more important than most others – without the absolute coordinate control (datum) afforded by these GNSS positions, all other data (imaging included) is not truly georeferenced.

In summary, from the communication channels supported to the usability of the software system, from the core algorithms to the GNSS data and correction formats, from the sensor and product configuration to the management of rover users, the use of Reference Station Networks allows authorities to define the geodetic datum of the digital city area, provides services that will allow the survey and measurement of the

digital city, and no less important, allowing the digital architects (comprising government and developers) and to expand the digital city when new projects arise.

5. Building a Digital City Reference Station Infrastructure

It is worth stating here that the establishment of a Digital City platform must be flexible - each digital city is unique, and will evolve in its own distinct manner; for example, some provinces want to run the DC portal from a central location, whereas others prefer to implement a decentralized approach.

Consequently the Reference Station Network software should be flexible enough to adapt with the digital city's current and future demands. In some regions, it is planned to establish a decentralized Reference Station Network, whereby the provincial authority will establish its provincial network with a single 'province-owned' reference station in each city, obligating the city authority with the responsibility to densify their own city network. At all times, data and information will be overseen by the provinces.

The Reference Station Network software that will form the underlying datum for the DC must have the flexibility to adapt to the province's preference. Designed as a Client/Server architecture, Leica GNSS Spider has the flexibility and scalability to be installed as a centralized system, or a decentralized distributed network, depending on the specific requirements.

Data access is of concern to the administrators of digital cities, and the security and traceability of all users is also very important. GNSS Spider has been designed from the outset with security and integrity in mind – all activities and events taking place within the software are recorded for archival purposes. All users requesting real-time data streams must authenticate themselves prior to authorization by GNSS Spider. Traceability of all operator actions is also a requirement for authorities working with demographic information. Regarding incoming data access for other GNSS signals, as well as the future GALILEO, the GNSS Spider platform is well-designed to accommodate and support these constellations once they achieve acceptable operational capability.

One very important aspect that needs to be discussed and clarified immediately is the definition of a standard description for every Digital City's coordinate reference datum, and subsequently the use of GNSS data and services afforded by that network, and indeed across all of the digital cities that are being built in China. In addition, the archival of data, information, corrections, users logs etc are all 'secure' datasets that must be well controlled.

To be serious about building digital cities, the responsible authorities must not ignore the considerable benefits afforded by reference station network infrastructure. With the definition of such an open and public standard, the authorities supporting the digital architects can be guaranteed that each and every GNSS network will satisfy the demanding needs of high-accuracy, high-reliability and high-tech applications that operate in a digital city environment.

6. Conclusions

It is clear that the combined value of the Digital Earth and its Digital Cities to the world community is immense, not only in socio-economic terms, but also for crisis management and disaster mitigation.

Reference Station Networks and their services provide the geodetic coordinate control needed for high-precision positioning as well as supporting a wide variety of applications, for both real-time and post-processing activities. Such a network's permanence as fundamental infrastructure means that it can support the building of a digital city as well as its maintenance, update and expansion.

The construction of Digital Cities, summarized as Digitalization, is the trend of modern city development in China. The successful construction of the Kunming GNSS CORS System is already making a remarkable contribution to the city planning, construction and management of new Kunming, accelerating the progress of the population of Digital Kunming City, thus enhancing information management across the whole city.

With the continuing construction of digital cities, the responsible authorities and digital architects must quickly and clearly define open and public standards as to how Reference Station Networks and their beneficial services, should be created, populated and maintained – this will help to ensure that the considerable benefits afforded by reference station network infrastructure are utilized efficiently and productively.

References

Gore, A., 1998, The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century, <http://www.digitalearth.gov/VP19980131.html>

Leica Geosystems, (2005a). An introduction to the philosophy and technology behind Leica Geosystems' SpiderNET revolutionary Network RTK software and algorithms. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, June 2005. www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=5367

Leica Geosystems, (2005b). The integration of GPS and Total Station Technologies, SmartStation. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, February 2005. <http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=5037>

Leica Geosystems, (2005c). Advances in ambiguity resolution for RTK applications using the new RTCM V3.0 Master-Auxiliary messages. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, In Proc. *ION-GNSS 2005*, Long Beach, California, September 2005. http://www.leica-geosystems.com/se/en/downloads/lgs_page_catalog.htm?cid=3228

Rediff., 2004, China's awesome digital mapping plan, <http://inhome.rediff.com/money/2004/nov/18china.htm>

Wu, L, 2005, GPS Continuously Operating Reference Stations in Kunming, Kunming Surveying and Mapping Institute, Presentation to Yunnan Province, Kunming, PR China, 9th July 2005.

УДК 528.236.3

А.П. Картик, К.Ф. Афонин, Н.А. Телеганов

СГГА, Новосибирск

П.К. Шитиков

ПО «Инжгеодезия», Новосибирск

Д.Н. Ветошкин

Управление Роснедвижимости по НСО, Новосибирск

С.В. Кузнецов

ООО «ГеоПлан плюс», Новосибирск

В.А. Тимонов

Институт градостроительного планирования, Новосибирск

СИСТЕМА РЕГИОНАЛЬНЫХ ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

A.P. Karpik, K.F. Afonin, N.A. Teleganov

SSGA, Novosibirsk

P.K. Shitikov

«Inzhgeodesiya» production association, Novosibirsk

D.N. Vetoshkin

«Rosnedvizhimost» administration of Novosibirsk region, Novosibirsk

S.V. Kuzhelev

Limited liability company «GeoPlan plus», Novosibirsk

V.A. Timonov

Institute of city planning, Novosibirsk

SYSTEM OF NOVOSIBIRSK REGIONAL RECTANGULAR PLANE COORDINATES

To solve various problems of practical activities on the territory of the state or its subjects, one has to use different coordinate systems, each of them with its own advantages and disadvantages.

There are several classifications of coordinates systems. On the one hand, there are systems of geodetic space coordinates, rectangular space ones and plane rectangular coordinates of Gauss-Krueger. On the other hand, each of the above mentioned systems may be global and state. And the system of Gauss-Krueger rectangular plane coordinates may be also local. According to the authors' opinion, the systems of local plane rectangular coordinates of Gauss-Krueger may be subdivided into regional and local.

Regional Gauss-Krueger plane rectangular coordinates are those which are used in several zones of the R.F. subjects, while local ones are used on the territories of cities, settlements and construction sites within one zone.

In accordance with the Federal law “On geodesy and cartography” and rules of the R.F. government’s act #139 of March 3, 2007 the authors offer numerical parameters to be used for the transition from the state to the local coordinates system of Novosibirsk region as well as technologies for problems solution and operating formulae.

Для решения различных задач, связанных с осуществлением хозяйственной деятельности на территории государства или его субъектов, приходится, в силу ряда причин, использовать разные системы координат (рис. 1), каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки.

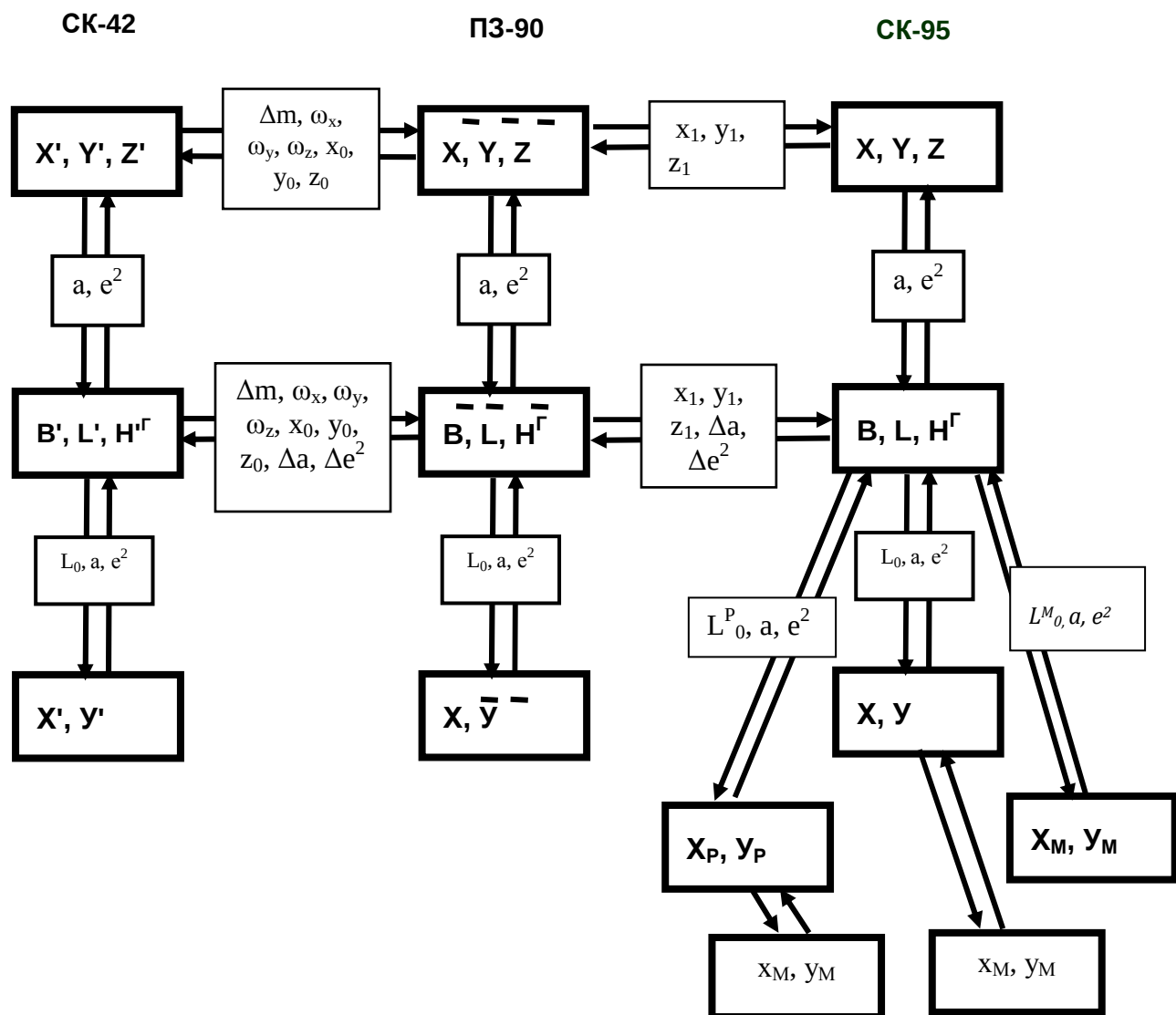


Рис. 1. Основные системы координат, используемые в геодезии

Существует несколько классификаций систем координат. С одной стороны имеются системы геодезических пространственных, прямоугольных пространственных, плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера. Система геодезических пространственных координат связана с поверхностью

эллипсоида вращения, принимаемого за модель Земли. Положение любой точки пространства в этой системе будет однозначно определяться тремя координатами: геодезической широтой B , геодезической долготой L и геодезической высотой $H^Г$. Тремя координатами (X , Y , Z) определяется положение любой точки и в системе прямоугольных пространственных координат. Эта система не связана с поверхностью модели Земли и поэтому используется при математической обработке результатов спутниковых наблюдений (например, для определения координат точки с помощью спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS).

Однако основной системой координат для выполнения геодезических, инженерно-геодезических и топографических работ, межевания земель и ведения земельного кадастра и осуществления других специальных работ является система плоских прямоугольных координат. Она всегда связана с тем или иным математическим законом (проекцией) изображения поверхности эллипсоида вращения на плоскости. На территории Российской Федерации используется проекция Гаусса-Крюгера.

В любой проекции поверхность модели Земли должна делиться на участки (обычно они называются зонами), которые изображаются на плоскости независимо друг от друга. Граничными линиями зон в проекции Гаусса-Крюгера являются геодезические меридианы. Размеры зон по долготе в принципе могут быть любыми. Обычно используются шести- и трехградусные зоны. Меридиан, проходящий посередине зоны, называется осевым. Изображения осевого меридиана и экватора эллипсоида на плоскости принимаются за координатные оси, а точка их пересечения за начало системы действительных плоских прямоугольных координат. При этом ось абсцисс направлена на север, а ось ординат на восток.

Таким образом, в каждой зоне имеется своя система координат. Для того, чтобы различать зоны, необходимо знать либо ее номер, присвоенный заранее, либо долготу ее осевого меридиана L_0 . Для выполнения взаимных преобразований координат из одной системы в другую с необходимой точностью в геодезической литературе имеются строгие формулы, позволяющие решать эти задачи на любом эллипсоиде вращения [1, 2, 3]. Для выполнения вычислений (переходов, изображенных вертикальными стрелками на рис. 1) необходимо использовать параметры применяемого эллипсоида вращения (a , e^2) и долготу осевого меридиана L_0 выбранной зоны.

С другой стороны, каждая из перечисленных систем координат может быть общеземной и государственной. Примерами общеземных систем координат являются в настоящее время системы ПЗ-90 и WGS-84, а государственных – СК-42 и СК-95. Для горизонтальных связей между системами (рис. 1) также имеются специальные формулы [1]. Однако числовые значения параметров преобразования систем СК-42 и ПЗ-90 известны с недостаточной для решения многих задач точностью. Это явилось одной из причин ввода на территории России новой единой государственной системы координат 1995 года (СК-95). Новая система координат введена постановлением № 586 Правительства

Российской Федерации от 28 июля 2000 года и обязательна при осуществлении геодезических и картографических работ начиная с 1 июля 2002 года.

Кроме этого, система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера может быть местной. Под местной системой понимается такая система координат, в которой начало отсчета координат и ориентировка осей координат смещены по отношению к началу отсчета и положению координатных осей в единой государственной системе координат. В свою очередь, внутри систем местных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера, по нашему мнению, можно выделить две группы: региональные (СКР) и собственно местные (СКМ).

Региональными плоскими прямоугольными координатами Гаусса-Крюгера следует считать те, которые реализуются в нескольких зонах на территории субъектов Российской Федерации, а местными – те, которые вводятся на территории населенных пунктов, строительных площадок и т. п. и реализуются в одной зоне.

В соответствии с Федеральным законом «О геодезии и картографии» Правительство Российской Федерации постановлением № 139 от 3 марта 2007 года утвердило Правила установления местных систем координат. Утвержденные Правила позволяют устанавливать местную (региональную, условную) систему координат на ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации. Такая система координат устанавливается для проведения геодезических и топографических работ при выполнении инженерных изысканий, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ.

Применяемая организациями Федерального агентства «Роснедвижимость» в Новосибирской области региональная система координат (МСК-54) связана со старой государственной системой СК-42, которая в настоящее время не рекомендована к использованию. Поэтому координаты новых пунктов государственных геодезических сетей в каталогах координат будут приведены в новой государственной системе координат СК-95. Для использования этих пунктов в качестве исходных при производстве работ по межеванию земель и ведению кадастров, выполнении инженерных изысканий, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений на территории НСО их координаты необходимо будет преобразовывать в региональную систему. Если СКР опирается на СК-42, то появится необходимость в дополнительном преобразовании координат из СК-95 в СК-42. Такой переход, в настоящее время, не может выполняться строго и с достаточной точностью.

Поэтому одним из основных принципиальных положений при вводе СКР на современном этапе является использование новой государственной системы координат (СК-95). Только в этом случае появится возможность строгого преобразования координат (прямого и обратного) из новой государственной (СК-95) в региональную систему координат. Кроме этого повысится оперативность и точность таких преобразований на территории области.

На территории Новосибирской области предполагается использовать систему 3^0 зон Гаусса-Крюгера. Минимальное количество таких зон на

территории области может быть сведено к четырем (область находится в широтном поясе $53^{\circ}18' - 57^{\circ}10'$ и ограничена меридианами с долготами 75° и $85^{\circ}10'$). Относительные искажения на краю таких зон с учетом взаимного перекрытия в 0.5° не будут превышать величины $1/4200$ (без учета перекрытия $1/8000$). Такие искажения можно будет не учитывать при выполнении топографической съемки масштаба $1/1000$ и мельче.

Долгота осевого меридиана первой зоны $L_0^{(1)}$ будет являться одним из параметров перехода (ключей) от СК-95 к СКР и обратно. В этом случае долготу осевого меридиана любой 3^0 зоны можно будет вычислить по формуле

$$L_0^{(k)} = L_0^{(1)} + 3^0(k-1), \quad (1)$$

где k – номер 3^0 зоны.

Таким образом началом региональных действительных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x_p, y_p в каждой зоне будет являться точка пересечения изображений осевого меридиана этой зоны и экватора.

В каталогах координат будут помещаться региональные условные плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера $\dot{x}_p, \dot{y}_p$, которые будут связаны с действительными формулами

$$\dot{x}_p = x_p + x_0, \quad (2)$$

$$\dot{y}_p = y_p + k * 10^6 + y_0. \quad (3)$$

Величины x_0, y_0 также будут являться ключами перехода от СК-95 к СК НСО и обратно. Эти ключи будут являться координатами начала региональной действительной системы плоских прямоугольных координат относительно начала региональной условной системы.

При выборе долготы осевого меридиана $L_0^{(1)}$ первой зоны были рассмотрены три предложения:

1. Граничные меридианы зон (западный первой и восточный четвертой) должны симметрично выходить за границы области.

2. Долгота осевого меридиана одной из зон должна совпадать с долготой осевого меридиана, используемого при установлении системы координат г. Новосибирска. Реализация этого предложения приводило бы к увеличению количества зон на территории области до пяти и поэтому было отклонено.

3. Долготы осевых меридианов зон оставить такие же, как в МСК-54. В этом случае будет обеспечиваться преемственность при переходе от старой системы региональных координат (МСК-54) к новой (СК НСО). Конечно, значения координат всех точек при этом переходе все равно будут меняться.

С учетом большого объема работ, выполненных организациями Федерального агентства «Роснедвижимость», по определению координат точек на территории области авторы отдали предпочтение третьему варианту.

При использовании СКР будет возникать необходимость в решении двух видов задач:

1. Прямое и обратное преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера из СК-95 в СК НСО.

2. Перевычисление плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера, заданных в СК НСО, из одной зоны в другую.

Технология преобразования условных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x' , y' , заданных в СК-95, в условные плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера x_p , y_p СК НСО должна содержать шесть этапов:

1. Определение номера n шестиградусной государственной зоны по формуле

$$n = \text{целое}\left(\frac{y'}{10^6}\right), \quad (4)$$

где "целое" означает процедуру выделения целого путем отбрасывания дробной части, и получение действительных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x , y в СК-95

$$x = x', \quad (5)$$

$$y = y' - n * 10^6 - 5 * 10^5. \quad (6)$$

2. Вычисление геодезических координат (широты B и долготы L) по действительным координатам Гаусса-Крюгера

$$\beta = \frac{x}{G_0 a (1 - e^2)}, \quad (7)$$

$$B_x = (\beta + Q_1 \sin 2\beta + Q_2 \sin 4\beta + Q_3 \sin 6\beta) \rho, \quad (8)$$

$$G_0 = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \dots, \quad (9)$$

$$G_1 = -\frac{1}{2}\left(\frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \frac{525}{512}e^6 + \dots\right), \quad (10)$$

$$G_2 = \frac{1}{4}\left(\frac{15}{64}e^4 + \frac{105}{256}e^6 + \dots\right), \quad (11)$$

$$G_3 = -\frac{1}{6}\left(\frac{35}{512}e^6 + \dots\right), \quad (12)$$

$$Q_1 = \frac{3}{8}e^2 + \frac{3}{16}e^4 + \frac{213}{2048}e^6 + \dots, \quad (13)$$

$$Q_2 = \frac{21}{256}e^4 + \frac{21}{256}e^6 + \dots, \quad (14)$$

$$Q_3 = \frac{151}{6144}e^6 + \dots, \quad (15)$$

$$B = B_x - \frac{y^2(1 + \eta_x^2) \operatorname{tg} B_x}{2N_x^2} \rho \left\{ \begin{aligned} &1 - \frac{y^2}{12N_x^2} (5 + 3 \operatorname{tg}^2 B_x + \eta_x^2 - 9\eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B_x) + \\ &+ \frac{y^4}{360N_x^4} (61 + 90 \operatorname{tg}^2 B_x + 45 \operatorname{tg}^4 B_x) + \dots \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

$$l = \frac{y}{N_x \cos B_x} \rho \left\{ \begin{aligned} &1 - \frac{y^2}{6N_x^2} (1 + 2 \operatorname{tg}^2 B_x + \eta_x^2) + \\ &+ \frac{y^4}{120N_x^4} (5 + 28 \operatorname{tg}^2 B_x + 24 \operatorname{tg}^4 B_x + 6\eta_x^2 + 8\eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B_x) + \dots \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

$$L_0 = 6n - 3, \quad (18)$$

$$L = L_0 + l, \quad (19)$$

где L_0 – долгота осевого меридиана государственной шестиградусной зоны;
 a – большая полуось эллипсоида вращения;

N_x – радиус кривизны первого вертикала, вычисленный на эллипсоиде с параметрами a , e^2 по геодезической широте B_x ;

$$\eta_x^2 = e'^2 \cos^2 B_x;$$

e^2 – квадрат первого эксцентриситета эллипсоида вращения;

e'^2 – квадрат второго эксцентриситета эллипсоида вращения.

В этих формулах коэффициенты $G_0, G_1, G_2, G_3, Q_1, Q_2, Q_3$ зависят от параметра e^2 эллипсоида вращения. Они будут иметь постоянные значения для выбранного эллипсоида и могут вычисляться заранее. В государственной системе координат СК-95 используется эллипсоид Красовского, параметры которого равны: $a = 6378245.0000$ м; $e^2 = 0.006693421623$; $e'^2 = 0.006738525415$. В региональной системе координат (СК НСО) эллипсоид меняться не будет.

3. Определение номера зоны k в СК НСО

$$k = \text{целое1}\left(\frac{(L - L_0^{(1)} + 3^0)}{3^0}\right), \quad (20)$$

где "целое1" означает процедуру получения целого числа путем округления результата вычисления по правилам Гаусса.

4. Вычисление долготы осевого меридиана $L_0^{(k)}$ зоны с номером k и получение разности долгот l_p в СК НСО

$$L_0^{(k)} = L_0^{(1)} + 3^0(k - 1), \quad (21)$$

$$l_p = L - L_0^{(k)}. \quad (22)$$

5. Определение действительных региональных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x_p, y_p в СК НСО

$$x_p = X + \frac{N \cos B \sin B l_p^2}{2\rho^2} \left\{ \begin{aligned} &1 + \frac{l_p^2 \cos^2 B}{12\rho^2} (5 - \operatorname{tg}^2 B + 9\eta^2) + \\ &+ \frac{l_p^4 \cos^4 B}{360\rho^4} (61 + 58\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B) + \dots \end{aligned} \right\}, \quad (23)$$

$$y_p = \frac{N \cos B l_p}{\rho} \left\{ \begin{aligned} &1 + \frac{l_p^2 \cos^2 B}{6\rho^2} (1 - \operatorname{tg}^2 B + \eta^2) + \frac{l_p^4 \cos^4 B}{120\rho^4} * \\ &*(5 - 18\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \operatorname{tg}^2 B) + \dots \end{aligned} \right\}, \quad (24)$$

где X – длина дуги меридиана от экватора до параллели с широтой B , которую можно вычислить по формуле

$$X = a(1 - e^2) \left(G_0 \frac{B}{\rho} + G_1 \sin 2B + G_2 \sin 4B + G_3 \sin 6B + \dots \right). \quad (25)$$

6. Определение условных региональных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера в СК НСО

$$x'_p = x_p + x_0, \quad (26)$$

$$y'_p = y_p + k * 10^6 + y_0. \quad (27)$$

Технология преобразования региональных условных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x'_p, y'_p , заданных в СК НСО, в условные плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера x', y' в СК-95 также должна содержать шесть этапов:

1. Определение номера k трехградусной региональной зоны в СК НСО по формуле

$$k = \text{целое}\left(\frac{y'_p}{10^6}\right), \quad (28)$$

где "целое" означает процедуру выделения целого путем отбрасывания дробной части, и получение действительных региональных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x_p, y_p в СК НСО

$$x_p = x'_p - x_0, \quad (29)$$

$$y_p = y'_p - k * 10^6 - y_0. \quad (30)$$

2. Вычисление геодезических координат (широты B и долготы L) по действительным региональным координатам Гаусса-Крюгера

$$\beta' = \frac{x_p}{G_0 a (1 - e^2)}, \quad (31)$$

$$B'_x = (\beta' + Q_1 \sin 2\beta' + Q_2 \sin 4\beta' + Q_3 \sin 6\beta') \rho, \quad (32)$$

$$B = B'_x - \frac{y_p^2 (1 + \eta_x^2) \operatorname{tg} B'_x}{2 N_x^2} \rho \left\{ 1 - \frac{y_p^2}{12 N_x^2} (5 + 3 \operatorname{tg}^2 B'_x + \eta_x^2 - 9 \eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B'_x) + \right. \\ \left. + \frac{y_p^4}{360 N_x^4} (61 + 90 \operatorname{tg}^2 B'_x + 45 \operatorname{tg}^4 B'_x) + \dots \right\}, \quad (33)$$

$$l_p = \frac{y_p}{N_x \cos B'_x} \rho \left\{ 1 - \frac{y_p^2}{6 N_x^2} (1 + 2 \operatorname{tg}^2 B'_x + \eta_x^2) + \right. \\ \left. + \frac{y_p^4}{120 N_x^4} (5 + 28 \operatorname{tg}^2 B'_x + 24 \operatorname{tg}^4 B'_x + 6 \eta_x^2 + 8 \eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B'_x) + \dots \right\}, \quad (34)$$

$$L_0^{(k)} = L_0^{(1)} + 3^0 (k - 1), \quad (35)$$

$$L = L_0^{(k)} + l_p, \quad (36)$$

где N_x – радиус кривизны первого вертикала, вычисленный на эллипсоиде с параметрами a, e^2 по геодезической широте B'_x

$$\eta_x^2 = e'^2 \cos^2 B'_x.$$

3. Определение номера зоны n в СК -95

$$n = \text{целое1}\left(\frac{(L + 3^0)}{6^0}\right), \quad (37)$$

где "целое1" означает процедуру получения целого числа путем округления результата вычисления по правилам Гаусса.

4. Вычисление долготы осевого меридиана L_0 зоны с номером n и получение разности долгот l в СК-95

$$L_0 = 6^0 n + 3^0, \quad (38)$$

$$l = L - L_0. \quad (39)$$

5. Определение действительных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера x, y в СК-95

$$x = X + \frac{N \cos B \sin B l^2}{2\rho^2} \left\{ 1 + \frac{l^2 \cos^2 B}{12\rho^2} (5 - \operatorname{tg}^2 B + 9\eta^2) + \right. \\ \left. + \frac{l^4 \cos^4 B}{360\rho^4} (61 + 58\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B) + \dots \right\}, \quad (40)$$

$$y = \frac{N \cos B l}{\rho} \left\{ 1 + \frac{l^2 \cos^2 B}{6\rho^2} (1 - \operatorname{tg}^2 B + \eta^2) + \frac{l^4 \cos^4 B}{120\rho^4} * \right. \\ \left. * (5 - 18\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \operatorname{tg}^2 B) + \dots \right\}, \quad (41)$$

где X – длина дуги меридиана от экватора до параллели с широтой B , которую можно вычислить по формуле (25).

6. Определение условных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера в СК-95

$$x' = x, \quad (42)$$

$$y' = y + n * 10^6 + 5 * 10^5. \quad (43)$$

Формулы (16), (17), (23), (24), (33), (40), (41) приведены в учебном пособии [3] и неоднократно тестировались. Погрешность вычисления геодезических координат по формулам (16), (17), (33), (34) не превышает 0.0001" при разности долгот l до $3^0 30'$. Погрешность вычисления плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера по формулам (23), (24), (40), (41) не превышает 0.001 м при разности долгот l до $3^0 30'$.

Технология перевычисления условных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера $(x'_p)^{(i)}$, $(y'_p)^{(i)}$, заданных в зоне с номером "i" СК НСО, в условные плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера $(x'_p)^{(j)}$, $(y'_p)^{(j)}$ в смежной зоне с номером "j" также может состоять из шести этапов:

1. Вычисление долгот осевых меридианов зон СК НСО по формулам

$$L_0^{(i)} = L_0^{(1)} + 3^0 (i - 1), \quad (44)$$

$$L_0^{(j)} = L_0^{(1)} + 3^0 (j - 1). \quad (45)$$

2. Получение действительных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера в зоне с номером "i"

$$(x_p)^{(i)} = (x'_p)^{(i)} - x_0, \quad (46)$$

$$(y_p)^{(i)} = (y'_p)^{(i)} - i * 10^6 - y_0. \quad (47)$$

3. Вычисление геодезических координат B, L

$$\beta' = \frac{(x_p)^{(i)}}{G_0 a (1 - e^2)}, \quad (48)$$

$$B'_x = (\beta' + Q_1 \sin 2\beta' + Q_2 \sin 4\beta' + Q_3 \sin 6\beta') \rho, \quad (49)$$

$$B = B'_x - \frac{(y_p^{(i)})^2 (1 + \eta_x^2) \operatorname{tg} B'_x}{2N_x^2} \rho \left\{ 1 - \frac{(y_p^{(i)})^2}{12N_x^2} (5 + 3\operatorname{tg}^2 B'_x + \eta_x^2 - 9\eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B'_x) + \right. \\ \left. + \frac{(y_p^{(i)})^4}{360N_x^4} (61 + 90\operatorname{tg}^2 B'_x + 45\operatorname{tg}^4 B'_x) + \dots \right\}, \quad (50)$$

$$l_p^{(i)} = \frac{(y_p^{(i)})}{N_x \operatorname{Cos} B'_x} \rho \left\{ 1 - \frac{(y_p^{(i)})^2}{6N_x^2} (1 + 2\operatorname{tg}^2 B'_x + \eta_x^2) + \right. \\ \left. + \frac{(y_p^{(i)})^4}{120N_x^4} (5 + 28\operatorname{tg}^2 B'_x + 24\operatorname{tg}^4 B'_x + 6\eta_x^2 + 8\eta_x^2 \operatorname{tg}^2 B'_x) + \dots \right\}, \quad (51)$$

$$L = L_0^{(i)} + l_p^{(i)}. \quad (52)$$

4. Определение разности геодезических долгот $l_p^{(j)}$ относительно осевого меридиана зоны с номером "j"

$$l_p^{(j)} = L - L_0^{(j)}. \quad (53)$$

5. Определение действительных региональных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера $(x_p)^{(j)}$, $(y_p)^{(j)}$ в зоне с номером "j" СК НСО

$$(x_p)^{(j)} = X + \frac{N \operatorname{Cos} B \sin B (l_p^{(j)})^2}{2\rho^2} \left\{ 1 + \frac{(l_p^{(j)})^2 \operatorname{Cos}^2 B}{12\rho^2} (5 - \operatorname{tg}^2 B + 9\eta^2) + \right. \\ \left. + \frac{(l_p^{(j)})^4 \operatorname{Cos}^4 B}{360\rho^4} (61 + 58\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B) + \dots \right\}, \quad (54)$$

$$(y_p)^{(j)} = \frac{N \operatorname{Cos} B l_p^{(j)}}{\rho} \left\{ 1 + \frac{(l_p^{(j)})^2 \operatorname{Cos}^2 B}{6\rho^2} (1 - \operatorname{tg}^2 B + \eta^2) + \frac{(l_p^{(j)})^4 \operatorname{Cos}^4 B}{120\rho^4} * \right. \\ \left. * (5 - 18\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \operatorname{tg}^2 B) + \dots \right\}, \quad (55)$$

где длина дуги меридиана X вычисляется по формуле (25).

6. Определение условных региональных плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера в зоне с номером "j" СК НСО

$$(x'_p)^{(j)} = (x_p)^{(j)} + x_0, \quad (56)$$

$$(y'_p)^{(j)} = (y_p)^{(j)} + j * 10^6 + y_0. \quad (57)$$

За поверхность относимости при использовании местной (региональной) системы координат следует принять поверхность эллипсоида Красовского, ориентированного в теле Земли в соответствии с СК-95.

Система счета высот должна быть нормальная.

Таким образом, для взаимосвязи двух систем плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера государственной (СК-95) и региональной (СК НСО) необходимо знать значения трех параметров (ключей). Такими параметрами являются:

- Долгота осевого меридиана $L_0^{(1)}$ первой трехградусной зоны;
- Координаты x_0 , y_0 начала региональной действительной системы плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера относительно начала региональной условной системы.

Наиболее приемлемые для основных пользователей числовые значения перечисленных параметров определены. Авторами подготовлен проект положения о региональной системе координат, устанавливаемой на территории Новосибирской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р 51794-2001). Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек [Текст]. – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.
2. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии: Учебник для вузов [Текст] / П.С. Закатов. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
3. Телеганов, Н.А. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем: Учебное пособие [Текст] / Н.А. Телеганов, А.В. Елагин. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 238 с.

© *А.П. Карпик, К.Ф. Афонин, Н.А. Телеганов, П.К. Шитиков,
Д.Н. Ветошкин, С.В. Кужелев, В.А. Тимонов, 2008*

УДК 528.48

Ю.П. Гуляев

СГГА, Новосибирск

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Yu.P. Gulyaev

SSGA, Novosibirsk

PROGNOSTICATION AS A PART OF GEODESIC MONITORING OF NATURAL-TECHNICAL SYSTEMS

The place and role of prognostication in the geodesic monitoring of natural-technical systems, in geo-ecology and territories sustainable development is identified in the paper. The geodesic monitoring is unique instrument, because only by its means and methods it is possible to determine accurately spatio-temporal position of various controlled Earth objects, change of their dimensions and shapes.

Geodesic data integrally reflect results of complicated interaction of sub-systems in each studied natural-technical system and give quantitative basis for mathematical modeling of observed processes and phenomena. Mathematical modeling synthesizes regularities of the process, which form a basis for the prognostication. The complete monitoring covers observations, evaluation, prognosis of behavior and condition of controlled object. The prognostication allows timely taking preemptive measures for elimination of influence of unfavorable effects of the process development.

It is underlined that today geodesic monitoring of construction deformations is specially developed. At the micro-local level of the hierarchy of the "construction-environment" natural-technical system the geo-dynamic process develops as the result of interaction of the construction with soil basis and environment, which cause deformations. There is prognostication in this research field developed at up-to-date scientific and technical level. It is underlined, that SSGA publishes in 2008 the monograph of present paper author, professor Yu.P. Gulyaev "Prognostication of constructions' deformations based on geodesic observations". The theoretical and methodological basics of mentioned prognostication are stated in the monograph as well as considerable experience of its realization. The part of modeling problems is oriented for self-instruction.

Энциклопедическое толкование мониторинга определяется тремя ключевыми составляющими: наблюдениями, оценкой и прогнозом поведения и состояния исследуемых объектов. Прогноз является сложной вероятностной составляющей и поэтому нередко исключается из содержания мониторинга. Такой не полный по содержанию мониторинг снижает возможности управляющих воздействий, направленных на своевременное ослабление

неблагоприятных последствий в развитии контролируемых процессов. Существуют различные виды мониторинга, назначение и название которых определяются многообразием видов наблюдаемых объектов.

Большинство мониторинговых исследований направлены на экологизацию жизни человеческого общества и регулирования его взаимодействия с природной средой. В основу этого положена геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер [4]. Инструментом контроля и регулирования служит мониторинг природно-технических систем с включением в него функций управляющих воздействий [1, 5]. К природно-техническим системам можно отнести любые системы антропогенной трансформации природной среды. В конечном счете мониторинг природно-технических систем характеризует в большой мере уровень устойчивого развития территорий.

Геодезический мониторинг занимает особое, уникальное место в решении проблем геоэкологии и устойчивого развития в целом. Только его методами и средствами, понимаемыми в широком междисциплинарном смысле, точно определяются пространственно-временное положение всевозможных контролируемых объектов Земли, изменение их размеров и форм. Геодезические данные интегрально отражают результаты сложного взаимодействия подсистем в каждой исследуемой природно-технической системе и служат количественной основой для математического моделирования наблюдаемых процессов и явлений. Территориальное пространство, представленное в виде геодезической информации, позволяет в эквивалентной форме отражать, сравнивать и критериально оценивать через точные метрические характеристики многообразные показатели устойчивого развития.

Наиболее распространенным видом геодезического мониторинга в настоящее время являются наблюдения за процессами деформаций сооружений и технологического оборудования. Сооружение, взаимодействующее с грунтовым основанием и внешней средой, безусловно является природно-технической системой микролокального уровня иерархии. Деформации конструкций сооружения возникают преимущественно из-за деформации его основания, т.е. из-за неравномерной осадки грунтов, а осадка грунтов под давлением массы сооружения представляет собой геодинамический процесс. Такие процессы относятся к геоэкологической категории [3]. В результате реализации геодезического мониторинга деформаций сооружений решаются всегда актуальные задачи обеспечения их надежности, долговечности, безопасности эксплуатации.

Прогнозирование деформации сооружений, соответствующее требованиям геодезического мониторинга, разработано и введено в действие в 1991 г. в виде нормативных рекомендаций [6] Главным управлением геодезии и картографии и Министерством энергетики и электрификации СССР. Однако резкий спад экономики России в период социально-политических преобразований страны не позволил эффективно использовать выполненные разработки. Полагаю, что наступило время для широкого использования и дальнейшего развития этих разработок в составе геодезического мониторинга.

Методологические основы, обеспечивающие эффективность геодезического мониторинга природно-технических систем подробно изложены в статье [2]. Обобщенно они выражаются в комплексности геодезических и других натурных наблюдений, в грамотном структурно-функциональном анализе условий возникновения и развития исследуемых процессов, в обеспечении необходимой пространственно-временной достаточности и измерительной точности наблюдений с учетом степени детерминированности процессов, в корректном математическом моделировании, в т.ч. прогнозировании.

Разработанная методика прогнозирования деформаций сооружений опирается на корреляционную теорию случайных функций при обеспечении условий статистической однородности моделируемых реализаций процесса, их линейности и нормальности распределения. В необходимых случаях производится формирование статистически однородных групп реализаций, линеаризация и нормализация процесса известными способами преобразования. Выполнение вышеуказанных условий позволяет оптимально оценивать параметры прогнозной кинематической и динамической моделей в виде двух первых условных моментных функций по простейшему критерию минимума средней квадратической погрешности. В таком случае обеспечивается решение задач статистического синтеза без априорной информации и находятся наилучшие прогнозы по каждой реализации процесса с предвычислением их точности. Реализации процесса определяются контролируемыми перемещениями конкретных деформационных марок, положение которых известно. Имеющийся опыт прогнозирования деформаций сооружений подтверждает его высокую точность.

В 2008 г. СГГА издает монографию автора данного доклада, имеющую название «Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений». В ней изложены методологические и теоретические основы рассматриваемого прогнозирования, представлены разработки кинематической прогнозной модели и ряда модификаций динамической прогнозной модели в виде дифференциальных и рекуррентных уравнений, показаны методика прогнозирования и значительный опыт его реализации. Опыт отражает результаты контрольного прогнозирования деформаций сооружений ГЭС, осадки высотного здания МГУ, микроперемещений уникальных прецизионных объектов, просадки здания при направленном замачивании лессовых грунтов его основания. Уникальны результаты успешного опыта контрольного прогнозирования осадки элеваторных сооружений, выполненного с помощью динамической модели методом аналогии для стадии проектирования. В монографии возможно доступно изложена ее математическая часть, ряд примеров моделирования дан с расчетом на самостоятельное освоение решения прогнозных задач.

Математическое моделирование, в т.ч. прогнозирование, выполняемое на основе корреляционной теории случайных функций, может успешно распространяться на другие виды процессов, характеризующих геоэкологическую обстановку и в целом состояние устойчивого развития.

Для этого нужно обеспечить при формировании исходной информации условия статистической однородности, линейности и нормальности. Наиболее сложным и главным является статистическая однородность реализаций моделируемого процесса, определяющая степень его детерминированности, т.е. правомерность перехода от критериев выборочного метода к критерию статистической однородности. В конечном счете статистическая однородность обеспечивает высокий уровень достоверности прогнозирования. Выполнение условия статистической однородности останется главным и при разработке новых эффективных методов прогнозирования поведения и состояния природно-технических систем. Идентификаторами статистической однородности при математическом моделировании геоэкологической составляющей устойчивого развития могут служить физико-географические характеристики территорий, в частности – геологическое строение, геоморфологические особенности, климатические условия и др. Для оценки статистической однородности социально-экономических показателей устойчивого развития должны использоваться соответствующие идентификаторы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гамбурцев, А.Г. Концепция мониторинга природно-технических систем / А.Г. Гамбурцев // Геоэкология. – 1994. - № 4. – С. 12–19.
2. Гуляев, Ю.П. О методологии геодезического мониторинга природно-технических систем / Ю.П. Гуляев // Геодезия и картография. – 2006. – № 3. – С. 19–24.
3. Гуляев, Ю.П. Задачи экогеологического и деформационного мониторинга / Ю.П. Гуляев, А.И. Каленицкий // Геодезия и картография. – 1996. - № 3. – С. 49–51.
4. Осипов, В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер / В.И. Осипов // Геоэкология. – 1993. – № 1. – С. 4–18.
5. Рагозин, А.Л. Основные подходы к организации мониторинга природно-технических систем с целью снижения ущерба от природных и техноприродных катастроф / А.Л. Рагозин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВИНТИ, 1993. – С. 42–50.
6. Рекомендации по прогнозированию деформаций сооружений гидроузлов на основе результатов геодезических наблюдений / под науч. ред. Ю.П. Гуляева. – Л.: ВНИИГ, 1991. – 60 с.

© Ю.П. Гуляев, 2008

УДК 528.48

Ю.П. Гуляев, Л.А. Максименко

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ОСАДКИ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ МГУ

Yu. P. Gulyaev, L.A. Maksimenko

SSGA, Novosibirsk

ANALYSIS OF SETTLING PROCESS DEVELOPMENT OF HIGH-RISE MSU BUILDING

The methodology developed by authors of the paper of analysis of high-rise MSU building condition based on long-term observations of its settling is demonstrated. The methodology is based on application of a number of statistical characteristics of building settling, reflecting specificities of process development, application of forecasting kinematic models. Urgency of the subject is explained by the problem of appearance of extreme deformations of soil basis of high-rise buildings, raising in the surroundings of existing buildings.

Результаты геодезических наблюдений за осадкой высотного здания МГУ в период с 1949 г. по 1971 г. были в свое время любезно переданы одному из авторов доклада заведующим лабораторией механики грунтов НИИ оснований Госстроя СССР д.т.н. профессором К.Е. Егоровым и д.т.н. профессором П.И. Брайтом. Считаем, что методика анализа этих результатов, разработанная авторами доклада, актуальна, поскольку в настоящее время существует острая проблема возникновения предельных деформаций оснований высоких зданий точечной застройки, возводимых среди существующих зданий. Предлагаемая методика анализа базируется на использовании ряда статистических характеристик осадки здания, отражающих особенность развития деформационного процесса, и на применении прогнозных кинематических моделей. Значимость статистических характеристик и достоверность прогнозов обеспечиваются детерминированно - вероятностной природой развития процесса осадки.

Исследования выполнялись по геодезическим данным, полученным из 12-ти циклов наблюдений за осадкой 31 марки. Эти марки заложены преимущественно в центральной части нижней железобетонной плиты коробчатого фундамента и частично на примыкающих крыльях (рис. 1). Первый привязочный цикл был приурочен к завершению бетонирования нижней плиты фундамента в 1949 г. Строительный период продолжался 2,5 года, рост нагрузки на основание полностью прекратился через 3,5 года. Нивелирование глубинных реперов и осадочных марок производилось соответственно по программе I и II классов.

Для анализа развития процесса осадки обычно используются статистические характеристики средней осадки и ее средней скорости, которые обозначим как полученные из наблюдений оценки математических ожиданий $\bar{M}_x(t)$ и $\bar{M}_V(\tau)$. Здесь x – осадка, V – скорость осадки, t – текущее время, приуроченное к циклам наблюдений, τ – межцикловой интервал времени. Однако эти важные характеристики неполностью отражают особенности развития процесса осадки. Нами введен и дополнительно исследован ряд статистических характеристик, вычисляемых по отнаблюдаемым значениям осадки, изменение которых во времени дает новую полезную информацию. Наиболее эффективными являются оценки коэффициентов вариации осадки $\bar{V}_x(t)$, разностей осадки симметричных марок $\bar{V}_s(t)$, а также математическое ожидание прогиба фундамента $\bar{M}_f(t)$.



Рис. 1. Схема размещения осадочных марок и изолинии осадки здания МГУ

Коэффициенты вариации процесса представляют безразмерные стандартные для всевозможных условий соотношения между колебаниями исследуемого параметра и его средним значением. Для $\tilde{v}_x(t)$ колебания выражаются через стандарт $\tilde{\sigma}_x(t)$, характеризующий степень неравномерности осадки. Из опыта геодезических наблюдений за осадками зданий давно

выявлена важная закономерность возрастания неравномерности осадки по мере увеличения ее среднего значения. На этой закономерности базируется простой и объективный способ проектных расчетов деформации оснований зданий по предельно допустимым средним осадкам [1, 3].

Значения разностей осадки марок, заложенных симметрично относительно продольной, поперечной и диагональных осей контура здания, отражают влияние неоднородного состава и сложения грунтов основания на неравномерность осадки при условии, что нагрузки на основание действуют также симметрично. Следовательно, коэффициент вариации, $\bar{v}_s(t)$ характеризует особенности развития неравномерности осадки, обусловленные неоднородностью грунтов основания. Оценка $\bar{M}_f(t)$, вычисляемая по значениям абсолютного прогиба фундамента в наиболее ответственной контролируемой зоне, позволяют судить об особенностях деформаций самого фундамента. Для всех рассмотренных выше статистических характеристик могут быть установлены из опыта и путем имитационного моделирования предельно допустимые критерии их изменения в определенных условиях. При этом возможно исследование проблемы обоснования переменной точности геодезического контроля в связи с приближением деформаций конструкций к предельному состоянию [2].

На рис. 2 показан график изменения во времени рассматриваемых статистических характеристик осадки высотного здания МГУ, а также марок № 19 и 27, имеющих минимальную и максимальную осадку. Кроме того, здесь представлены результаты прогноза вышеуказанных параметров на срок 50 лет, считая с начала строительства. Значения $\bar{M}_x(t)$ и $\bar{v}_x(t)$ определены по осадке 31 марки, значения $\bar{M}_v(t)$ вычислены на интервалах времени t между циклами наблюдений. Значения $\bar{v}_s(t)$ получены по разностям осадки марок, расположенных симметрично относительно диагональных осей контура здания. Значения $\bar{M}_f(t)$ найдены по величинам абсолютного продольного прогиба фундаментной плиты на всех осадочных арках центральной части здания. Прогнозирование оценок $\bar{M}_x(t)$, $\bar{M}_v(t)$ осуществлялось путем экстраполяции по уравнениям регрессии, аппроксимированным на всем периоде наблюдений.

Значения средней осадки $\bar{M}_x(t)$ и скорости ее изменения $\bar{M}_v(t)$ характеризуют общую для строительного и эксплуатационного периодов закономерность развития наблюдаемого процесса. При этом в строительный период они, как и другие статистические характеристики, отражают реакцию поведения нижней железобетонной плиты коробчатого фундамента на быстрый неравномерный рост нагрузки и на соответствующее ей уплотнение грунтов основания. Однако при отсутствии дополнительной ретроспективной информации об изменении условий эксплуатации трудно объяснить некоторые выделяющиеся колебания этих статистических характеристик. Сравнительный совместный анализ колебаний всех рассматриваемых характеристик позволяет логически объяснить проявляющиеся особенности развития процесса осадки.

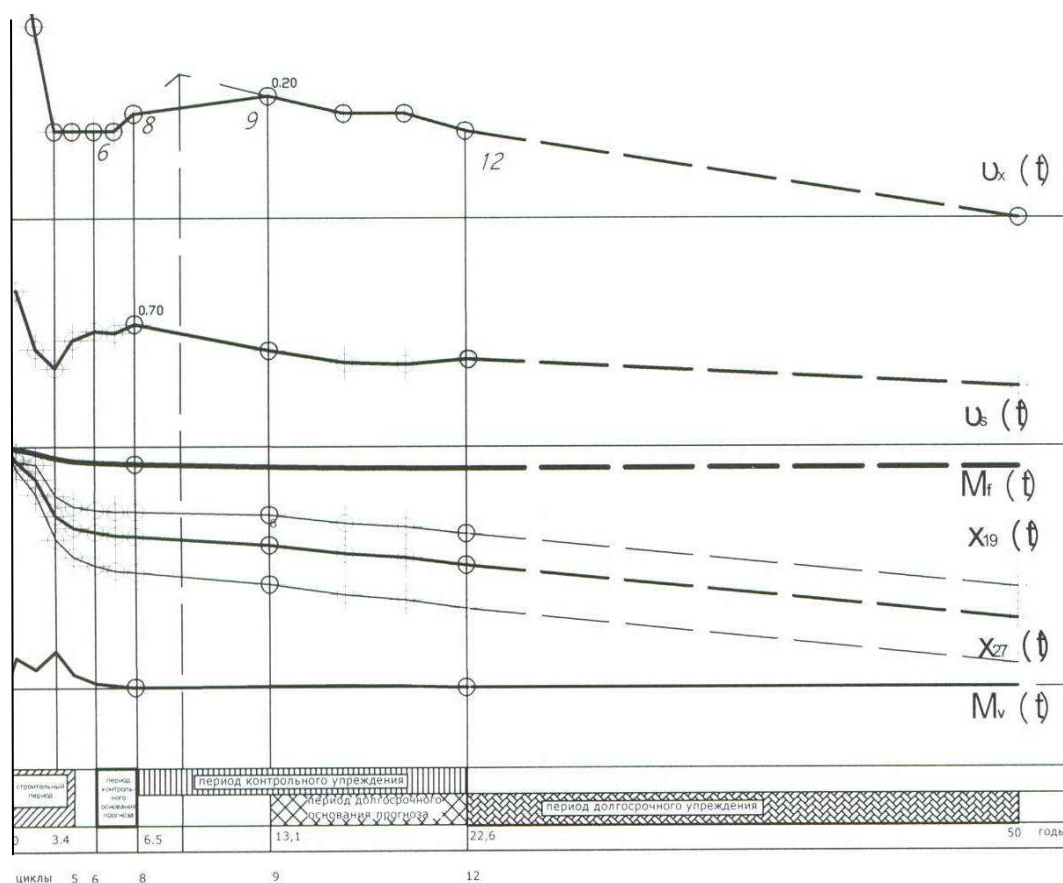


Рис. 2. Графики изменения статистических характеристик осадки здания МГУ

Первым в эксплуатационный период проявилось в 8 цикле наблюдений заметное возрастание значений $\overline{U}_s(t)$. Затем в 9 цикле зафиксировано максимальное для эксплуатационного периода увеличение значения $\overline{U}_x(t)$, а в 10 цикле возникло последующее увеличение скорости осадки $\overline{M}_v(t)$. Указанные изменения статистических характеристик можно обоснованно интерпретировать как инерционную взаимосвязь неравномерности осадки, возникшей в 8-ом цикле наблюдений. Изменение состояния здания зафиксировано в отчете НИИ оснований Госстроя СССР, где отмечалось в 9 цикле наблюдений за осадкой появление волосяных трещин в стенах жесткости коробчатого фундамента. При внимательном рассмотрении на рис. 1 графика изменений $\overline{U}_x(t)$ стало очевидным, что увеличение интервала с 1 года между 7 и 8 циклами до 6,6 лет между 8 и 9 циклами привело к потере ценной информации о характере развития осадки. По-видимому, 9 цикл наблюдений выполнялся после обнаружения трещин. Нами установлено путем аналитической засечки, что максимальные значения $\overline{U}_x(t)$ относятся к $t = 10,8$ года (на рис. 1 показано пунктиром). Отметим, что статистические характеристики $\overline{U}_x(t)$, $\overline{U}_s(t)$ имеют небольшие значения и невелик диапазон их изменения, что может показаться на первый взгляд случайным. Однако в силу возможного соотношения между оценками стандарта и математического ожидания коэффициенты вариации изменяются преимущественно в пределах от 0 до 1, что показывает также опыт вычисления их значений для аварийных

зданий. Сильная детерминированность процесса осадки, высокий класс строительства здания МГУ и геодезического контроля обеспечивают значимость даже небольших колебаний статистических характеристик. Это подтверждается логичностью вышеприведенной интерпретации и фактами конфигурации изолиний осадки (рис. 1), появлением волосяных трещин.

В целом анализ изменения рассмотренных статистических характеристик и результатов прогнозирования привел к выводу о фактической стабилизации осадки высотного здания МГУ и его хорошем качественном состоянии через 50 лет с начала строительства. На это указывает практическое уменьшение до нуля скорости развития осадки, снижение коэффициента вариации осадки в эксплуатационный период с 0,21 до 0,13 при росте средней осадки до 99,5 мм. В эксплуатационный период ожидалось уменьшение значения $\hat{\sigma}_f(t)$ с 0,70 до 0,34, а значения $\hat{M}_f(t)$ с 12,90 до 12,14. Тенденция к уменьшению прогиба фундаментной плиты в эксплуатационный период соответствует теоретическим положениям, представленным в работе [4]. Прогнозные оценки $\hat{M}_x(t)$, $\hat{\sigma}_x(t)$, $\hat{M}_f(t)$ находились с использованием разработанных нами кинематических моделей.

Продemonстрируем методику построения и применения прогнозной кинематической модели на примере оценки ожидаемых значений минимальной и максимальной осадки марок № 19 и № 27 и их разности. Кинематическая прогнозная модель осадки конкретной марки с номером i выражается следующими уравнениями двух первых условных моментных функций исследуемого процесса:

$$\left. \begin{aligned} \hat{M}_{x_i}(t_2/t_1) &= \hat{M}_x(t_2) + \hat{r}_x(t_2, t_1) \frac{\hat{\sigma}_x(t_2)}{\hat{\sigma}_x(t_1)} \left[x_i(t_1) - \hat{M}_x(t_1) \right], \\ \hat{\sigma}_x(t_2/t_1) &= \hat{\sigma}_x(t_2) \sqrt{1 - \hat{r}_x^2(t_2, t_1)}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где t_1 – время конца периода основания прогноза, на котором по результатам геодезических наблюдений строится кинематическая модель; t_2 – конец периода упреждения; значки $\sim$ и $\wedge$ означают соответственно статистические и аппроксимированные значения оценок; $\hat{M}_{x_i}(t_2/t_1)$ – прогноз осадки i -той марки на момент времени t_2 при условии, что известны значения $x_i(t_1)$, $\hat{M}_x(t_2)$, $\hat{r}_x(t_2, t_1)$, $\hat{\sigma}_x(t_2)$, экстраполированные на время t_2 по уравнениям аппроксимирующим их изменение на периоде основания прогноза; $\hat{\sigma}_x(t_1)$, $\hat{M}_x(t_1)$ – статистические оценки стандарта и математического ожидания в конце периода основания прогноза; $\hat{\sigma}_x(t_2/t_1)$ – стандарт, характеризующий ожидаемую погрешность прогноза в t_2 при условии, что она известна в t_1 .

В практике целесообразно находить прогноз разности осадки характерных марок, т. е. неравномерности осадки. При этом, как правило, повышается точность прогнозов потому, что в разностях компенсируются неточности

аппроксимации и экстраполяции $\hat{M}_x(t_2)$. Очевидно, что прогноз неравномерности осадки марок с номерами i и j определится по формуле:

$$M_{\Delta x}(t_2 / t_1)_{xi,j} = \hat{r}_x(t_2, t_1) \frac{\hat{\sigma}_x(t_2)}{\hat{\sigma}_x(t_1)} \Delta x(t_i)_{i,j}. \quad (2)$$

Перед выполнением моделирования процесса осадки здания МГУ была проверена и подтверждена статистическая однородность реализаций процесса, их линейность и нормальность распределения на выбранных контрольных периодах основания прогноза и упреждения. В целях проверки адекватности модели осуществлялось на первом этапе контрольное прогнозирование. Для этого модель строилась на периоде основания прогноза, охватывающем 6, 7, 8 циклы наблюдений, т. е. продолжительностью 2 года, а контрольное прогнозирование выполнялось на 12 цикл наблюдений, т. е. с упреждением, равным 16,3 года. На втором этапе период основания прогноза охватывал 9, 10, 11, 12 циклы наблюдений, т. е. 9,7 года, а упреждение долгосрочного прогноза составляло 27,2 года, т. е. приходилось на срок, равный 50 годам, считая с начала строительства.

Приводим результаты построения модели (2) и выполненного по ней контрольного прогнозирования. Аппроксимация параметров модели выразилась следующими уравнениями и теснотой зависимости, характеризующей корреляционными отношениями:

$$\begin{aligned} \hat{r}_x(t_2, t_1) &= 1.00595e^{-0.000449t_2}, & \eta_{rt} &= 0,998; \\ \hat{\sigma}_x(t_2) &= \frac{t_2}{0,158 + 0,0759t_2}, & \eta_{\sigma t} &= 0,9998. \end{aligned}$$

Подставляя в (2) экстраполированные по вышеприведенным выражениям значения $\hat{r}_x(t_2, t_1)$, $\hat{\sigma}_x(t_2)$, а также статистическую оценку $\hat{\sigma}_x(t_1)$ и наблюдавшуюся в конце периода основания прогноза неравномерность осадки

$$\Delta x(t_1)_{19,27} \text{ получили: } \hat{M}_{\Delta x}\left(\frac{22,8}{6,5}\right)_{19,27} = 0,985 \left(\frac{12,184}{9,939}\right) \cdot 35 = 42,7 \text{ мм.}$$

Фактическая неравномерность осадки между марками № 19 и № 27 в 12 цикле наблюдений достигла 43 мм, т. е. практически совпала с прогнозом. Предвычисленная погрешность прогноза, вычисленная по (1) равна $\hat{\sigma}_{\Delta x}(22,8 / 6,5) = 12,18 \sqrt{1 - 0,985^2} = 2,1$ мм. Таким образом, подтвердилась адекватность прогнозной модели осадки здания МГУ. Выполненное аналогично долгосрочное прогнозирование дало следующие результаты,

$$\text{отраженные на рис. 2: } \hat{M}_x\left(\frac{50}{22,8}\right)_{27} = 125,2 \text{ мм; } \hat{M}_{\Delta x}\left(\frac{50}{22,8}\right)_{19,27} = 44,6$$

$$\text{мм; } \hat{\sigma}_x\left(\frac{50}{22,8}\right) = 2,3 \text{ мм. Таким образом, дальнесрочный прогноз также}$$

подтвердил стабилизацию осадки здания МГУ. К сожалению, у авторов доклада отсутствуют данные современных наблюдений за осадкой этого здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брайт, П.И. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений / П.И. Брайт. – М.: Недра, 1965. – 298 с.
2. Гуляев, Ю.П. анализ подходов к обоснованию точности геодезических наблюдений за деформационными процессами / Ю.П. Гуляев // Геодезия и картография. – 2007. – № 8. – С. 11–16.
3. Егоров, К.Е. К вопросу о допускаемых осадках фундаментов сооружений // Труды НИИ оснований и фундаментов / К.Е. Егоров. – М., 1952. – Т. 18. – С. 5–16.
4. Токарь, Р.А. О расчете оснований по деформациям / Р.А. Токарь // Труды НИИ оснований и фундаментов. – М., 1956. – Т. 30. – С. 5–12.

© Ю.П. Гуляев, Л.А. Максименко, 2008

УДК 528.926:004

Д.В. Лисицкий, Е.В. Комиссарова

СГГА, Новосибирск

РАСШИРЕНИЕ ЯЗЫКА КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕРРИТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ МЕТОДОВ И ГИПЕРФАЙЛОВОГО ПРИНЦИПА

D.V. Lisitsky, Ye.V. Komissarova

SSGA, Novosibirsk

EXTENSION OF CARTOGRAPHIC IMAGE LANGUAGE IN TERRITORIAL GEOREFERENCED DATA BASIS BY MEANS OF MULTIMEDIA TECHNIQUES AND HYPERFILE CONCEPT

Nowadays multimedia is one of the most promising and popular trend of information science. As multimedia techniques and hyperfile concept can be used in cartography now, it is necessary to give a new meaning to the cartographic image language.

The article considers multimedia applications which can be of interest for cartography. As a result of the investigation, a number of multimedia techniques advantages have been revealed as compared with the traditional methods to be used for cartographic image in the territorial georeferenced data basis.

The concept of multimedia cartography is defined more exactly and a new concept of hyperfile reference is introduced. In the context of multimedia techniques, a new interpretation of the three basic component semiotic principles is given. They are: semantics, syntactics and pragmatics.

The use of multimedia techniques together with hyperfile references for cartographic image signs system helps to resolve the contradiction of the map readability and its information volume enlargement.

Main properties of cartographic symbols are considered using multimedia techniques and hyperfile concept.

Во все времена используемая в картографии знаковая система, включая условные обозначения, способы изображения, правила их построения, употребления и чтения, является языком картографического изображения.

В связи с развитием компьютерного общества, характерного для информационного века, изменилась сущность и роль картографических изображений в геоинформационном обеспечении территории, поэтому внимание к языку карты сейчас особенно возросло.

Развитие технических и программных средств, привело к появлению понятия «мультимедиа» и сегодня это бурно развивающаяся информационная

технология, проникающая во все сферы человеческой деятельности, в том числе и картографию. Возможность применения мультимедийных методов и гиперфайлового принципа в картографии привела к необходимости переосмысления языка картографического изображения.

Рассмотрим вначале базовые возможности мультимедиа, обеспечивающие интерес специалистов различных профилей, и картографов в том числе, к этой технологии:

- Представление информации в новых формах (видео, звук, анимация, ссылки к Интернет-ресурсам);
- Объединение разнородной информации в единой компьютерной информационной среде;
- Представление информации с помощью комбинации множества форм, интуитивно понятных для человека;
- Художественный дизайн интерфейса и средств навигации;
- Наличие аппаратного и программного обеспечения для мультимедийных форм, реализующих определенный набор стандартов;
- Создание авторских систем, дающих возможность пользователям изготавливать свои прикладные мультимедиа-программы, не имея при этом большого опыта программирования;
- Использование многообразия форм информации в одном информационном продукте;
- Наличие несколько сюжетных линий в содержании мультимедиа-продукта;
- Выстраивание сюжетных линий на основе «свободного поиска и/или выбора» самим пользователем в рамках предложенной в содержании мультимедиа-продукта информации;
- Новый уровень интерактивного общения «человек-компьютер». В диалоге с компьютером пользователю отводится активная роль и тогда в процессе диалога пользователь получает информацию.

Применение мультимедийных методов при создании картографических произведений позволяет в достаточной степени реализовать главную тенденцию современной картографии – предоставление пользователю все больших (но не избыточных!) объемов информации при максимально наглядном её отображении на основе «индивидуального поиска и/или выбора» информации самим пользователем в рамках картографического произведения и ссылок к Интернет-ресурсам.

В результате наших исследований можно выделить *ряд достоинств использования мультимедийных методов в картографическом изображении при геоинформационном обеспечении территории:*

- Дополнение геоинформационной и картографической информации другими формами (видео, звук, анимация, ссылки к Интернет-ресурсам);

- Сочетание условных знаков картографического изображения в статике и динамике, то есть появились новые возможности показать динамику какого-либо явления;

- Сочетание интегрированного представления картографируемой территории в целом и представления отдельных ее объектов более детально с помощью мультимедийной информации (фото, видео, звука, анимации);

- Расширение области использования картографической информации (например, подключение новых пользователей с ограниченными способностями- слабовидящие, но с хорошим слухом – звуки среды обитания и речь диктора; слабослышащие, но с нормальным зрением – анимация, текст, изображение, видео);

- Обеспечение поиска необходимой информации на картографическом изображении – автоматически, то есть посредством гиперфайловых ссылок к отдельным страницам в виде разделов, рубрик, тематических слоев или через глобальный поиск по всему содержанию картографического изображения с использованием ключевого слова;

- Интерактивное взаимодействие пользователя с картографическим изображением, то есть использование мультимедийных методов, пользовательских и поисково-информационных средств в интерактивном режиме работы с картографическим изображением создают интерактивную среду, в которой пользователь получает возможность не только максимально полно получать конечную картографическую информацию о нужной ему территории, но и приобретать навыки работы с картографическим и дополнительным материалом, представленным в разных формах;

- Активное воздействие картографического изображения на пользователя в процессе работы и т. д.;

- Взаимное согласование видеосюжета, голоса диктора, музыкального и шумового сопровождения с визуальным картографическим изображением, что способно намного ярче запечатлеть в памяти пользователя интересующую его информацию о территории. Тактильные ощущения во время работы с картографическим изображением ещё больше усиливает эффект и способность запоминания информации у пользователя. Распространенное и в определенной степени обоснованное мнение, говорит о том, что запоминается 20% того, что слышим, 40% того, что видим и слышим и 75% того, что видим, слышим и делаем.

Несмотря на то, что по сути дела возникло новое понятие в картографии (мультимедийная картография), её точное значение, к сожалению, до сих пор неопределенно. Данный термин появился несколько лет назад, точного и однозначного его определения нет до сих пор. Нами в работе [1] на основе собственных исследований, обзора и анализа работ Берлянта А.М., Кошкарёва А.В., Тикунова В.С. [2-4] и других, было предложено определение мультимедийной картографии и показана ее сущность.

Дальнейшая работа в данной научно-практической области позволяет нам уточнить сущность *мультимедийной картографии* следующим образом: это сочетание разнообразных методов, приемов картографии и мультимедиа, программных и технических средств, позволяющих осуществлять совместную интеграцию картографического изображения и другой информации в форме текста, звукового сопровождения, графиков, фотографий, видеосюжетов, рисунков, анимации, двух и трехмерных моделей. При этом, расширяется объём информации картографического изображения с помощью гиперфайловых ссылок на основе индивидуального поиска и/или выбора информации самими пользователями в рамках картографического произведения (карты, атласа и др.), а также ссылок к Интернет-ресурсам, и обеспечивается интерактивное взаимодействие пользователей с картографическим изображением.

Объём информации в картографическом изображении расширяется с помощью перекрестных ссылок между разными файлами. Нами предлагается обозначить ссылки термином «гиперфайловые» и определить это понятие следующим образом: *гиперфайловая ссылка* – это способ организации работы с мультимедийными средствами и организация мультимедийных массивов картографического изображения в виде фотографии, текста, звукового сопровождения, анимации, видеосюжета и т. д., которые соединены между собой системой перекрестных ссылок. Гиперфайловая ссылка в картографическом изображении дает возможность пользователю осуществить важнейший системный принцип – движение от общего к частному, гибкий и оперативный поиск, визуализацию картографической информации с использованием этих ссылок, при активации которых быстро выводить необходимую информацию на экран компьютера.

Из вышесказанного можно дать следующее краткое определение *мультимедийной картографии* – это сочетание разнообразных методов картографии и мультимедиа в интерактивном режиме с помощью гиперфайловых ссылок.

Важнейшим достоинством мультимедийной картографии является разрешение «вечного» противоречия в картографии между объемом информации и читаемостью картографического изображения. Например, при создании традиционных картографических произведений всегда возникает желание, как можно полнее дать информацию об объектах и явлениях, но при этом не перегрузить картографическое изображение ненужной информацией, которая отвлечет внимание пользователя от главного. При создании картографических произведений с применением мультимедийных методов таких противоречий не возникает, поскольку гиперфайловый принцип просмотра информации картографического изображения позволяет пользователю продвигаться вглубь от общего к частному по индивидуальному поиску и/или выбору информации, а также в дополнительную информацию к Интернет-ресурсам, в принципе не имеющих ограничения.

Мультимедийные методы дают возможность по-новому взглянуть и на общую теорию языка картографического изображения и позволяет по новому

трактовать три основных составляющих *семиотических* принципов – *семантику, синтактику, прагматику*.

С позиции *семантики*, мультимедийные методы позволяют с большей достоверностью (практически однозначно) соотносить условные знаки с самими отображаемыми объектами или явлениями следующим образом: условный знак на картографическом изображении может иметь прямое сходство с обозначенным объектом с помощью совмещенной информации в виде фотографии, текста, звукового сопровождения, видеосюжета и т.д., при этом представляя более детально отдельные объекты территории (например, на карте «Мировые достопримечательности», знак объекта – фотография, а его характеристика находится в памяти компьютера и при необходимости выводится пользователем на монитор).

С позиции *синтактики*, мультимедийные методы позволяют изменить основные правила построения системы картографических знаков путем использования гиперфайловых ссылок (например, на карте «Автомобильных дорог» художественный знак отображает только вид объекта – дорога (автострады, шоссе и др.). При этом характеристики оставлены в памяти компьютера и при необходимости выводятся пользователем на монитор дополнительная (качественная и количественная) информация в форме: текста, фотографий, видеосюжета, звукового сопровождения и т. д.).

С позиции *прагматики*, применение мультимедийных методов позволяет усиливать информационную ценность условных знаков как средства передачи информации и особенности их восприятия пользователями карты при этом, расширяя объем информации об объектах или явлениях с помощью гиперфайловых ссылок таких как, видеосюжет, звуковое сопровождение и анимация. Например, на туристской карте направление маршрутов могут быть показаны движением стрелок. Эффект мигания знака можно применяется для привлечения внимания к важным объектам карты (музеи, гостиницы), которые могут быть дополнены фотографиями, звуковым сопровождением: речь диктора, музыка, звуковые эффекты среды обитания.

Одна из мультимедийный форм – картографическая анимация не заменит традиционную статичную информацию картографического изображения, а дополнит ее новым и очень ей необходимым динамическими аспектами:

- Дефилирование цвета и пульсация, изменение интенсивности, создание эффекта вибрации;
- Изменение отдельных элементов объектов (условных знаков), их размеров, ориентации, добавление мигания знаков и др.;
- Знаки движения разного типа: быстрые, медленные, скачкообразные, эпизодические и периодические;
- Перемещение отдельных элементов содержания (объектов и/или явлений) по картографическому изображению;
- Вращение трехмерных изображений, изменение точки обзора, ракурса отдельных элементов содержания.

Важнейшим требованием к картографическому изображению является *читаемость карты*, которое заключается в легкости и скорости восприятия информации об объектах карты [5-7].

Рассмотрим более детально возможности улучшения читаемости картографического изображения, дополненного файлами мультимедиа в сочетании с гиперфайловым подходом получения информации

Легкость и быстрота восприятия картографического изображения улучшается при сочетании представления картографируемой территории в целом и представления отдельных ее объектов более детально с помощью мультимедийной информации (фото, видео, звука, анимации, текста, двух и трехмерных моделей и др.), с помощью гиперфайловых ссылок на основе индивидуального поиска и/или выбора информации в интерактивном режиме самими пользователями в рамках картографического произведения.

Существенное свойство, влияющее на читаемость – *различимость отдельных конструктивных элементов условных знаков на картографическом изображении* создает возможность повышение достоверности познания формы обозначения с помощью мультимедийной информации.

Читаемость условных знаков зависит от компактности, простоты или сложности начертания (*точка, штрих, линия*). С помощью гиперфайловых ссылок осуществляется двусторонняя связь картографического изображения с дополнительной информацией в виде текста, фотографий, видео, анимации, звуковых эффектов среды обитания или речи диктора и т.п. (аппарат окон).

Наглядность условных знаков в мультимедийной картографии повышается и пользователь лучше воспринимает информацию о свойствах объекта, так как условные знаки с использованием мультимедийных файлов сохраняют подобие между внутренней сущностью объекта и его изображением. Образ, который условный знак создает в сознании пользователя, формируется не на основе внешнего сходства (подобия) знака с обликом отображаемого объекта, а на основе знания его смыслового значения. Условное изображение объектов или явлений воспринимается пользователем труднее, чем реалистическое: особенно нужно знать и понимать смысловое значение знака (т.е., что в нем закодировано). Реалистические изображения картографической территории (в форме фото, видео, звука, анимации, текста, трехмерных моделей и др.), соответствуют чувственному восприятию действительности, воссоздают на карте живой облик зримо наблюдаемых в действительности объектов или явления.

Эстетичность условных знаков с помощью дополнительных мультимедийных файлов характеризуется с большей выразительностью знаков, в более удачном сочетании форм, размера и композиции знака, лучшей гармонией цветового решения.

Повышение *информационной емкости* условных знаков обеспечивается тем, что гиперфайловый принцип предоставляет пользователю практически неограниченные объемы информации о картографируемой территории при максимально наглядном её отображении на основе индивидуального поиска и/или выбора информации самим пользователем в рамках картографического

произведения и вглубь к дополнительной информации в Интернет-ресурсах, которые в принципе не имеют ограничения. Например, на исторической карте удобно использовать пунсоны населенных пунктов с указанием дат, где происходили важные исторические события (места сражения, революции, принятие важных постановлений и документов, выступление партийных политиков и т.д.). Подведя курсор к этому месту и, указав временной срез, когда происходили события, на экране монитора можно воспроизвести видеоклипы, фотографии и исторические справки с озвучиванием текста диктором и т. д.

Метричность условных знаков с применением мультимедийных методов сохраняется и позволяет проводить качественный анализ изображения для сравнения объектов разных форм и размеров (относительные величины). Однако точные количественные расчеты могут быть выполнены при необходимости по данным, имеющимся в базе данных. Большой объем информации находится «за» картографическим изображением и доступ к этой «скрытой» информации с всевозможными статистическими показателями пользователь получает с помощью гиперфайловых ссылок.

С появлением мультимедийной картографии свойства метричности и наглядности картографического изображения уже не противоречат, не мешают друг другу и таким образом, это противоречие практически решено.

Выполненные исследования позволяют нам осознать огромные возможности применения мультимедийных методов в картографии и создают основу для дальнейшего становления и развития мультимедийной картографии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисицкий, Д.В. Применение мультимедийных методов в геоинформационном обеспечении территории [Текст]: Материалы VIII научной конференции по тематической картографии, Иркутск, 21-23 ноября 2006 г. / Лисицкий Д.В., Комиссарова Е.В. – Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2006. – С. 39-41.
2. Тикунов, В.С. Мультимедиа в географии [Текст] / В.С. Тикунов // Вестн. МГУ. Сер. География. –1995. – № 5. – С. 47-52.
3. Берлянт, А.М. Картографический словарь [Текст] / В.М. Берлянт. – М.: Научный мир, 2005.- 424 с.
4. Основы геоинформатики: В 2 кн. [Текст] / 1: учеб. Пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2004. – 352 с.
5. Бочаров, М.К. Основы теории проектирования систем картографических знаков [Текст] / М.К. Бочаров. – М.: Недра, 1966. – 135 с.
6. Салищев, К.А. Картоведение [Текст] / К.А. Салищев. – 3-е изд. – М.: МГУ, 1990. – 400 с.
7. Востокова, А.В. Оформление карт. Компьютерный дизайн [Текст]: учебник / А.В. Востокова, С.М. Кошель, А.А. Ушакова; под ред. А.В. Востоковой. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.

© Д.В. Лисицкий, Е.В. Комиссарова, 2008

UDK 629.783:551.24

Reiner Jäger

Faculty of Geomatics, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (HSKA),
Germany

Member of RTCM Working Group Transformation Messages 2004-20007, Germany

Member of FIG WG 5.4 GNSS-Networks, since 2008

Simone Kälber

THE NEW RTCM 3.1 TRANSFORMATION MESSAGES – DECLARATION, GENERATION FROM REFERENCE TRANSFORMATIONS AND IMPLEMENTATION AS A SERVER-CLIENT-CONCEPT FOR GNSS SERVICES

Abstract

As concerns the use of RTCM observation correction data in GNSS positioning services, the coordinates are resulting within the ITRF or in a regional ITRF-realization (e.g. ETRF89) as geocentric (x,y,z) or ellipsoidal (B,L,h) coordinates. The users of GNSS services must however normally present their results in the coordinates of regional or local horizontal and vertical datum systems. Therefore, coordinate transformations are necessary. Currently, the pre-calculated transformation parameters and/or geoid-models have to be transferred in advance to GNSS controllers in particular ways. Such are the transfer of transformation parameter databases with a direct access on the GNSS-controllers, or the mapping of a desired reference transformation and/or geoid into a discrete so-called grid and its transfer to the GNSS-controller by the user.

The aim of the transformation messages of the recent 2007 RTCM 3.1, and so that of the RTCM working group (composed of representatives of GNSS industry, GNSS-services and science) behind, respectively, was to define transformation algorithms and data structures, which allow the GNSS service to transmit respective RTCM transformation messages to the user of the GNSS service. In that way and by the transformation messages' use in the GNSS-controllers, the above ITRF-based coordinates can automatically be transformed to the desired horizontal datum and height reference system, and the above preparation of a data transfer and further manual operations during the GNSS-measurement become obsolete. Further, the GNSS service providers are able to ensure, that unique and current information for the computation of the different transformations is used.

The software and communication architecture for the use the RTCM transformations messages in a GNSS service can be realized as a server-client concept. The desired reference transformations are implemented within the so-called transformation modules and as part of the RTCM transformation messages server. The networking software of the GNSS service administrates the distribution of the transformation messages. In that way, the NMEA-position of the GNSS-rover is used as as the basic server request and it is passed through the administrating GNSS networking software to the RTCM transformation messages server.

Depending on the configuration of the RTCM transformation messages server, different transformation modules are activated and different message design specifications are holding. Accordingly one or several binary RTCM transformation messages are generated and send via the GNSS network software back to the client of the GNSS-controller.

The paper describes the so-called reference transformations by the mathematical models, algorithms and data structures. The various reference transformations (continuous transformation parameter databases, grids, plate transformations, geopotential models, DFHBF, DFLBF, databases of original fitting points, etc.) are divided into three different categories. The concept of gridding using virtual fitting points generated from the reference transformations for a set up of RTCM transformation messages is treated. The difference between static grids and the general and powerful dynamic RTCM grids is discussed. Finally the results of the use of the RTCM server GZTraS with the active configuration for DFHBF/DFLBF databases as reference transformations of the transformation modules in country-wide tests in the area of Bavaria, Germany, are presented.

1. Introduction

1.1. Situation before and without RTCM 3.1 Transformation Messages

With the global process of the installation of GNSS positioning services, such as *SAPOS*[®]/ *ascos* (www.sapos.de; www.ascos.de) in Germany (fig. 1.1), CZEPOS in Czech Republic (czepos.cuzk.cz) and many others in Europe and worldwide, GNSS positioning services have become an interdisciplinary and indispensable application for a high precise geo-referencing.



Figure 1.1: Bavarian part of the German **SAPOS**[®]/**ascos** GNSS-reference-station network

Figure 1.1 shows, as an example, the Bavarian part of the GNSS-reference-stations network of the German state positioning service **SAPOS**[®] and the private service **ascos**, operating in a private public partnership (PPP), using more or less the same GNSS-reference-stations. The present generation of GNSS-services provide high accurate RTCM correction data, and so enable a 3D online-positioning on typically a (1-3) cm level of positioning accuracy in the ITRF-related frame, such as ETRF89 in Europe. The precision of positioning is still increasing due to a further improvement in the RTCM correction data modelling in different ways (Virtual Reference Station (VRS) [1], Area Correction Parameters (ACP) [2] and the recent Master-Auxiliary Concepts MAX/i-MAX [3]). The respective further development is favoured by the competition of the developers of the different GNSS networking software packages. Using the above RTCM correction data, the determined precise positions of the users are resulting in the same frame of the regional ITRF-realization (e.g. ETRF89), which is used for the coordinates of the GNSS-reference stations (fig. 1.1) of the service, namely as the geocentric coordinates $(x,y,z)_{ITRF}$.

related, or equivalently, as the geographical coordinates $(B,L,h)_{\text{ITRF-related}}$. In the following we use the abbreviations $(x,y,z)_{\text{GNSS}}$ and $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$ for the ITRF-related GNSS-position.

The users of GNSS services must however mostly present their results in the target CRS (coordinate reference system) of the classical horizontal datum $(B,L)_{\text{Classical}}$, as well as in the classical height system, where the heights H refer to a physically defined height reference surface. The height reference surface (HRS) for H is related to the gravity-potential of the earth, namely a geoid or a quasi-geoid, which is represented by its height $N((x,y,z)_{\text{GNSS}})$ over the ellipsoid related to GNSS, namely the GRS80 or the WGS84 ellipsoid. Therefore datum transformations leading to $(B,L)_{\text{Classical}}$ and surface-transitions from the ellipsoidal GNSS-height h to the height H over the HRS as target CRS are required. The datum transformation and HRS transition methods shall briefly be classified in the following.

On substituting the locally geometrically similar shaped surface of the HRS by the ellipsoid of the classical target system, it is possible to perform the surface transition from h_{GNSS} to H – implicitly - together with the datum transformation $(B,L)_{\text{Classical}}$ in one step by the model of a seven parameter similarity transformation generally called 7 PT (tab. 1 (1)). In practice the approximation $h_{\text{classical}} = H$ requires, already in smaller areas, residual interpolation, and so dense physical fitting points, or instead an independent HRS-model $N((x,y,z)_{\text{GNSS}})$ to generate by $H = h_{\text{GNSS}} - N((x,y,z)_{\text{GNSS}})$ fitting point heights, for the computation of the one-step 7 PT (tab. 1, (1)). Generally, and especially by the approximation $h_{\text{classical}} = H$, the accuracies for the plane and height component are quite different, and this requires the consideration of an adequate stochastic model in the parameter-estimation [4]. The problem of a different scale in the plane and height component can easily be solved e.g. by using the equivalent Molodenski similarity transformation ([17]), related to the geographical coordinates (B,L,h) , instead of the well-known cartesian ones, and by introducing there two different scale parameters (“8 PT”) [4]. The approximate one-step 7/8 PT model (tab.1, (1)) suits however, more or less, only for small areas without producing too large residuals in the height-component. So a 7 or a 8 PT - no matter if in the cartesian or the Molodenski type - with only one parameter set requires for large areas an additional complex large-residuals-treatment, in order to preserve a precise type of transformation model for the plane and the height component. So the large residuals treatment, which is burdened with additional errors and hypothesis arising from the applied interpolation methods, becomes an essential component (“third-party”) of the transformation model (tab.1, (1)) for medium and large areas. The alternative way to avoid the above “third party” component is the partitioning of large areas into FEM-meshes with individual sets of 7 or 8 PT and continuity conditions along the mesh borders (so-called CoPaG/DFLBF, see [17], [18]). This leads to small and uncritically interpolatable residuals.

The general and approximation-free way for the GNSS-heighting - considering also, that in many countries the 7 PT datum-transformation becomes obsolete for the horizontal component (B,L) by the introduction of the ITRF-based CRS as standard (source and target) CRS for horizontal positioning - is however to decouple the height

transition from the 7 PT, and to use a HRS-model $N((x,y,z)_{GNSS})$ according to the standard-formula $H = h_{GNSS} - N((x,y,z)_{GNSS})$ (tab. 1, (3)).

If in addition to the GNSS-heighting transformation type (tab. 1 (3)), a precise datum transition from $(B,L,h)_{GNSS}$ to the plane component $(B,L)_{Classical}$ is required, there are several ways, to split of the influence of the approximation $h_{classical} = H$ (tab. 1, (1)) for the resulting plan component $(B,L)_{Classical}$. These are meant with the datum transition type tab. 1, (2). The first one is to use the FEM partitioning model CoPaG/DFLBF ([17], [18]), as described above, and to omit the height result H , on using instead a HRS model tab. 1, (3). The second one is use the 7 or 8 PT also for large areas above by considering the approximation $h_{classical} = H$ in a proper area-size adapted stochastic model for the plane and the height component of the fitting points. Typically is to use e.g. $\sigma_{h,Classical} = \pm 1.0m$ for area sizes of 300 km. The third one, is to change the geo-referencing to a modern precise HRS model $N((x,y,z)_{GNSS})$ from the ECEF/ITRF-related frame N_{GNSS} to $N_{Classical}$ in the classical datum by a Molodenski like datum transition $dN(\mathbf{d})$ and $N_{Classical} = N_{GNSS} + dN(\mathbf{d})$. This modelling enables also the approximation-free consistent modelling $h_{classical} = H + N_{Classical}$ in a one-step 7 PT (or 8PT). Here the resulting $h_{classical}$ may be used to receive H as $H = h_{classical} - N_{Classical}$. In practice and literature that third way is rather known, but it is in use [23]. Avoiding and solving, respectively, the problems concerning the HRS surface transition for the height-component by these two additional ways, which existing besides the FEM method CoPaG/DFLBF, they both go ahead with principally large residuals occurring also for the plane component in large areas ([17], [18]).

All in all, and as discussed above, there are three kind of model categories for a transition from the source CRS provided by the GNSS-services to a target CRS, namely

- Three-dimensional datum transitions from $(x,y,z)_{GNSS}$ to $((B,L)_{Classical}, H)$
- Three-dimensional transitions to $(B,L)_{Classical}$ or locally permitted two-dimensional datum-transitions from $(x,y,z)_{GNSS}$ to $(B,L)_{Classical}$
- HRS models $N((x,y,z)_{GNSS})$ enabling GNSS heighting by $H = h_{GNSS} - N((x,y,z)_{GNSS})$.

To enable the full and precise transformation to the target CRS $(B,L)_{Classical}$ and H , all three kind of GNSS-transformation models above require the use of so-called fitting points concerning the computation of the respective model parameters. Fitting-points are physical points, which are known in the source CRS $(x,y,z)_{ITRF-related}$ and in the target CRS. Depending on the kind of model three-, two- or one-dimensional fitting points $(B,L)_{Classical}$, H , $(B,L)_{Classical}$ and H are explicitly required, or can arbitrary be used simultaneously, respectively. Depending on an additional use of further data-sources (like deflections of the vertical, gravity observations for the computation of HRS models) the required density of the fitting-points is quite different. So within the above three categories the individual model and the resulting precision on the respective transformation from the source CRS $(B,L,h)_{GNSS}$ to the target CRS $((B,L)_{Classical}, H)$ are characterized and depending on the following factors:

- Density and accuracy of the original database of fitting points
- Parametrization p with respect to different kind of fitting-points (1D, 2D and 3D) to be included
- Power of the approach and parametrization p with respect to provide the use of further data in addition to the fitting points
- Treatment of continuity conditions if required
- Capacity and methods of the interpolation of the residuals r
- Representation of the final model for the datum- and surface-transition database (discrete grid, parametric model, see tab. 1).

There exist various parametric models for the above datum and surface transformations. In the following we call any pre-calculated datum and surface transformation model, as well as any kind of HRS-model N enabling the transition(s) to $((B,L)_{\text{Classical}}, H)$, a **reference-transformation**, tab. 1. The named examples, like DFHRS [17], [18], DFLBF [17], [18], EIGEN [19], EGM96 [20], EGG 97 [21], BKG Quasigeoid [22], which are included in tab. 1 for the different mathematical models and the final representation of their parameters, as well as concerning their use in the GNSS-rover, are to be understood and used as place-holders for many other approaches for these categories.

The existing approaches and different types of reference transformations tab. 1, (II) with the unique input, tab. 1 (I) and the three different output-components tab. 1 (III) have presently already been used for years as proved transformation concepts in the GNSS-rovers. This is enabled by either the direct access to appropriate parametric representations of reference transformation or by “gridding” them to a so-called field grid (tab. 1, IV; chap. 2.2.1). In order to preserve the use and setting up of the different reference transformations as RTCM transformation messages, the common manner of an access by means of a grid-concept was decided to be used as mathematical model behind the RTCM 3.1 transformation messages (chap. 2).

Table 1: Present situation and capacities of online transformations in GNSS-networks

I. ITRF- based Source CRS	II. Referen- ce Transfor- mation Types	III. Targets and Direct Results		IV. Final Mathematical Model of Representation and Examples			V. GNSS-rover Data interface	
				„Grid only“	Parametric	Griddin- g Enabled	Parametric Representati- on	Grid
	$\Rightarrow$	$(B,L)_{\text{Classical}}$ and H	(1)	Most	DFLBF	All	DFLBF	All
$(B,L,h)_{\text{GNSS}}$	$\Rightarrow$	$(B,L)_{\text{Classical}}$	(2)	Most	DFLBF	All	DFLBF	All
	$\Rightarrow$	N with $H = h_{\text{GNSS}} - N$	(3)	BKG Quasi- Geoid; EGG97	EGM96 EIGEN DFHRS	All	EGM96 DFHRS	All

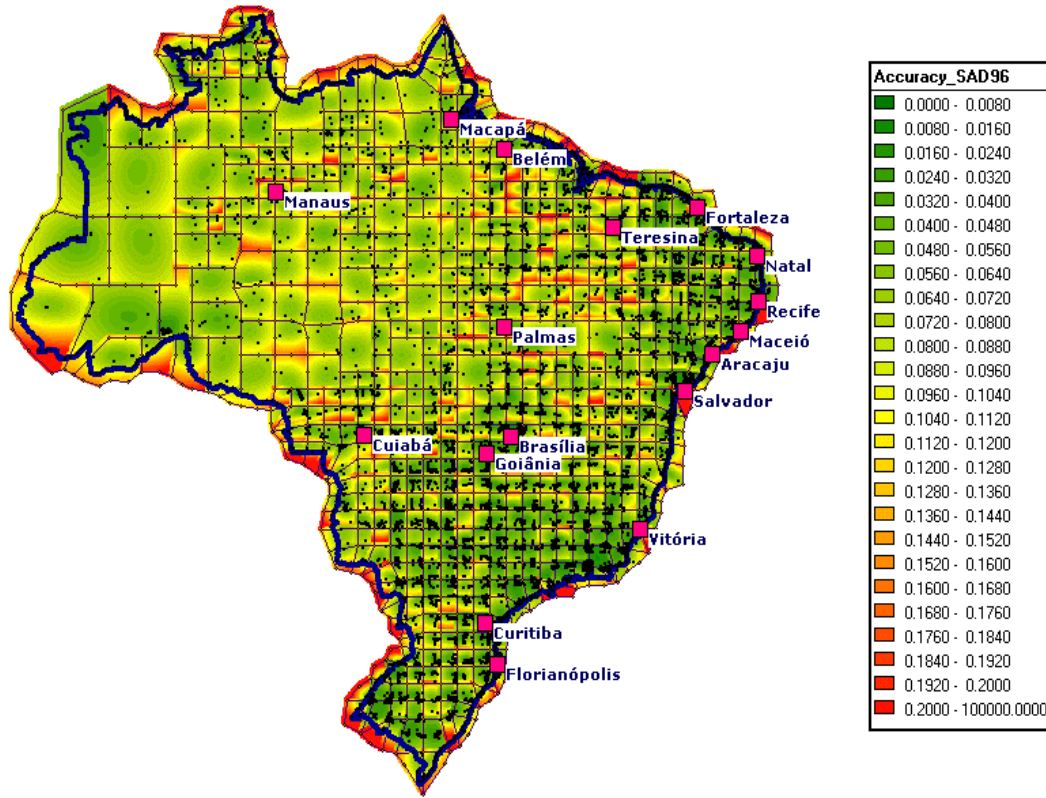


Fig. 1.2: FEM mesh-design and accuracy over Brazil for the computation a DFLBF-parametrization and –database useable as reference transformation of type (I) and/or (II), tab.1 and for the setting up RTCM 3.1 transformation messages

Currently, the above pre-calculated reference transformation types (Table 1, (1), (2), (3)) have to be transferred by the user to the GNSS-controller, if an online transformation from the ITRF-related source CRS $(B,L,h)_{GNSS}$ to the horizontal $(B,L)_{Classical}$ and/or to the vertical system H as target CRS is required. Hereby the rover-software can either use a direct access to the specific parametric reference transformation (e.g. EGM96, DFHBF, DFLBF), or handle a so-called grid-representation (chap. 2.2.1, 2.2.2) of a reference transformation (Table 1), in order to perform the transformation from $(B,L,h)_{GNSS}$ to $(B,L)_{Classical}$, and / or H . The “gridding”, namely the setting up of a so-called rover field grid from any individual reference transformation to a grid-representation, which is interpreted by the GNSS-rover software, is to be done in the so-called “grid-factory”. The “grid-factories” provided as software modules belonging to the GNSS-office packages [6], or as external modules [7], [8], enable the use of any of the above reference transformation types as being mapped to the grid structure of the rover field grid.

1.2. Targets and Capacities of the RTCM 3.1 Transformation Messages

The declaration of the recent set of the seven RTCM 3.1 transformation messages 1021 – 1027 ([5], [11]) comprises different algorithms and data structures, which allow the GNSS service to provide their users with all necessary information for a transition from position $(B,L,h)_{GNSS}$ in the ITRF-based source CRS, provided by

the GNSS-service, to the target CRS referring to another horizontal datum $(B,L)_{\text{target}}$ and physical height system H . So the above preparation work (chap. 1.1), namely the transferring of transformation-parameter databases to the rover, or the computation of field-grids in advance to the GNSS-measurements, and further manual operations during the GNSS-measurement become obsolete by the RTCM 3.1 transformation messages.

The GNSS service providers are so enabled to ensure, that unique and current information for the computation of the different transformations is used. Principally this does not have to lead to limitations or restrictions in the coming positioning era of applying the RTCM transformation messages on the user side. A first reason for being off limits is already settled in the mathematical models of the RTCM messages, because the algorithms and data-structures (chap. 2.1, chap. 2.2) for setting up the different RTCM transformation messages, which were developed by the RTCM Working Group on transformation messages in the years 2004-2007, can map any original reference transformation (Table 1). The second reason is settled in the communication architecture between the components GNSS-user, GNSS-networking software and the RTCM-server represented by different so-called transformation modules [12]. Let us assume the moment, that a RTCM transformation module (fig. 3.2, fig. 4.1) on the server side can supply only one complete set of RTCM transformation messages (e.g. 1021 and 1023) based on a specific set of reference transformations and pointing to one target CRS [12]. In that case, however, different transformation modules, thereby different reference transformations and as well different target CRS (fig. 3.2, fig. 4.1), may be connected to different server ports of the TCP server, so there is no limit for the user. A third reason is, that the RTCM 3.1 transformation message structure itself is prepared for supplying different reference transformations and different target CRS, using the internal so-called SIN-numbers (System Identification Numbers) [11]. Equivalently or together with the use of different server-ports (fig. 3.2, fig. 4.1), the use of the SIN-numbers allows to generate and broadcast by one RTCM-transformation module and one data-stream up to 256 messages ($\text{SIN} = 1 \text{ to } 256$), and so to apply different CRS and the use of different reference transformations in one rover request (fig. 3.2). The kind of messages behind different SIN can be configured in the transformation-module and RTCM-server of the GNSS-service, respectively.

There are many examples and services, where either the external switch to different ports (fig. 3.2; fig. 4.1.) or the RTCM-internal SIN-counter can be used. In case of using SIN-numbers, the decision, which transformation to use is to be met on the rover side by selecting the transformation type desired by the user in the rover-software. Examples for the use of different server-ports, or different SIN-numbers, are e.g. to supply countries like Brazil (fig. 1.2), where at the same time four classical target CRS are existing at one place (SAD96, SAD69, Corego-Alegre 69 and 72) [9]. Other examples are holding for Germany, and all other European countries, where at the same time the different old height systems H [10] and then new European normal heights – meaning different HRS $N((x,y,z)_{\text{GNSS}})$ and RTCM-based HRS-transitions - are existing in parallel.

Thus, both for the GNSS-services, and for the GNSS-service users, the new RTCM 3.1 transformation messages enable a high flexibility with respect to the offer and the use of an increased number of reference transformations as well as an increased number of GNSS-transformation services.

2. Transformation Algorithms

2.1. Message Types and Data Structures

The RTCM 3.1 Transformation Messages ([5], [11]) declaration consists of seven different messages, namely the message types 1021 through 1027. The messages were defined for the above application of a datum-transformation and/or a HRS transition of the ITRF/ECEF-related source CRS, which is provided by a GNSS-positioning service, to another target CRS and a respective projection. As mentioned above, the GNSS-position in the CRS is described as $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$. The geographical coordinates (B,L) and heights H of the plane and height target system in regard, above and finally the classical datum systems $(B,L)_{\text{Classical}}$ and the physical HRS-related H , are described in the following by $(B,L)_T$ and H_T . In that way, we are consistent with the notation of message declarations, and indicate, that there may exist also intermediate target systems, which have to be interlinked in subsequent transformations (chap. 2.2.3.), before arriving at the representation of a final position in the target (T) CRS.

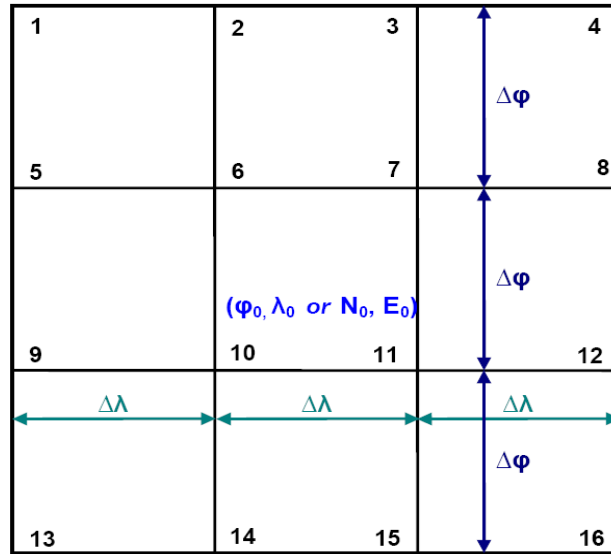


Fig. 2.1: Area of validity and grid design with respect to the origin $(\varphi_0 \equiv B_0, \lambda_0 \equiv L_0)$ or (N_0, E_0) and the grid-width $(\Delta\varphi \equiv \Delta B, \Delta\lambda \equiv \Delta L)$ for the RTCM grid-based messages couple 1021 (or 1022) and 1023 (or 1024)

According to the three types of reference transformations tab. 1, (1), (2) and (3), and the above datum transformation and surface transition tasks to be solved, the RTCM-transformation message representation is sufficiently represented by the 7 PT of a three-dimensional similarity transformation and an associated “residual grid” (fig. 2.1, fig 2.2). The associated residual grid carries in its 16 nodal-points the three-

dimensional plane and height (residuals) values. In this way it can be used both for the representation of a 3D /2D or 1D “surface” related to true residuals, as resulting from the RTCM-gridding (chap. 2.2), as well as for a physical surface’s presentation, namely the 1D HRS $N((x,y,z)_{GNSS})$ (tab. 1, (3)).

The basic mathematical components of the **grid-based representation** of the RTCM 3.1 transformation messages are all together:

- RTCM 7 PT parameters $\mathbf{p}$,
- RTCM-grid residuals $\mathbf{r}_i = (\delta B_i, \delta L_i, \delta H_i)^T$ or $\mathbf{r}_i = (\delta N_i, \delta E_i, \delta H_i)^T$ after subtracting so-called mean values $(\Delta N, \Delta E, \Delta H)$
- RTCM-grid based surface representation $N_i = N_0 + \delta N_i$ stored equivalently to the height residuals as $N_0 =: \Delta H$ and $\delta N_i =: \delta h_i$.

All above components are evaluated in the process of RTCM-gridding (chap. 2.2.1) from a number n of virtual fitting points $[(B,L,h)_{GNSS} \mid (B,L)_T, H_T \text{ or } N]_i$, which have been generated for the grid-positions P_i ($i=1,n$) by making use of the above reference transformations (chap. 1.1, tab. 1). In case of setting up an RTCM grid, based on the rover request (fig. 3.2, fig. 4.1) around the rover position (fig. 2.2), the number of grid points is $n=16$ (fig. 2.1, fig. 2.2). The rover position is controlled - either by the rover-software or by the GNSS-networking software - and reaching a rover-position in the 10% border area of the grid (fig. 2.2), a new NMEA-based request for receiving a new set of RTCM-messages is sent to the RTCM server (fig. 3.2, fig. 4.1) ([5], [11]).

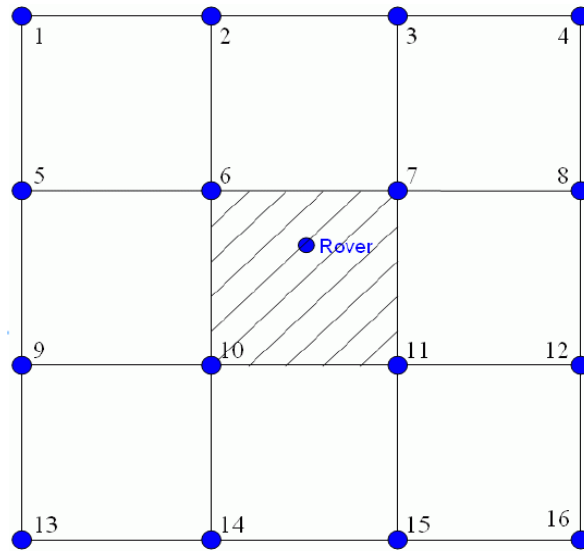


Fig. 2.2: RTCM residual grid (message 1023 or 1024) definition

Within the seven RTCM-transformation messages, the two message types 1021 and 1022 provide the above basic transformation parameters $\mathbf{p}$, namely the parameters of different types of three-dimensional similarity transformations. The message 1021 supplies the parameters $\mathbf{p}$ either for a non-linear cartesian, or a linearized Cartesian and or an abridged Molodenski-based datum

transformation, the message 1022 for a Molodenski-Badekas based datum transformation. The type of the above 7 PT is identified by the so-called computation indicator of the messages. The messages 1023 and 1024 define the residuals for the grid, either related to the ellipsoid and in arc-seconds (message 1023) or to the metric “plane” grid (1024), 1024 according to the projection types defined messages 1025 to 1027). The message types 1025, 1026 and 1027 define the parameters for standard projections, and for Lambert conic conformal projections, oblique Mercator projection and others, respectively. At a minimum, the GNSS-service provider has to send out either message 1021 or 1022, followed by either message 1023 or 1024. These messages are carrying the complete transformation information. The additional information contained in the messages 1025, 1026 or 1027 specify only the projection type and its parameters. So these are only needed to enable the GNSS-rover to map the resulting transformed plane positions $(B,L)_T$ to the Northern (N_T) and Eastern (E_T) coordinates related to the projection type of the target (T) CRS.

2.2. Setting up of RTCM-messages

2.2.1. RTCM-Gridding and Application

The above so-called virtual fitting points $[(B,L,h)_{GNSS} \mid (B,L)_T, H_T \text{ or } N]_i$ are represented by the reference transformations chap 1.2, tab. 1. In case of a gridding, the virtual reference-points are situated on a regular “plane” (B,L) -grid (fig. 2.1, fig. 2.2). In the case of the RTCM-messages, the regular grid is defined in the target system $(B,L)_{T,i}$, so that - without loss of generality for the gridding-concept - the grid-points transformed to the associated source system $(B,L)_{GNSS,i}$ are shaped slightly irregular. The virtual fitting points in the source $(B,L,h)_{GNSS,i}$ are generated in a loop running over the latitude and longitude extension of the grid (fig. 2.1; fig. 2.2).

The height h_i associated with the plane grid $(B,L)_{GNSS,i}$ has to be chosen approximately according to the topography of the real measurement scenario, in order to receive the correct set of virtual fitting points $[(B,L), H \text{ or } N]_{T,i}$ in the target system. This holds for most of all of the parametric types of reference transformations (tab. 1), e.g. for quasigeoid models $N((y,y,z)_{GNSS})$ of the HRS. In case of any kind of gridding - also in case of a “grid-factory” based computation or the pre-computation of a static RTCM-grid (chap. 2.2.2) - an approximate height $h_{GNSS,i} = H_i + N_{GNSS,i}$ can always be taken from free DTM databases, like ETOPO5 [27] for H_i , and free HRS data, e.g. EGM96 or EIGEN ([19], [20]) for $N_{GNSS,i}$. In case of the dynamic RTCM-grid generation (chap. 2.2.3) the grid heights $h_{GNSS,i}$ can easily be derived from the NMEA-request of the rover (chap. 3, fig. 3.2), which is computed as being centred to the RTCM-grid (fig. 2.2) for the time of the request.

The starting point of the gridding procedure is the generation of n virtual fitting-points in the source CRS and the target CRS using any single, a couple, or even a sequence of reference transformations (chap. 2.2.3.1), reading:

$$(B,L,h)_{GNSS,i} \xRightarrow{\text{ReferenceTransformation(s), tab.1}} [(B,L)_T, H_T \text{ or } N]_i \quad i = 1,n \quad (1)$$

The different types of reference transformations (tab. 1) and their individual representatives behind (1) are used abstractly, namely as sources to generate the number of n virtual fitting points in the target system (T). The quality measures for the reference transformations applied in (1) are the provided accuracies $[(\sigma_B, \sigma_L), \sigma_H \text{ or } \sigma_N]_{T,i}$. These are used to set the so-called quality indicator for the plane and height transformation of the RTCM grid-representation. A regional variation (fig. 1.2) leads to varying quality indicators, both for the static and for the dynamic RTCM messages.

The above 7PT parameter vector $\mathbf{p} = [s | \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z | t_x, t_y, t_z]^T$ of the grid-representation removes by the scale s , the rotations $(\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z)$ and the translations (t_x, t_y, t_z) of the three-dimensional similarity transformation, the datum trend between the source CRS (S) and the target system (T), which are represented by n sets of virtual fitting points (1). In case of the nonlinear Cartesian 7 PT the functional model for the estimation of the parameters $\mathbf{p}$ reads:

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix}_{T,i} + \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix}_i = s \cdot \mathbf{R} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{\text{GNSS},i} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad i=1,n \quad (2a)$$

where the right handed rotation matrix $\mathbf{R}$ is defined by

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_z \mathbf{R}_y \mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} \cos\varphi_z & \sin\varphi_z & 0 \\ -\sin\varphi_z & \cos\varphi_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\varphi_y & 0 & -\sin\varphi_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi_y & 0 & \cos\varphi_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi_x & \sin\varphi_x \\ 0 & -\sin\varphi_x & \cos\varphi_x \end{bmatrix} \quad (2b)$$

As concerns the transition of the ellipsoidal height h_{GNSS} from the source CRS to the height H_T in the target CRS, the so-called height indicator is part of the datum parameter-related messages 1021 and 1022.

Gridding for RTCM Height Indicator = 1

A value 1 for the height indicator means, that besides the datum transformation for the plane component $(B, L)_T$, the 7 PT (2a,b) shall also provide the physical heights H_T in the target system (T). For the computation of that kind of RTCM grid representation, leading to the plane position $(B, L)_T$ and the physical height H_T for the rover by a 7 PT, the virtual fitting points (1) $H_{T,i}$ first have to be transformed to the Cartesian coordinates using the standard formulas

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{T,i} = \begin{bmatrix} (N(B) + H) \cdot \cos(B) \cdot \cos(L) \\ (N(B) + H) \cdot \cos(B) \cdot \sin(L) \\ (\frac{b^2}{a^2} \cdot N(B) + H) \cdot \sin(B) \end{bmatrix}_{T,i} \quad \text{and} \quad N(B) = \frac{a^2 / b}{\sqrt{1 + \frac{a^2 - b^2}{b^2} \cdot \cos^2 B}} \quad (2c,d)$$

The physical heights $H_{T,i}$, which are to be introduced in (2c), and so in (2a), can result directly from a reference-transformation of type tab.1 (1). In case of the availability of a reference transformation of type tab. 1 (3), namely a HRS model $N((x,y,z)_{\text{GNSS}})$ the $H_{T,i}$ can alternatively also be computed as $H_{T,i} = h_{\text{GNSS},i} - N_i$. The formula (2a) is then used to estimate the parameters $\mathbf{p}$, e.g. by a least squares

estimation together with the associated residual vector $\mathbf{r}_i$. The datum-parameter set $\mathbf{p}$ is stored in the data-fields of the messages 1021 or 1022, respectively. The residual-vector $\mathbf{r}_i$ is transformed to the geographical or the plane coordinates and heights in the target system, and provides the grid-information for the message part 1023 or 1024, respectively.

The use of the RTCM-transformation messages in the GNSS rover is done here in that way, that the parameters $\mathbf{p}$ are used in a first step for the datum transformation (2a) of $(x, y, z)_{\text{GNSS}}$, which leads to the geocentric position in the target system $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})_T$ (implying the physical height H_T there). The resulting plane and height position $(\bar{B}, \bar{L})_T$ and $\bar{H}_T$ are received from $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})_T$ by the inverse computation for (2c,d). In the second step of the RTCM-transformation the grid residuals $\mathbf{r}_i$ (2a) are used. The residuals provide an additive residual interpolation part, and lead to the final transformed position in the target system. For example in case of using the RTCM-transformation couple 1021 and 1023 related to the geographical coordinates, we get

$$\begin{bmatrix} B \\ L \end{bmatrix}_T = \begin{bmatrix} \bar{B} \\ \bar{L} \end{bmatrix}_{T,7PT} - \begin{bmatrix} \delta B(\delta B_i) \\ \delta L(\delta L_i) \end{bmatrix}_{\text{interpolated}} \quad \text{and} \quad (2e)$$

$$[H_T] = [\bar{H}_{T,7PT}] - [\delta H(\delta h_i)]_{\text{interpolated}} \quad (2f)$$

Gridding for RTCM Height Indicator = 2

A height indicator of a value 2 means, that the height residuals $\delta h_i =: \delta N_i$ together with the shift of a mean $\Delta H =: N_0$ value, defined in the data-field of the grid messages 1023 or 1024 represent the HRS $N((x, y, z)_{\text{GNSS}})$ (tab. 1 (3)) by

$$N_i = N(x, y, z)_{\text{GNSS},i} = N_0 + \underbrace{\delta N_i}_{\substack{\text{RTCM} \\ 1023,1024}} =: \Delta H + \delta h_i \quad (3a)$$

The use of the grid representation for the RTCM-message based HRS transition in the GNSS-rover accordingly leads directly to the final result, reading

$$H_T = h_{\text{GNSS}} - N_0 - \delta N_{\text{interpolated}} = h_{\text{GNSS}} - \Delta H - \delta H(\delta h_i)_{\text{interpolated}} \quad (3b)$$

Independently of the possibility to have a direct RTCM-grid-representation of modern ITRF/ECEF-related HRS (tab. 1) by making use of the height-indicator 2, a datum transformation from $(B, L, h)_{\text{GNSS}}$ to $(B, L)_T$ can be done additionally and independently like in case of the height-indicator 1, by applying the formulas (2a) and (2e).

The above gridding procedures for the height indicator 1 or 2 used for the new RTCM messages are - from the point of view of the mathematical models - the same as applied in the grid-factories of the GNSS-office packages for the present generation of field-grids (chap. 1.1) for the GNSS-rovers.

In addition to the basic error budget for the reference transformation results, namely $[(\sigma_B, \sigma_L), \sigma_H \text{ or } \sigma_N]_{T,i}$, the mapping of these to the grid-representation by the parametric part (1021 or 1022) associated with the grid part (1023 or 1024), implies as characteristics of the gridding itself, two additional error loads, namely the loss of information by the grid-discretisation (discretisation error) and the error of the applied residual interpolation method (interpolation error). The discretisation error

decreases with the density of the grid, and so the grid-width ($\Delta\phi, \Delta\lambda$) (fig. 2.1). The interpolation error for the different interpolation methods declared in the RTCM-transformation messages specification [11] may vary individually. If the relative error in between the (arbitrary) interpolation methods at the rover or with respect to the true value r_T is assumed to be ε , it is clear that large residuals in a grid, after removing the trend of the means, imply larger absolute errors $\Delta r_T = \varepsilon \cdot r_T$ for the interpolation components $(\delta B(\delta B_i), \delta L(\delta L_i))_{\text{interpolated}}$ and $\delta H(\delta h_i)_{\text{interpolated}}$ of the transformed target CRS position $(B, L, H)_T$ (2e), (2f) and (3b).

2.2.1. Static RTCM Messages from a Pre-computed RTCM-like Total Area Grid

The mathematical models for the computation of the parameters of the RTCM 3.1 transformation messages ([5], [11]) from one or several desired reference transformations (tab. 1) can also be used to compute according to the models chap. 2.2.1 “RTCM-like” messages 1021 (or 1022) and 1023 (or 1024) with one set of 7 PT parameters $\mathbf{p}$, which cover the whole area of the GNSS-service provider. The parametric message 1021 (or 1022) and the associated grid 1023 or (1024) can then serve as special case of a reference transformation on the RTCM-server side (fig. 3.2, fig 4.1). Based on the NMEA-formatted GNSS position $(B, L, h)_{\text{GNSS}}$ arriving as a rover-request at the RTCM-server, the respective transformation module just has to extract the well-defined part of the $n=16$ grid-points (fig. 2.2) out of the large ($n \gg 16$) RTCM-like total grid, which are situated around the GNSS-rover (fig. 2.3).

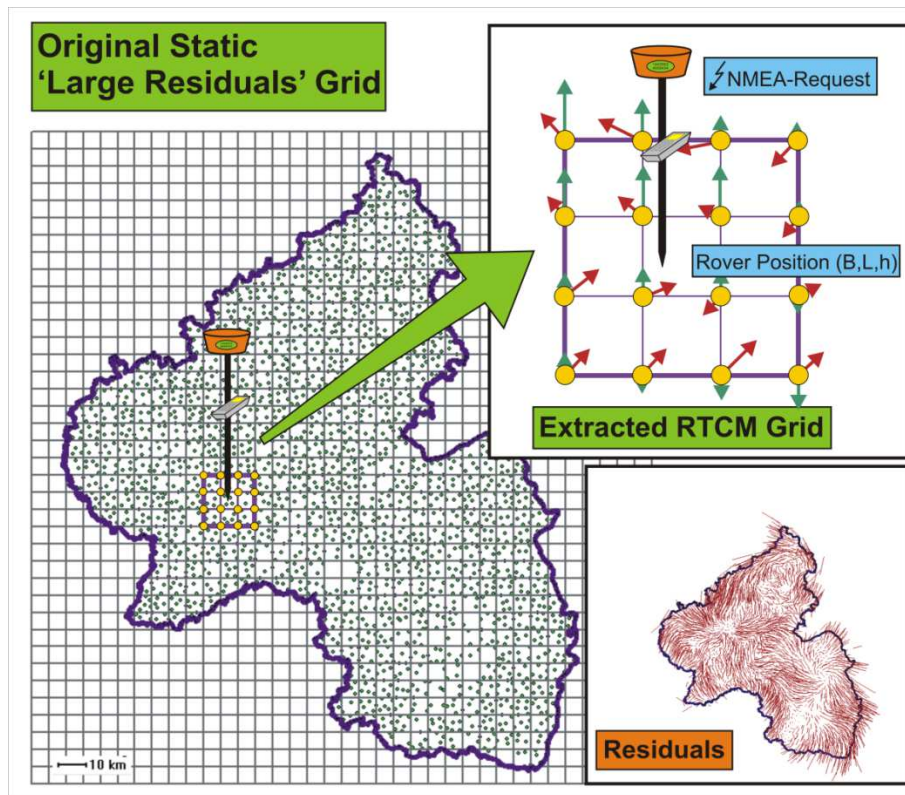


Fig. 2.3: Large residuals static grid and extraction to the RTCM 1023 or 1024 grid message. Example for the country of Rheinland-Pfalz, Germany

There are however several disadvantages with respect to the pre-computation of a RTCM-like total area grid. The first disadvantage is due to the fact, that this special case of a reference transformation is per se static (“static grid”), following the idea of the classical rover field grid (chap. 1.1) now ported to the server. Consequently any change concerning the applied reference transformation(s) behind, or the grid-width design, will require its complete re-computation. As the RTCM-like static grid is separated from the original reference transformation(s) behind, problems may come up concerning such an update, if required after some years.

A static grid is of course a reference transformation (fig. 3.1, fig. 3.2). In the case however, that the GNSS-service and RTCM observation corrections are set up in the timely dynamic ITRF, instead of a fixed ITRF/ECEF-related frame, like ETRF89, the RTCM transformation message is to be set up using two reference transformations (see 2.2.3.1), and not any more solely as a simple extraction from the static grid. In that combined case, the use of the original reference transformations behind the static grid is more appropriate, as it avoids a double discretisation and interpolation error.

Finally, it is to be mentioned, that only one set of parameters $\mathbf{p}$ implies large residuals $\mathbf{r}$ for the plane component, which are going with the well-known distortions of the so-called “weak-shapes” of classical trigonometric networks ([17], [18]; see fig. 2.3, right upper corner). In case of using the above RTCM-message computation scheme (chap. 2.2.1) with a height indicator of value 1, also the residuals become large in the height residual component due to the approximation $h_T =: H_T$ over a large area. So the static RTCM-like grid-based representation (“static RTCM grid”) has the disadvantage to imply a higher additional interpolation error budget, compared to the original reference transformation(s) behind. The larger residuals also mean a non-uniqueness and dependency with respect to the residual interpolation method applied in the rover.

2.2.3. Dynamic RTCM Transformation Messages

The general mode of a dynamic computation of the RTCM 3.1 grid-based transformation messages out of a set of several reference transformations (fig. 3.2, fig. 3.2), is complementary to the use of a static RTCM-like country-wide total grid. So all disadvantages already mentioned above, concerning the static RTCM grid, are generally completely avoided by the mode of a dynamic RTCM grid computation at the server.

A dynamic generation of the grid-based RTCM messages means, that the transformation messages (e.g. 1021 and 1023) are computed from combinable and configurable sets of reference transformations (fig. 3.2, fig. 3.2). The dynamic RTCM grid computation follows within a maximum of 500 milliseconds to the NMEA-based rover’s request. The rover position $(B, L, h)_{\text{GNSS}}$ is placed in the centre of the grid (fig. 2.2), and the grid design follows directly the RTCM 3.1 message specification. The dynamic generation of the RTCM messages of $n=16$ points round the rovers position (fig. 2.2) from $n=16$ local virtual fitting points finally implies the advantage of a higher accuracy of the transformation due to a smaller residual part.

Besides avoiding the above disadvantages, the following sub-chapters show the power with respect to be open for all kind of reference transformations and for their combination in GNSS services, as well for facing future requirements, in case of using the concept of a dynamic generation of the grid-based RTCM 3.1 transformation messages, instead to the rigid concept of static grids.

2.2.3.1. Combined Use of Reference Transformations

All above components of the RTCM- messages are evaluated in the process of RTCM-gridding (chap. 2.2.1) from a number n of virtual fitting points $[(B,L,h)_{\text{GNSS}} | (B,L)_T, H_T \text{ or } N]_i$, which have been generated for the grid-positions P_i ($i=1,n$) by making use of reference transformations (chap. 1.1). So in case of setting up the RTCM messages dynamically, different reference transformations can easily be combined, if required for a GNSS-transformation service.

Let us assume - what will probably happen in future - that the reference frame for a GNSS-service is not any more a regional ITRF-related frame, like ETRF89 in Europe, but the GNSS-orbit consistent global ITRF/ECEF itself. The RTCM-corrections for code and phase-measurements will then provide the ITRF-position as $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$. And so the coordinates of the reference stations $\mathbf{x}=(x,y,z)_{\text{Ref.Stat.}}$ (fig 1.1) have to be submitted to the time-dependent position change due to individual plate-movements, a datum-drift and the change of the ITRF datum itself. Let us start with the ITRF-related position $\mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFyyyy}}$ of the reference stations $\mathbf{x}=(x,y,z)_{\text{Ref.Stat.}}$ of the GNSS-service in an ITRF-related frame, e.g. ETRF89, with $yyyy = 1989$. Then the datum change from the regional ITRF-related frame to the global ITRF-datum $zzzz$ - e.g. $zzzz = 2005$ as the present ITRF as new kind of source CRS - is to be modelled by the similarity transformation, reading

$$\mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFzzzz}} = (1 + \Delta m) \cdot \mathbf{R}(\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z) \cdot \mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFyyyy}} + \mathbf{t} \quad (4a)$$

With the small part of a datum drift $(\Delta \dot{m}, \dot{\mathbf{R}}, \dot{\mathbf{t}})$ and the individual plate movement $\dot{\mathbf{R}}_{P(j)}$ we arrive from (4a), in a second step, at the ITRF-position related to the present datum $zzzz$ and to the present plate state epoch t_1 reading:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t_1)_{\text{zzzz}} &= \mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFzzzz}} + \left((\Delta \dot{m} + \dot{\mathbf{R}}) \cdot \mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFzzzz}} + \dot{\mathbf{t}} \right) \cdot (t_1 - t_0) \\ &+ \left(\dot{\mathbf{R}}_{P(j)} \cdot \mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFzzzz}} \right) \cdot (t_1 - t_0) \end{aligned} \quad (4b)$$

For the ITRF-related frame ETRF89 the epoch t_0 is $t_0 = 1989.0$. The changes of the position $\mathbf{x}=(x,y,z)_{\text{Ref.Stat.}}$, and so of the resulting GNSS-position at the rover $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$, between the ITRF/ECEF as the source CRS of a GNSS-service, and that of a fixed ITRF-related source CRS, are due to the plate dynamics (4b) for the Eurasian plate, e.g. at the location of Karlsruhe 2.7 cm / year (Fig. 2.4). The amount of (4b) can reach up to 10 cm / year at other places and plates on the earth.

The parameters for the subsequent transformations (4a,b) are available from the International Earth Rotation Service (IERS). For more details and literature it is also referred to [24]. The complete transformation from $\mathbf{x}(t_0)_{\text{ITRFyyyy}}$ to $\mathbf{x}(t_1)_{\text{ITRFzzzz}}$ can alternatively also be modelled by a 3D similarity transformation using a respective set of physical fitting points in the GNSS-service area [25].

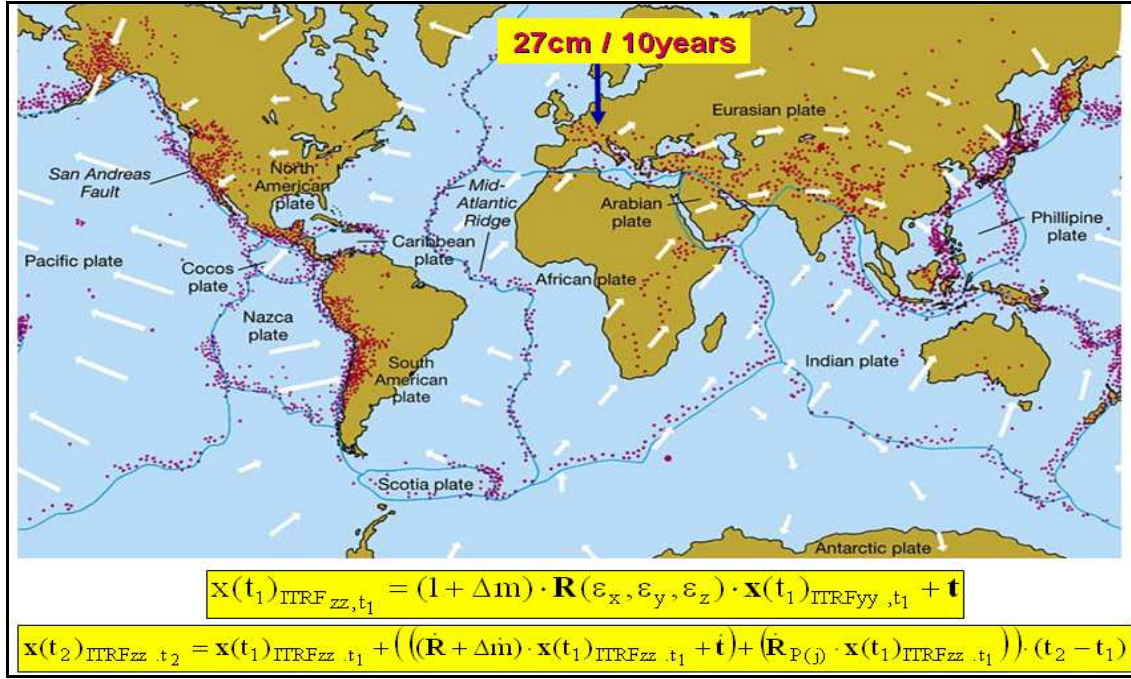


Fig. 2.4: Plate dynamics considerable in present RTCM transformation messages by a dynamic message set up.

Using the general concept of the RTCM gridding by virtual fitting points, we use a first set of reference transformations (tab. 1), which provide the set of virtual fitting points

$$[(B, L, h)_{ITRF-related} | (B, L)_T, H_T \text{ or } N]_i \quad (4c)$$

As a second set, and as an additional kind of a reference transformation (fig. 3.2) for the dynamic and combinable RTCM messages set up, we can either directly use the formulas (4a,b), or the above mentioned 3D similarity transformation. In that way, we transform the virtual fitting points from the preliminary ITRF-related source CRS to the final ITRF-based source CRS, reading

$$[(B, L, h)_{ITRF-related}]_i \Rightarrow [(B, L, h)_{GNSS, ITRF}]_i \quad (4d)$$

From (4c) and (4d) we arrive at the final set of virtual fitting points

$$[(B, L, h)_{GNSS, ITRF} | (B, L)_T, H_T \text{ or } N]_i \quad (4e)$$

From the set of virtual fitting points (4e) we can now set up the RTCM 3.1 transformation messages, as described in chap. 1.2.

2.2.3.2 Use of Parametric Reference Transformation

Modern georeferencing of GNSS-positions, as well as of geodata products, takes place in the ITRF or in ITRF-related frames. In this example, for the flexible dynamic set up of RTCM 3.1 transformation messages, we regard as preventatives of parametric geodata products and as reference transformations, respectively, the type of geopotential models [19], [20] of the earth gravity field and the type of the parametric DFHRS ([17], [18], [26]). Both can be used for the HRS-representation and as reference transformations type (3), tab. 1. Considering these types of parametric reference transformations concerning the HRS representation, it strikes, that both are to be updated in more or less high update rates according to their improvement and their physical variations, and both

can be used for large regions (global and Europe-wide, respectively). For these reasons, and in the context with chap. 2.2.3.1 it follows, parametric models like these and others (tab. 1) are predestinated be situated in their original parametric representation and the unique databases at the RTCM-server (fig. 3.2, fig. 4.1), and to be used for setting up dynamic RTCM combinable messages in the different transformation modules.

In case of e.g. a parametric geopotential model ([19], [20], [21]), which parametrizes the gravity field W of the earth by the spherical harmonic parameters (C_{nm} and S_{nm}) reading

$$W(r, \vartheta, \lambda) = \left\{ \frac{GM}{r} \cdot \left(1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_{GRS80}}{r} \right)^n \cdot (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \cdot P_{nm}(\cos \vartheta) \right) \right\}, \quad (5a)$$

the HRS (tab. 1 (3)) of a quasi-geoid, can easily be received as

$$N((x, y, z)_{GNSS}) = \frac{W - U}{\gamma_{h-N}}, \quad (5b)$$

where U is the parametrization of the reference potential. U depends on the four defining parameters $(a, \varepsilon, \omega, M)$ of the geodetic reference system (REF), presently GRS80, and reads:

$$U = U(a, \varepsilon, \omega, M)_{REF} | (\beta, \lambda, u) \quad (5c)$$

The gravity value γ_{h-N} is to be computed, iteratively in the case of (5b), also from U (5c). The georeferencing of W is done by the well-known spherical coordinates (r, ϑ, λ) , and that for U by the so-called ellipsoidal coordinates (β, λ, u) , both are related directly to the GNSS-position $(y, x, z)_{GNSS}$, e.g. for (β, λ, u) as

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 / u^2} \cdot \cos \beta \cdot \cos \lambda \\ u_i \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 / u^2} \cdot \cos \beta \cdot \sin \lambda \\ u \cdot \sin \beta \end{bmatrix} \quad (5d)$$

As concerns the forward and backward computations related to (5d), it is referred to WTrans-software and the appropriate manual at [13].

3. Communication Architecture for Providing RTCM 3.1 Transformation Messages via GNSS-Network-Software

3.1. General Overview on the Communication Architecture

The communication flow for providing GNSS users with RTCM transformation messages comprises three main components (fig. 3.1, fig. 3.2). The first component consists of the user group carrying out a GNSS-based positioning $(B, L, h)_{GNSS}$ in the ITRF/ECEF-based source CRS and needing the additional service of a datum and surface transformation the target CRS $(B, L, H)_{Target}$. The GNSS controller-software on the user-side (fig. 3.1, fig. 3.2) must be able to receive the different binary RTCM data-streams by GPRS, GSM or NTRIP-Protocol, to decode them, and to apply then the mathematical models, first for positioning $(B, L, h)_{GNSS}$ in the source CRS, and then these for a forward transformation (chap. 2.2.1) to $(B, L, h)_{Target}$ using the parameter and residuals information of the RTCM-transformation messages.

The second component consists of the GNSS-networking-software (e.g. GNREF (©Geo++ GmbH), GNSS Spider (©Leica Geosystems), GPSNet (©Trimble), TopNet (© Topcon), just to mention a few) with its according dial-in-server (fig. 3.2). The GNSS-networking-software is responsible for the generation of the RTCM 3.1 standard messages (fig. 3.1) concerning the code- and phase corrections, which are required for the positioning $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$ in the ITRF-based source CRS.

The third component is the configurable RTCM transformation server (fig. 3.1), which provides the different RTCM-transformation messages (chap. 2.2.2, chap. 2.2.3). As shown in fig. 3.1, the RTCM transformation messages may be sent by the GNSS transformation services provider in the TCP/IP standard directly to the user group, or through the GNSS-networking software. The second way is also as presented by fig. 3.2.

Fig. 3.1 shows also the two types of GNSS service providers. In case of the type “full service – one hand”, left, the provider covers the complete spectrum of all necessary reference transformations (chap. 2.2.2, chap. 2.2.3), which are required for the full service of the RTCM-messages, which are generated and broadcasted by the RTCM transformation messages server. The individual reference transformation consists of the individual data (transformation parameters and residuals, grid data, spherical harmonic coefficients, identical points, etc.) and the algorithms applied to that respective data (tab. 1). In case of the type “full service – shared”, fig. 3.1 right, a first party provides only one part, and a second party provides the complementary rest, meaning all further parts of the reference transformations needed for a full service on the RTCM server side. As an example for “full service –shared” one can imagine, that the first party e.g. provides the data of a static grid (chap. 2.2.2), and the second party provides all other reference transformations (fig. 2.2.3) including the access to the static grid, implemented on the configurable RTCM transformation server. So the portfolio of GNSS transformation services, and so also the respective configuration of the RTCM transformation messages server are per se an agreement between two or more parties.

We now come back to the third component of the GNSS-service provider, the RTCM transformation messages server. In the fig. 3.2 its use is represented, without loss of generality, for the case, that the RTCM transformation messages are sent through the GNSS-networking software.

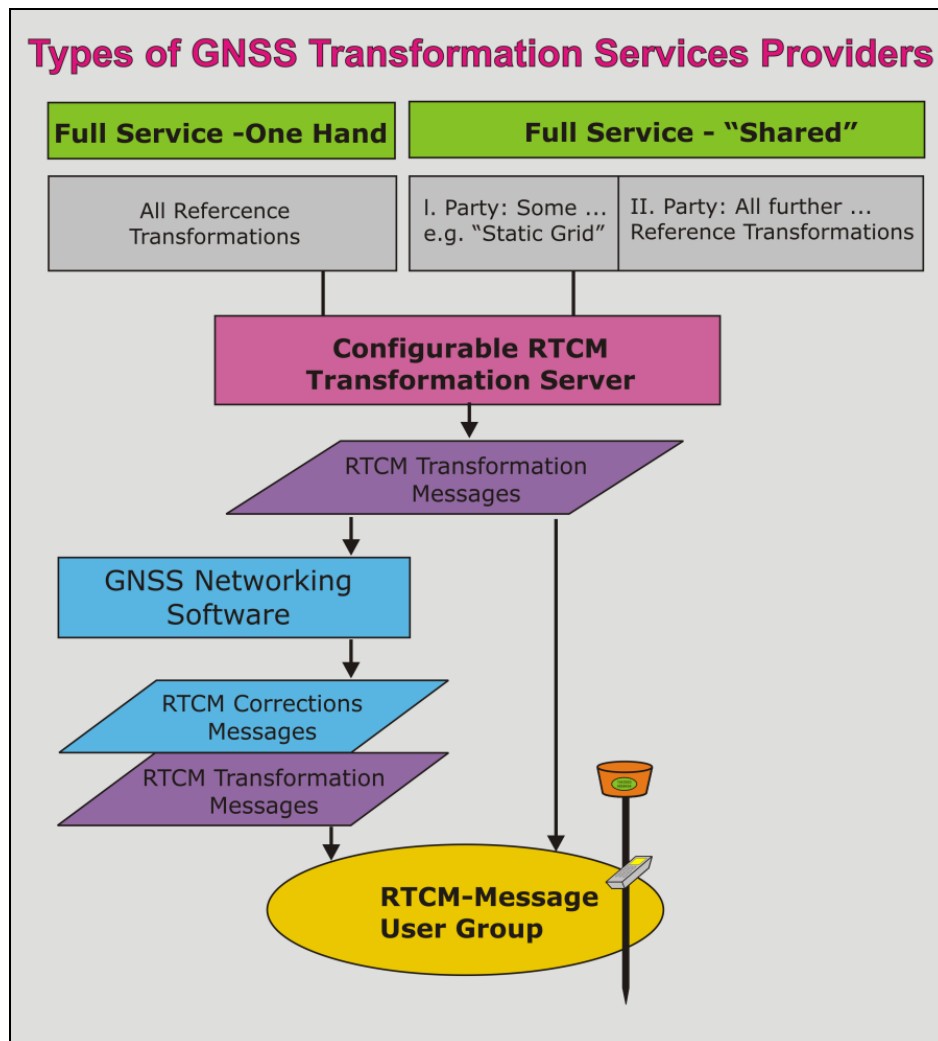


Fig. 3.1: Types of GNSS Transformation Services Providers. Full service – one hand: All reference transformations are contributed by one party to the RTCM transformation messages server. Full service - “shared”: One part of the reference transformations is contributed by a first party, all further parts by a second party.

The messages, which are broadcasted to the clients (e.g. for surveying purposes, navigation, machine control, GNSS online monitoring, etc.) are in binary format with check-sum, embedded into a so-called transportation layer ([5], [11]). For a full service, the RTCM transformation message server must be able to set up an arbitrary number of transformation modules according to its configuration. Their distribution can be made either by using different TCP-ports, representing the “transformation modules” [12] or by making use of the SIN [11] within one message stream. Without loss of generality, fig 3.2 and the following explanation of the server client concept relate to the use of different ports for different sets of messages. One transformation module then provides a well-defined set of RTCM transformation messages as an answer, when receiving a NMEA position-information as a request (fig. 3.2). As a transformation module is addressed by a preconfigured TCP-Port, the GNSS software is able to send the users NMEA- request to the transformation module, which satisfies the users demands.

The following chapter describes the design and capacities of a configurable RTCM transformations messages server. Such a server has generally to handle a number of different sets of transformation messages, with respect to different height, horizontal and vertical CRS, different resolutions, etc. Each RTCM message set has then generally to be set up by one or a number of separate reference transformations (chap. 1.2, chap. 2.2.3, fig. 3.2), which are implemented in the RTCM transformation server. Depending on the configuration, a transformation module is accessing one or more of the reference transformations (data and algorithms) to gather the required information for the RTCM transformation messages.

3.2. RTCM Transformation Modules

As the GNSS network software is responsible to provide the total set of RTCM messages to the user, the interface between the GNSS network software and the transformation module which provides the RTCM transformation messages as a subset of the total message set is an important item.

In the logical sense the interface consists in the one direction from GNSS software to transformation module of the NMEA-Position which is provided by the user and passed by the GNSS software to the transformation module. In the other direction the interface comprises the RTCM correction messages (1021 – 1027) [5], [11] which are provided by the transformation module.

The physical interface between the GNSS-network software and the transformation modules are TCP-sockets [12]. The RTCM transformation modules act as TCP-servers while the GNSS network-software acts as a client. One transformation module has a fixed TCP-Port number.

After the reception of a users NMEA position, the GNSS network software has to establish a TCP-socket connection to the transformation module. The transformation module generates the transformation messages, which are valid for this position and provides them to the GNSS network software. Afterwards the socket-connection is closed.

The GNSS network software is responsible to pass the transformation messages in the interval recommended by the RTCM specification to the user. By means of the NMEA position provided by the user it can be determined if the user is still in the area of validity of the transformation message. For this purpose the transformation messages received from the transformation module have to be decoded and interpreted by the GNSS network software and they have to be buffered for the online-time of a user. If a NMEA user-position is not situated in the central mesh of the RTCM message (fig. 22, [11]), the GNSS-network-software has to request a new transformation message from the transformation module by sending the new NMEA-position of the user to the transformation module and to provide the new RTCM transformation message to the user.

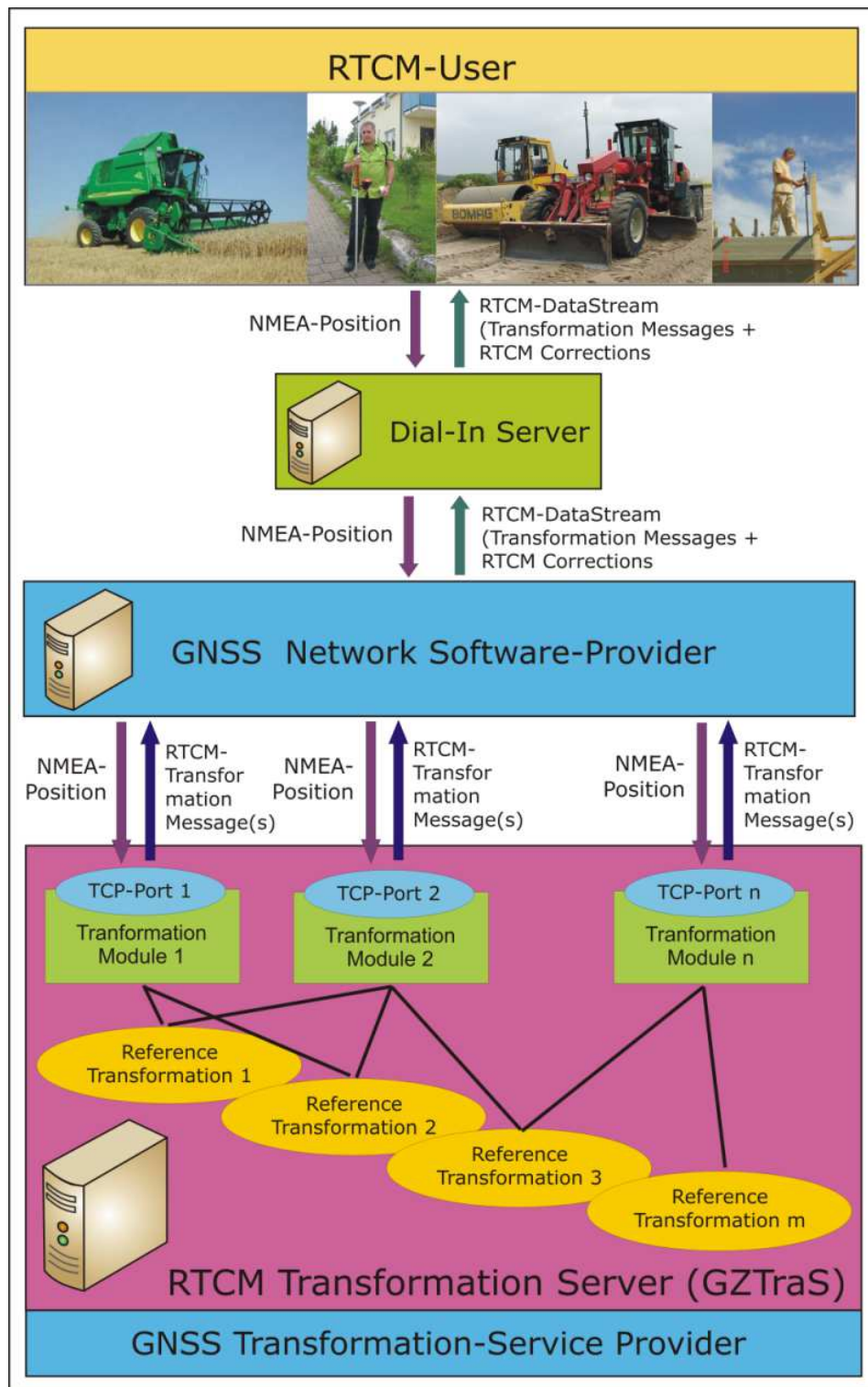


Fig. 3.2: Communication Architecture - GNSS User, GNSS Network Software and RTCM Transformation Messages Server with Configurable TCP-Ports acting as Transformation Modules for the Generation of any RTCM message out of any kind of Reference Transformations

If the connection to the transformation module fails or no transformation message is provided by the transformation module within a given time range, the GNSS network software should try to establish a new connection to the transformation module in a given interval and to retrieve valid transformation

messages. In these cases the network operator has to be informed in an appropriate manner by the GNSS network software.

Which RTCM message types of the different available message types are provided is configured in the transformation module. The application of different transformation reference transformation (tab. 1) has to be possible. In the GNSS-network-software it must be able to assign different customers to different transformation models.

4. Example for a RTCM-Transformation Server – GZTraS

4.1. Software architecture of GZTraS

The RTCM-Transformation Server GZTraS (fig. 4.1) was realized in 2007/2008 by the authors [13] in the context with [14].

In its current Version 2.0., the GZTraS (GeoZilla Transformation Server) is realized as a Windows® Application (fig. 4.1). Figure 4.1 shows the main window of GZTraS. The list in the top of the window shows the different transformation-modules which are configured for the server. Each transformation module is running on its own TCP-Port and the underlying reference-transformations and the according transformation messages can be defined by configuration. The transformation modules which are currently running are equipped with a green icon. The transformation modules, which are presently not running, are equipped with a yellow icon. Transformation modules, which can due to missing configuration information not yet be started are equipped with a red icon.

Every incoming request as well as occuring problems during generation of the RTCM transforamtion messages is logged to file. The window in the lower area of the GZTraS main window shows the log-entries for the transformation selected in the upper list.

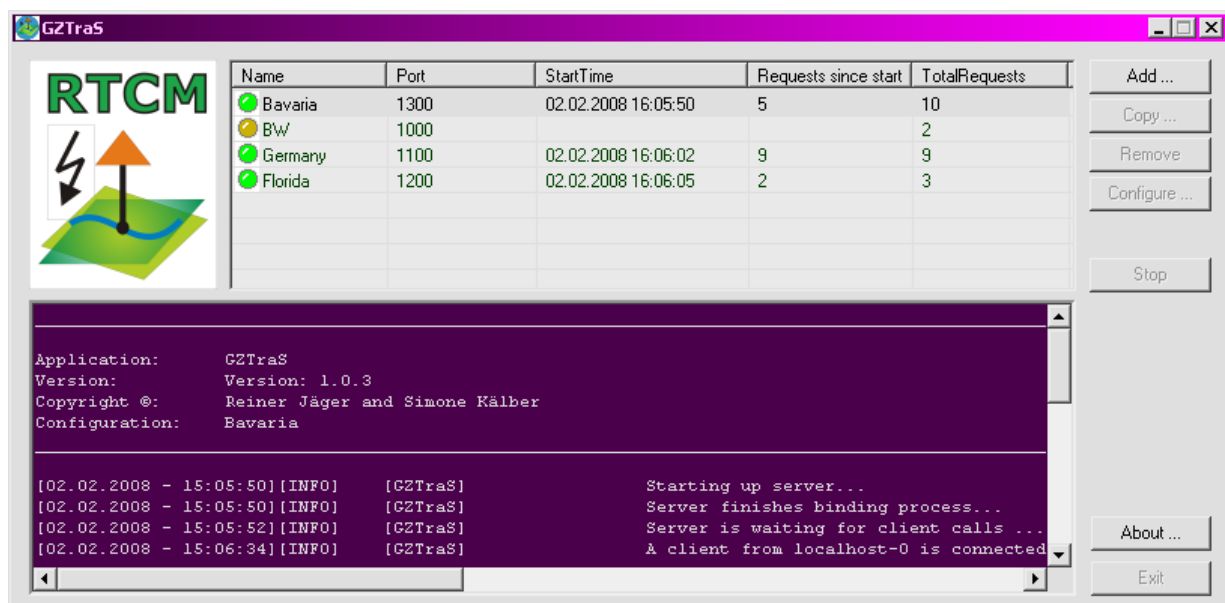


Fig. 4.1: Main Application Window of GZTraS
(GeoZilla Transformation Server) [13]

4.2. Configuring GZTraS

Each transformation-module (e.g. set up for a specific user group or for a specific area) holds its own configuration in GZTraS. The configuration has to be done after adding a new transformation module and before starting the service of the transformation-module.

A configuration contains essentially the following information

- Port-number to use for the transformation module.
- Numbers of the RTCM messages to provide within the transformation-module
- Information about the reference-transformations to use for this configuration
- Static preconfigured position-independent message content

In its current version GZTraS supports as RTCM transformation message types the messages 1021, 1023 and 1025 [11] which are related to geographical coordinates (B,L). As reference transformations (fig. 3.2) DFLBF- and DFHRS ([17], [18]) can be set up.

5. Testing of the RTCM 3.1 Transformation Messages

The application of new the RTCM-transformation messages was tested out in the server-client concept using the server GZTraS in the area of Bavaria (fig. 1.1) in the frame of a diploma thesis at HSKA [14]. The reference transformations DFHBF/DFLBF (tab. 1) were used in the active transformation modules (fig. 3.2, fig. 3.2), which were configured for the broadcasting of the RTCM transformation messages 1021 and 1023 related to the geographical coordinates in the target CRS. The accuracy of the applied original reference transformation was 1 cm for the height (DFHBF) and about 5-7 cm for the plane transformation (DFLBF). The respective reference transformation, represented by DFHBF and DFLBF, are related to the classical German plane datum called “DHDN”, and as for H to the frame of the German “NN-heights” as target CRS.

As concerns the dynamic setting up (chap. 2.2.3) of the grid-based RTCM messages the height indicator 2 was used. To test both, the setting up and interpretation of RTCM-messages for the transformation of the rover position from the source CRS $(B,L,h)_{\text{GNSS}}$ to the target CRS $(B,L,H)_T$, these tests were done by using the client GZTraC and an independent client developed in the thesis at the external partner [14]. Further the RTCM-based results were compared to the use of the original access to the reference transformations DFHBF and DFLBF, as well as by comparing both with a number of 42 additional physical fitting points distributed regularly country-wide over Bavaria (fig. 1.1).

The results of the above tests proved by the mutual and independent comparisons the correct setting up of the RTCM-messages and their consistency with the original reference transformations in the given accuracy level of 1 cm and 5 cm respectively. To enable a testing for the interested GNSS community, the RTCM 3.1 transformation messages server and client, GZTraS and GZTraC, the above Bavarian DFHBF/DFLBF databases, and the DFHBF database for Florida, USA, as reference transformations, have been made available on the Web at [13].

References

1. <http://www.trimble.com/vrs.shtml>
2. Wübbena G. und A. Bagge: Neuere Entwicklungen zu GNSS-RTK für optimierte Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: Referenzstationsnetze und Multistations-RTK-Lösungen. 46. DVW-Seminar "GPS-Praxis und -Trends '97". 29.9.-1.10.97 in Frankfurt/Main.
3. Zebhauser, B. E., Euler, H.-J., Keenan, C.R., Wübbena, G. (2002): A Novel Approach for the Use of Information from Reference Station Networks Conforming to RTCM V2.3 and Future V3.0, ION NTM 2002, January 28-30, 2002, San Diego, CA.
4. S. Kälber and R. Jäger (2005): 3D-Similarity Transformation related to (B,L,h) - Molodenski-Approach. http://www.geozilla.de/files/3D__B,L,h_Molodensky_and_XYZ-Alternative.pdf.
5. RTCM Special Committee No. 104 (2006): RTCM Standard 10403.1 for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3. Radio Technical Commission for Maritime Services.
6. Trimble Grid Factory Software Description: http://www.trimble.com/scs900_ts.asp?Nav=Collection-37882
7. Jäger, R. and S. Schneid (2004): DFHBF-Leica.exe. Module for gridding DFHBF-Databases to field grids for Leica Rovers. DFHRS-Team Karlsruhe.
8. Seiler, S.: Use3DIM-Grid-Software-Module. http://www.ib-seiler.de/pdf/3dim_handbuch.pdf. Ingenieurbüro-Seiler Lauf.
9. Fortes, L.P., Laura, E., Brunini, C., Amaya, W., Sanches, L., Drewes, D. and W. Seemüller (2006): SIRGAS - a geodetic enterprise. Coordinates, Vol. II, Issue 5, May 2006. www.mycoordinate.org. ISSN 0973-2136.
10. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg(2008): Einführung des neuen europäischen Normalhöehensystems. http://www.lv-bw.de/lvshop2/start_ns.asp?openkey=GEODATEN&keyinfo=&os=Win32&mapw=600.
11. RTCM Special Committee No. 104 (2007): Amendment 1 to RTCM Standard 10403.1 for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3. Radio Technical Commission for Maritime Services.
12. AdV-Working Group SAPOS and Transformation (2005): Transformationsmodule und technische Einbindung der Transformations-Information. Technical Paper, April 2005.
13. Jäger,R. and S. Kälber (2008): GeoZilla Transformation Server GZTraS. http://www.geozilla.de/eng/software/software_gztras.htm
14. Hoyler, K.R. (2007): Anbindung externer RTCM 3.0 Transformationsmodule an GPS-Spider®. Diploma-Thesis at Hochschule Karlsruhe – University of Applied Sciences. Unpublished.
15. Jäger, R. and S. Kälber (2008): GZTraS on GeoZilla-Homepage. URL: http://www.geozilla.de/eng/software/software_gztras.htm.
16. Jäger, R. and S. Kälber (2008): GeoZilla-WebSite: <http://www.geozilla.de>.
17. Jäger, R. and S. Kälber (2006): Precise Transformation of Classical Networks to ITRF by CoPaG and Precise Vertical Reference Surface Representation by DFHRS - General Concepts and Realisation of Databases for GIS, GNSS and

Navigation Applications. Proceedings to GeoSiberia 2006. Volume 1. S. 3-31. Novosibirsk, Russia. ISBN 5-87693-199-3.

18. Jäger, R., Schneid, S., Kälber, S. and Seiler, S. (2006): Precise Transformation of Classical Networks to ITRF by CoPaG and Precise Vertical Reference Surface Representation by DFHRS – General Concepts and Realisation of Databases for GIS, GNSS and Navigation Applications. 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics. Prague, Czech Republic. 16.03.2006 - 18.03.2006. Milan Tallich (Eds.): Conference Proceedings. ISBN 80-85881-25-X. 26 pages

19. EIGEN: http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace/results/grav/g001_eigen-grace01s.html

20. EGM96: <http://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>

21. EGG97: <http://www.ife.uni-hannover.de/forschung/egg97.html>

22. BKG Quasigeoid-Deutschland:
http://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Download/DE_20-_20InfoMaterial/BKG-Quasigeoid-Prospekt-DE,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BKG-Quasigeoid-Prospekt-DE.pdf

23. Schneid, S. and R. Jäger (2006): Umreferenzierung der Digitalen Finite Element Höhenbezugsfläche (DFHBF) für Hessen. Technical Report. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (HSKA). Unpublished.

24. Jäger, R. (2008): Deformation Integrity Monitoring for GNSS-Positioning Services by the Karlsruhe Approach (MONIKA) – Concept, Realisation and Present Results. Geomatika (2). Scientific Proceedings of Riga Technical University.

25. Jäger, R., Schmittinger, D. and Kälber, S. (2001): Kurzhandbuch Berner GPS-Software. Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik. Studiengang Vermessungswesen und Geomatik.

26. Jäger, R. (2008): DFHBF-WebSite: <http://www.dfhbf.de>.

27. ETOPO5: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo5.HTML>

© Reiner Jäger, Simone Kälber, 2008

УДК 528.48

Karl-Peter Traub

Department of Geomatics

HafenCity University Hamburg, Germany

E-mail: karl-peter.traub@hcu-hamburg.de

METROPOLITAN INFORMATION SYSTEMS: THE APPLICATION OF GIS FOR FOUNDATION MANAGEMENT IN HAMBURG

Summary

This study firstly applies GIS technology to map out foundations (non-profit organizations) and their projects/beneficiaries in order to monitor their charity work. The City of Hamburg is an ideal study area, since this city avails of the highest density of foundations of all cities in Germany. The study - once completed - can be used to spatially analyze the impact of foundation work in order to improve their outreach and sustainability. The GIS database will soon be accessible on Internet and managed by the Department of Justice. First results are being presented here.

Key words: Foundation, GIS, Urban Information System, Hamburg

INTRODUCTION

Technology oriented tools, such as Geographic Information Systems (GIS), play nowadays a major role in metropolitan and urban areas as well as in geosciences and related fields. GIS can be successfully utilized for a variety of socio-economic applications in urban metropolitan areas, e.g. mapping, analysis and visualization of the spatial distribution of health facilities (TRAUB 2004a; TRAUB 2004b) or tourist infrastructure in the city, etc. With the application of GIS tools, geo-objects and their spatial inter-relationships can be coordinated in order to recognize certain spatial patterns, which might not be obvious from tabular data alone.

In this study, which began in 2007 and which is still ongoing, non-profit organizations (foundations) in Hamburg, Germany, and the spatial distribution of their project activities within the city limit were mapped out for the first time.

Within the framework of a joint project of the Department of Geomatics, HafenCity University Hamburg, and the “Initiative of Foundations in Hamburg”, initiated by the Alfred-Toepfer-Foundation, the spatial distribution of foundations (non-profit organizations) and their projects in Hamburg have been mapped out, stored in a digital database and visualized. The aim of the project is firstly to record spatial distribution of foundations, such as the locations of their headquarters and related themes within the city of Hamburg. Secondly, the study aims to map out the projects of the foundations within the city. A large GIS-database is currently being developed in order to support the efforts of the Department of Justice, which is responsible for the official registration of foundations in Hamburg. Since the project is still ongoing, only some of the preliminary results are being presented here.

FOUNDATIONS IN HAMBURG AND THEIR WORK

Foundations are non-profit organizations which often have charity purposes. They are often set up for either charitable or collective purposes. They may either donate funds and support to other organizations, or provide the sole source of funding for their own charitable activities. Commercial activities are not the main purpose of the foundation but are allowed for serving the main purpose. There is no minimum start-up capital necessary to create a foundation. However, a base capital of at least € 60.000 is considered necessary. A foundation is supervised by the local authority of each federal state. In Hamburg this is the Department of Justice.

In the year 2007 the Free and Hanseatic City of Hamburg, located in the northern part of Germany, had approximately 1.75 Million inhabitants, who lived on an area of 755 sqkm. The city is well known for its large international seaport, its vibrant tourist areas - and as the second largest city of Germany. But Hamburg is also one of the 16 Federal States of Germany, and – if one may say so – the “capital of foundations” in Germany. In early 2008, in Hamburg 1026 foundations were registered, which means that Hamburg has the highest density of foundations Germany-wide (>50 foundations/100 000 inhabitants). In Germany, there are currently over 14 000 registered foundations and the number is continuously growing.

The oldest foundation in Hamburg (Hospital of the Holy Spirit) dates back to the year 1227. The total cash assets of all foundations in Hamburg sums up to around 4 Billion €. The largest foundation in Hamburg is the ZEIT-Foundation Evelin and Gerd Bucerius with annual funds of 15 Mio €, the second largest is the Koerber Foundation with annual funds of 10 Mio € and the third largest the Rudolf-Lodders-Foundation with just over 6 Mio € annual funds. The activities of the ZEIT-Foundation are focusing on research and scholarship, art and culture as well as education and training. The flagship of the Foundation is the Bucerius Law School, founded in 2000 as the only private university for law studies in Germany, and already a strong innovative force in academe. The establishment of the Bucerius Art Forum in the heart of Hamburg underlines its importance in the arts. The Bucerius LERN -WER K in Hamburg is an educational initiative to promote reforms at selected secondary schools. The project, which started with just eight schools in Hamburg, now extends to schools in Mecklenburg-Pomerania, Saxony-Anhalt and Lower Saxony.

The Koerber Foundation is an operating foundation that has brought some of its own awards into being, in order to foster creativity in science, art and social commitment. The main partner of this study, the Alfred-Toepfer Foundation, is also one of the largest foundations in Hamburg, in terms of annual funding (over 1,5 Mio €). The foundation is committed to promoting European unification and ensuring cultural diversity alongside understanding between the countries of Europe. As a private, non-profit-making foundation it is active in the domains of European integration, international understanding, art and culture, science, nature conservation, and youth work. Further activities extend into the fields of agriculture and forestry, as well as the preservation of historical monuments. One of the smaller foundations, out of the 1026 in Hamburg, is the Foundation “Haus Bauhütte” which’s main purpose is to run and operate a student dormitory.

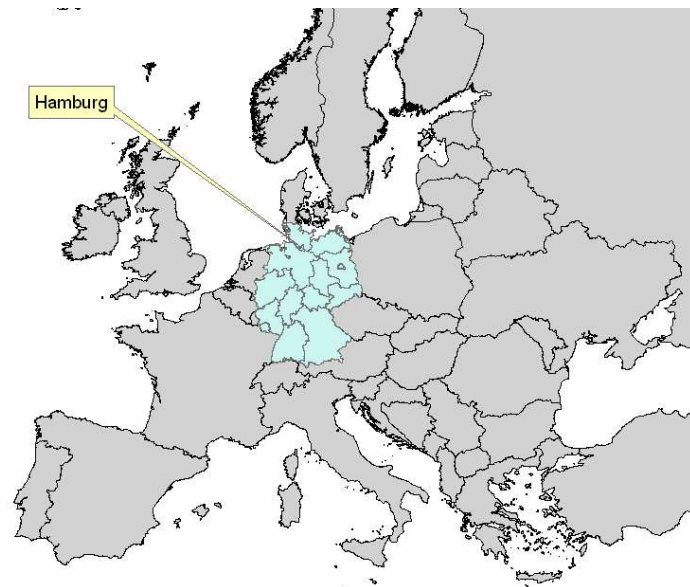


Figure 1: Location of Hamburg in the North of Germany (Map Source: ESRI)

As one can easily imagine, the tasks and fields of operation of foundations are as diverse as the aspects of society. According to the statistics, about one third of the foundations pursue social purposes, 20 % support education, 15 % art and culture, 10% science and research and 5% environmental protection.

The type of the foundations can be generally distinguished between those which run their own programs and projects and those which support individuals or other organizations financially. Both types do exist in Hamburg.

DEVELOPING THE SPATIAL DATABASE

The 1026 foundations (as of early 2008) in Hamburg are categorized into 26 different areas of operations, whereas many organizations are active in more than one field, e.g. medicine and handicapped or culture and sciences or art and international studies. This information is stored in a (non-spatial) database, managed by the Department of Justice in Hamburg and accessible for everybody through Internet.

Table 1: Categorization of Foundations in Hamburg

No	Fields of operation
1	Science and Research
2	Sports, Leisure and Recreation
3	Animal Protection
4	Environment and Nature Protection
5	Art, Culture and Protection of Monuments
6	International Relations
7	Advancement of Medicine
8	Handicapped
9	Health
10	Hospitals
11	Church
12	Senior Citizens
13	Housing
14	Assistance for Scholars and Students
15	Youth Support
16	Children
17	Religion
18	Education
19	Economy and Employment
20	Politics
21	Consumer Protection
22	Old Age Home and Care
23	Social Work
24	Support of Institutions and Individuals
25	Family Members of the Founder
26	Provident funds

One of the major and time consuming activities of the study was the geocoding process for all foundations including some of their major projects and data collection procedures from the individual foundations. Some of the core attributes that were collected and processes are listed in Table 2.

Table 2: Attributes at the example of one large foundation (modified)

Name:	Afred-Toepfer-Foundation FVS
Name of Founder	Alfred Gustav Carl Toepfer
Year of Foundation	1932
Type of Foundation	Public
Purpose	To promote European unification and ensuring cultural diversity
Area of Operation	International
Tasks	Culture, Art, Science, European Integration etc.
Contact Person	Birte Toepfer
Address	Georgsplatz 10, Hamburg
Annual Budget	1.533.876,00 €

This tedious task was accomplished together with students from the Department of Geomatics of the HafenCity University Hamburg as a study project during the summer term 2007. Geocoding was done using the official digital map of Hamburg in which the addresses were located and stored in a database as point data. Thematically, the foundations were grouped into 26 categories of operations and stored in a different table (Tab. 1). The relational database was finally implemented using ESRI ArcGIS 9.2 (Fig. 3).

The screenshot shows two tables from an ArcGIS 9.2 database. The top table, 'Attributes of StifftGru10', contains detailed information about 14 foundations. The bottom table, 'Attributes of Stiftungen', is a summary table listing 13 foundations with their FID, Shape, Id, and PS values.

PS	Anschrift	Stiftung	Spendenkonto	Telefon
3	Nartenstraße 19	J.H.W. Maurien-Stiftung	Kontonr.: 1262128174 ; BLZ : 20050550; HASPA	040/771 29-210
4	Stellinger Weg 49 a	Bengel & Engel - Gemeinnützige Stiftung	Kontonr.: 2002 663 8 ; BLZ : 43060967; GLS Bank e.G.	040-431 7949-0
5	Hamburger Straße 131	Bertha Meyer-Stiftung	Kontonr.: 103457012; BLZ : 20050000; Hamburger Landesbank	040/428 63-2563
6	Tannhäuserweg 6	Erich-und-Agnes-Zuhr-Stiftung	<Null>	<Null>
7	Neumühlen 11	Frank Duval Foundation	Kontonr.: 2275275500; BLZ : 50220085; UBS Deutschland AG	0049-(0)40-441960-11
8	Remstedtstraße 46	Ilse und Dr. Horst Rusch-Stiftung	Kontonr.: 1299127090; BLZ : 20050550; HASPA	040/677 2788
9	Hamburger Straße 31	Martea Röhr-Stiftung	Kontonr.: 103457042; BLZ : 20050000; Hamburgische Landesbank	040/428 63-2589
10	Palmaille 67	MPC Münchmeyer Petersen Capital Stiftung	Kontonr.: 603124355; BLZ : 20030000; HypoVereinsbank	040/38022-4202
11	c/o Hamburger Sparkasse AG/Vorstandsstab und Kommunik	Peter-Mählmann-Stiftung	Kontonr.: 1280111111; BLZ : 20050550; HASPA	040/35 79-3348
12	c/o Dommel Schlosser & Partner / Neue Rabenstr. 3	Ronald und Hildegard McCall-Stiftung	Kontonr.: 0273 0777; BLZ : 20080000; Dresdner Bank Hamburg	040-414600-40
13	Hemmingstedter Weg 139	Ruckriegel-Stiftung	<Null>	<Null>
14	Buschwerder Winkel 2	Schlie-Stiftung	Kontonr.: 109552062; BLZ : 23052750; Kreissparkasse Lauenburg	040/75 60 10-0

FID	Shape	Id	PS
0	Point	0	3
1	Point	0	4
2	Point	0	5
3	Point	0	6
4	Point	0	7
5	Point	0	8
6	Point	0	9
7	Point	0	10
8	Point	0	13
9	Point	0	14
10	Point	0	15
11	Point	0	16
12	Point	0	17
13	Point	0	20

Figure 2: Parts of the GIS Database in ArcGIS

With the non-spatial data interlinked with geographic data and other GIS layers, such as administrative boundaries, typical queries can be run, such as number of foundations per district or location of the oldest foundation in the city etc. Tabular statistics are also possible, like the average annual budget of foundations created between the year 1700 and 1800 etc. This large database will soon be covering all 1026 foundations of the city.

As one can see from the map (Fig. 3), most foundations are located north of the Elbe river in the city center, only few in the south (Harburg and Bergedorf). This phenomenon is certainly no coincidence but due to the socio-economic structure of the city which manifests even spatially. This regional disparity can also be seen in other fields, such as the provision of health facilities (e.g. TRAUB 2004a and b) or income. The southern districts of Hamburg are in many cases less privileged than the North.

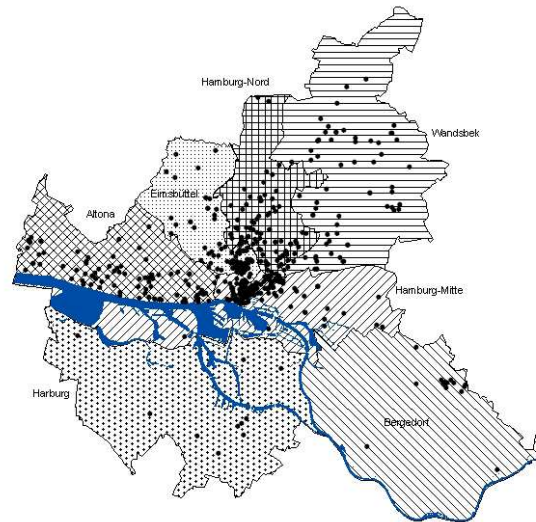


Figure 3: Location of sample foundations in Hamburg (613 out of 1026). One dot represents one foundation. Different hatchings represent the seven different districts.

Another interesting observation is that 51% (515) of the analyzed foundations (1009) were founded between 1990 and 2008 and 33% (338) were founded within the last 8 years, since 2000! This coincides with the economic success of the city. This is also no real surprise, since Hamburg has the highest density of millionaires of all German cities.

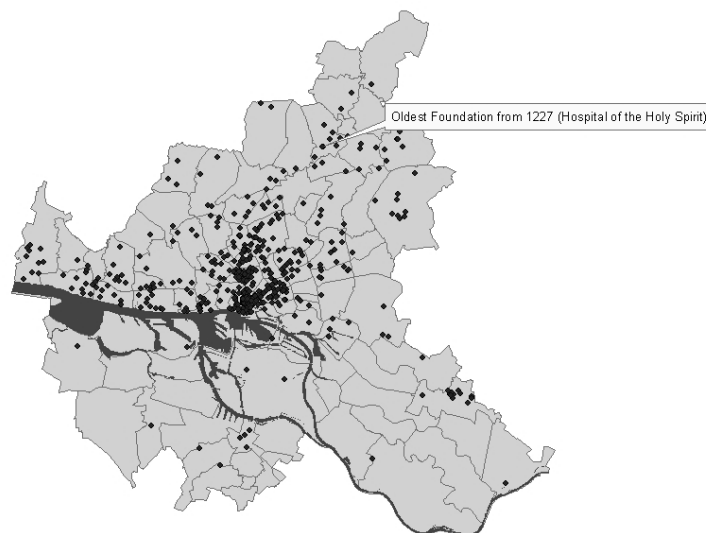


Figure 4: Location of the oldest foundation in Hamburg. The map also shows the boundaries of the 103 city's quarters

This GIS database - once completed - will be implemented as WebGIS solution at the Department of Justice and could then be reached on Internet by any user.

THE PROJECTS AND THEIR BENEFICIARIES

The “Initiative of Foundations” came up with the idea to map out the locations of projects or beneficiaries, funded by the foundations. This part of the project is by far the interesting bit, since the location of the beneficiaries of the projects may provide some insights about spatial patterns of charity work and may deliver some ideas about the impact of the foundation’s efforts on sustainability and outreach.

Hence, a second relational GIS database was developed in a similar manner to store the spatially referenced data about the projects or beneficiaries of the foundations, together with their relevant attributes. Those relevant core attributes are listed in Table 3 below.

Table 3: List of Core Attributes for Projects and Beneficiaries

Project Name
Project Address
Cooperation Partners
Project Goal
Budget
Project Duration
Contact Person
Status (ongoing/completed)

This second GIS database could then be related to the first database. The most challenging part was to gather detailed data from the foundations – some of the foundations do not like to publish such kind of data, for various reasons. This task is still ongoing and may be completed by the end of 2008. Also, it was impossible to contact all 1026 foundations, hence the project partners agreed to limit this exercise to the 200 most active foundations in Hamburg.

After geocoding the beneficiaries using the digital street map, the spatial distribution of e.g. “scientific and research” projects or “handicapped” could be displayed, including their respective attributes (see Fig. 5).

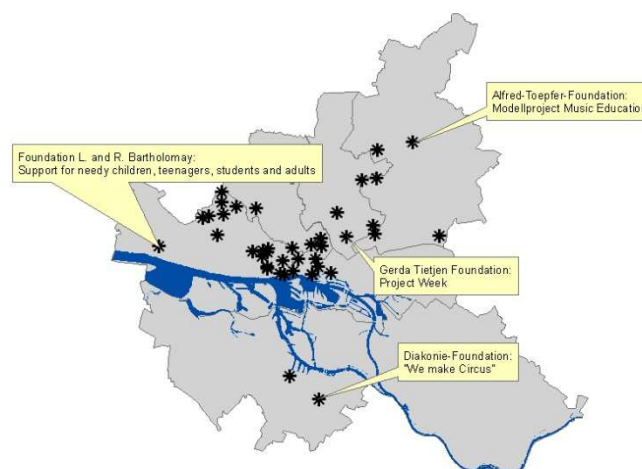


Figure 5: Location of selected projects for children, funded by different foundations. One asterisk represents one project.

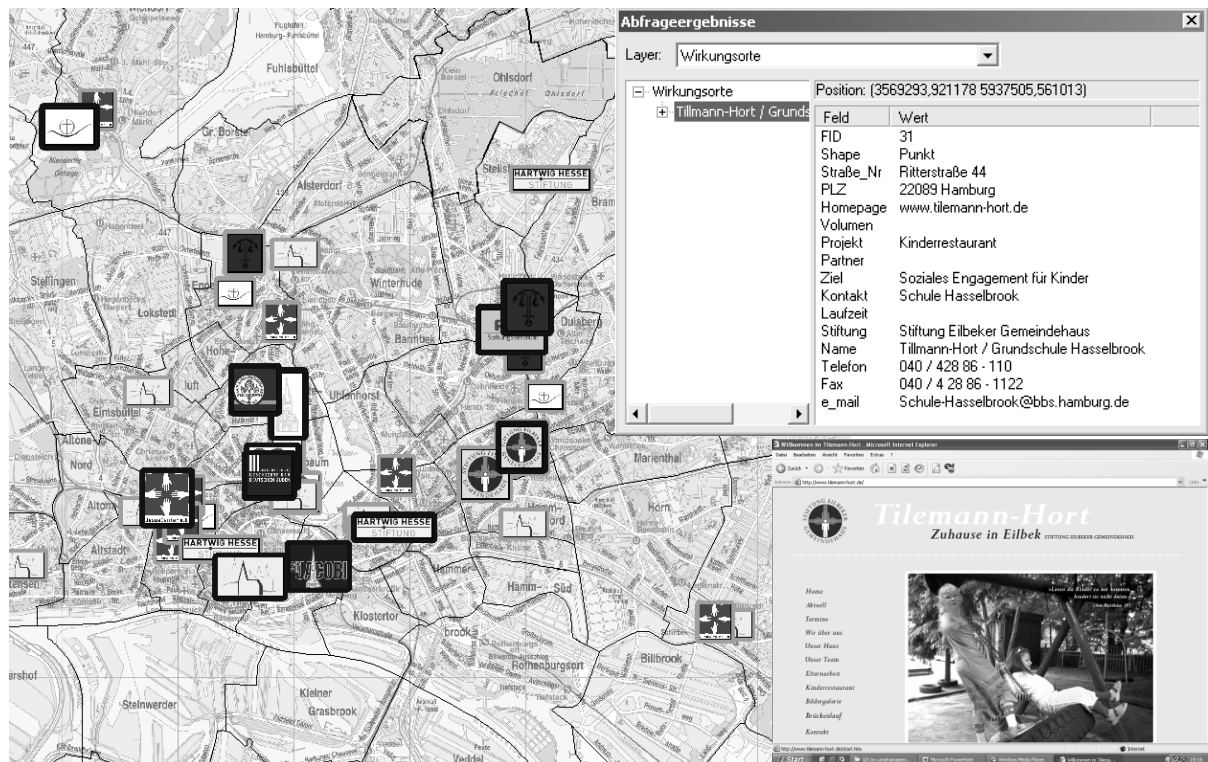


Figure 6: Children's projects with some displayed attribute information, retrieved from the database

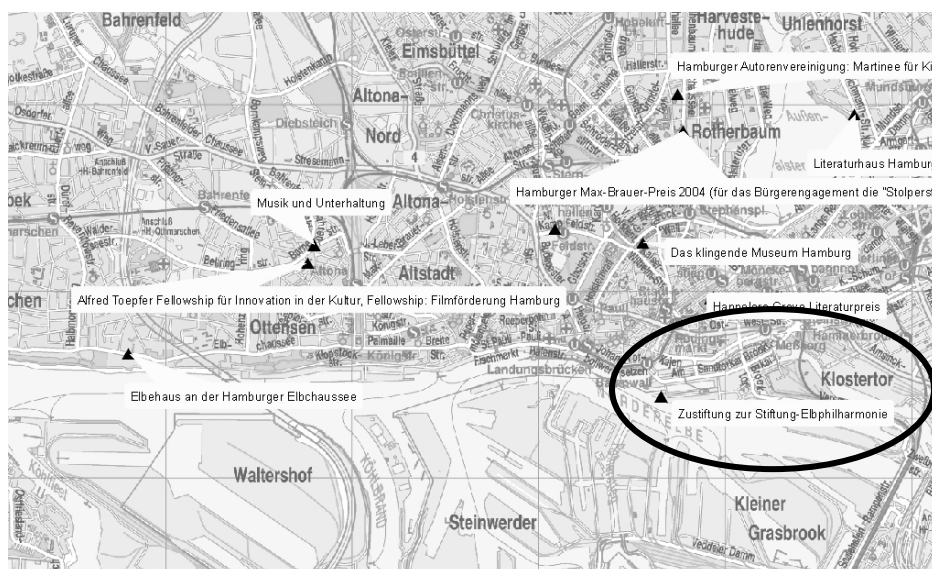


Figure 7: Selected cultural projects. The "Foundation Elbphilharmonie" is encircled

One of the largest projects in Hamburg that is being developed at the moment, is the new music hall ("Elbphilharmonie"). On top of an old port warehouse from 1875, a concert hall, a hotel and apartments will be constructed and ready for use by 2011. The funding for this world-class music hall comes from over 5000 trustees who gave already over 60 Mio € to the newly created "Foundation Elbphilharmonie" in order to

realize this landmark project The location is within the Harbor City area along the Elbe river (see Fig. 7 and 8).



Figure 8: Computer animation of Hamburg's new musical hall ("Elbphilharmonie"; www.stiftung-elbphilharmonie.de)

The examples above are only a few highlights of what can be done by using GIS for monitoring purposes, and may serve the foundations to keep the overview about their supported projects. The tool may also be used to promote activities and to create awareness about charity projects, which may motivate even more people "to do good" for their city.

OUTLOOK

The study shows that GIS can be well applied to various aspects of another interdisciplinary field: foundation management and monitoring of their work. Furthermore, the study and especially the methodology of systematically inventorying projects and beneficiaries are well applicable to other cities and countries, where the number of foundations are still limited. This GIS-based data will be used – once completed – to further study the impact of foundation work, since little is known about the sustainability of charity projects.

This comprehensive, GIS-based inventory and mapping exercise will be available as WebGIS solution on Internet in the future.

REFERENCES

1. Bundesverband Deutscher Stiftungen (ed.) (2007): Stiftungsreport 2007. www.stiftungen.org.
2. Goering, M. (2007): In Hamburg stiften gehen. Hamburg.
3. Initiativkreis Hamburger Stiftungen und Freie und Hansestadt Hamburg (ed.) (2003): Buerger und Gesellschaft. Stiftungen in Hamburg. Hamburg.
4. Justizbehoerde Hamburg (ed.) (2008): Stiftungsdatenbank Hamburg. www.hamburg.de.
5. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (ed.) (2008): Statistisches Jahrbuch Hamburg 2007. Hamburg.

6. Traub, K.-P. (2004b): GIS based Veterinarian Information System (VetIS) for Hamburg, Germany. In: Geoinformatics 6/2004, Emmeloord.

7. Traub, K.-P. (2004a): Study on the spatial distribution of health locations using GIS, the example of Hamburg. In: Geo-Information Systems in health. Introduction and practical applications. Heidelberg (in German).

Contact

Prof. Dr. Karl-Peter Traub

Department of Geomatics

HafenCity University Hamburg

Hebebrandstrasse 1

D-22297 Hamburg

Germany

Phone: +49 (40) 42827.5494

Fax: +49 (40) 42827.5359

E-mail: karl-peter.traub@hcu-hamburg.de

Internet: <http://www.hcu-hamburg.de/geomatik/>

© *Karl-Peter Traub, 2008*

УДК 629.783:551.24

К.М. Антонович, А.И. Каленицкий, А.П. Карпик, А.Н. Клепиков
СГГА, Новосибирск

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВЫСОКОТОЧНОЕ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

К.М. Antonovich, A.I. Kalenitskiy, A.P. Karpik, A.N. Klepikov
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

EFFECTIVE HIGH PRECISION HORIZONTAL AND VERTICAL GEODETIC NETWORKS FOR WEST SIBERIA OIL-AND-GAS FIELDS

Currently the problem of the effective horizontal and vertical geodetic networks at the West-Siberian oil-and-gas fields became unsatisfactory. That is happened because the national control network points developed former times have been partly missing and significant part of the others have been changed their positions, especially in the heights. Therefore, the GNSS multiple reference station network managed from a single center is offered to design. The network structure and the configuration of stations are described. The approach of virtual reference station (VRS) or area corrections parameters (FKP) is planning to be used for positioning. These approaches will provide the positioning with an accuracy of a centimeter. At each reference station it is necessary to establish the benchmark and gravity station and to tie them by the first order leveling. Furthermore, the gravity with uncertainty as less as 0.005 Mgal should be measured by the absolute gravimeter. The geodetic and gravity monitoring are effective tools to provide besides the information on «quasigeoid», the contours of oil-water contacts, oil-and-gas deposits, as well as on-line assessment of plicative structures stability state and localization of increased hazard industrial zones.

Интенсивное освоение районов крайнего Севера Западной Сибири ведется уже более 40 лет. За это время были открыты сотни нефтяных и газовых месторождений, проложены десятки тысяч километров продуктопроводов, добыто более восьми миллиардов тонн нефти и почти 20 триллионов кубометров газа. Вместе с тем, интенсивное освоение месторождений привело к необходимости решения ряда важнейших задач. В частности, добыча углеводородов с глубины 1700-2500 м при неполной компенсации или перекомпенсации их выемки уже через 10 лет приводит к опасным смещениям, как в геологическом разрезе, так и на поверхности Земли. Разработка законсервированных месторождений с «тонкими» слоями требует достаточно точной высотной привязки устьев скважин. После определенного перерыва

повысилась необходимость пополнения запасов углеводородного сырья. Все эти виды работ (геодинамический мониторинг, геологические и геофизические разведочные работы, буровые работы, строительство жилья, дорог и т.д.) невозможны без геопространственных данных. Эти данные должны отвечать требованиям оперативности, надежности и точности.

Активные геодезические сети. Резко возросшие объемы геодезических работ и повышенные требования к их качеству в совокупности с суровыми природными условиями требуют разработки эффективных технологий, основанных на использовании глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС), объединяющей системы ГЛОНАСС и NAVSTAR. При этом необходимо учитывать ряд особенностей конкретных регионов:

- Разреженность сетей Государственных геодезических пунктов и реперов, часть из которых утрачена, а у сохранившихся геодезические центры (особенно у реперов) в условиях вечной мерзлоты выпучены или «провалены» и не обеспечивают точной геодезической привязки;

- Получаемые из спутниковых определений координаты относятся к общеземной системе отсчета. При отсутствии опорных пунктов или их недостатке перевод координат из общеземной системы в систему СК-95 и в различные условные системы координат представляет собой нетривиальную задачу;

- Спутниковые методы дают высоты от поверхности общеземного эллипсоида, для перехода к Балтийской системе нормальных высот БСВ-77 необходимы данные о разности нормальных и геодезических высот;

- Редкая дорожная сеть, неравномерная плотность населенных пунктов, различная степень развития связи (мобильной телефонии, Интернета и др.);

- Высокие широты затрудняют использование стационарных спутников, входящих в состав дифференциальных подсистем и систем связи;

- В высоких широтах возрастает роль спутников системы ГЛОНАСС.

Поэтому, на наш взгляд, в связи с развитием программы ГЛОНАСС и реализацией геодезической части Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» на территории РФ актуальным становится вопрос создания современной Государственной сети, состоящей из активных опорных станций, снабженных ГНСС приемниками. Для севера Западной Сибири их необходимо дополнять гравиметрической сетью.

Простейшим элементом ГНСС инфраструктуры является одиночная базовая станция. Такая станция с программным обеспечением типа GPSBase, может выполнять следующие функции:

- Записывать в компьютер измерения приемника опорной станции для пост-обработки данных передвижного приемника;

- Передавать поправки для кинематики реального времени (RTK), обеспечивающие сантиметровую точность определения координат в области радиусом до 20 км от базовой станции;

- Передавать поправки DGPS, обеспечивающие субметровую точность определения координат в области радиусом до 200 км от базовой станции.

Однако значительно более эффективно работает активная опорная сеть станций, управляемых из одного центра. Такая сеть обеспечивает значительно большее покрытие территории РТК поправками или данными для пост-обработки. Кроме того, сеть станций позволяет надежно контролировать постоянство координат пунктов сети при длительных периодах наблюдений.

Геодезическая активная опорная сеть включает в себя (рис. 1):

- Постоянно действующие опорные станции, работающие автономно;
- Вычислительный центр;
- Каналы передачи данных между вычислительным центром и опорными станциями и приемниками пользователей;
- Аппаратуру пользователей.

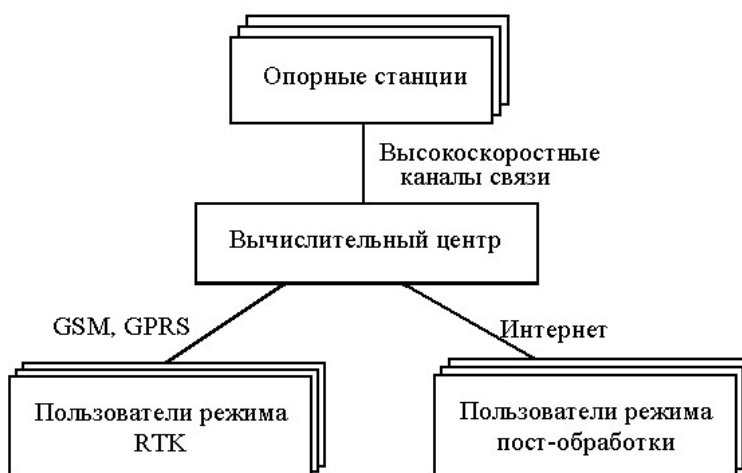


Рис. 1. Структура геодезической активной опорной сети



Рис. 2. Проект сети активных станций

Активная сеть должна состоять не менее чем из 4 станций, равномерно покрывающих нужную территорию. Расстояния между станциями могут быть равны 30–50 км, в отдельных случаях до 80 км (рис. 2).

Активная ГНСС станция состоит из непрерывно наблюдающего приемника сигналов, подаваемых спутниками систем ГЛОНАСС и GPS, компьютера и источника бесперебойного питания. На станции

желательно иметь метеорологическое оборудование, атомный стандарт частоты и систему для удаленного включения и выключения. На месте установки антенны станции должен быть открытый от препятствий горизонт, отсутствовать электромагнитные помехи и мощные источники излучения (ЛЭП, радиостанции и т.п.). Расстояние от антенны до приемника не более 30 м. Станция должна быть защищена от несанкционированного доступа к антенне и

приемнику. Помещение, где располагается приемник, должно иметь системы пожарной, аварийной и охранной сигнализации, отопления и кондиционирования. Каждая станция должна иметь все три координаты в системах ITRF, WGS-84, СК-95 и местной системе на сантиметровом уровне точности.

В вычислительном центре производится сбор результатов измерений на опорных станциях, их обработка и архивирование. Здесь же вычисляется информация для пользователей. Центр связан с опорными станциями высокоскоростными каналами связи типа LAN (локальная вычислительная сеть), ISDN (интегрированная цифровая сеть связи). Для передачи данных пользователями центр должен иметь выход в Интернет или в сеть GSM.

На главной станции сети, являющейся вычислительным центром, устанавливается компьютер с программным обеспечением типа Trimble GPSNet или Leica GPS Spider. В технологии фирмы Trimble Navigation реализована концепция виртуальной опорной станции. Полученные со всех станций активной сети данные используются для сетевого решения, уточнения орбит спутников, определения параметров атмосферы и, главное, для генерирования измерений в некоторой точке, координаты которой указываются пользователем. Такая точка (не закрепляемая на местности) выбирается пользователем рядом с его приемником на расстоянии несколько метров. Ее называют виртуальной опорной станцией (VRS). Поскольку расстояние между приемником пользователя и VRS небольшое, то такая базовая линия очень быстро решается в контроллере пользовательского приемника, и его координаты получаются практически в режиме реального времени. Для указания координат VRS и получения сгенерированных наблюдений используется GSM в режиме GPRS. При отсутствии GSM можно производить пост-обработку измерений.

В качестве альтернативы методу VRS применяется также разработанный в Германии метод под названием «FKP» (от немецкого слова «Flächenkorrekturparameter», обозначающего площадные параметры коррекции). Метод FKP был разработан для использования в широкополосном режиме, но в большинстве сетей он используется в двустороннем режиме с GSM и GPRS. Это произошло в основном из-за возможности в технологии VRS автоматического выбора ближайшей базовой станции при работе в больших сетях. Независимо от выбранной технологии VRS или FKP, с помощью сетевого метода можно решать следующие задачи:

- *Позиционирование в режиме реального времени*, когда возможно достижение качества определения местоположения в пределах 1–3 см в плане и 2–5 см по высоте;

- *Позиционирование в режиме реального времени с погрешностью от 0.5 до 3 метров*, когда корректирующие поправки передаются в диапазоне УКВ и длинных волн в стандартном формате RTCM;

- *Точное и высокоточное позиционирование* в режиме пост-обработки данных, когда данные предоставляются пользователям в формате RINEX.

Нивелирные и гравиметрические работы. В связи с утратой на севере Западной Сибири значительного числа центров пунктов плановой опорной Государственной геодезической сети и реперов Государственной нивелирной сети, а так же значительных смещений их центров, особенно по высоте остро обозначилась проблема восстановления планово-высотной геодезической основы в регионально-территориальном отношении. Создание такой единой и постоянно поддерживаемой сети, – одна из важнейших экономических и инженерных задач. Ее реализация в масштабах государства в ближайшее время не просматривается. Требуется решение проблемы в конкретных регионах или (что наиболее осуществимо организационно) на территориях, активно и централизованно осваиваемых.

Для оперативной реализации программы создания единой пространственно-временной координатно-гравиметрической основы предлагается совмещение с активными станциями ГНСС опорных нивелирных реперов и гравиметрических пунктов (по аналогии с ФАГС). Эти пункты-реперы должны быть связаны единой нивелирной сетью с точностью не ниже нивелирования I класса. На них же абсолютным гравиметром должны быть определены значения силы тяжести с погрешностью не ниже ± 0.005 мГал. Периодичность повторных измерений в нормальном режиме – 5 лет, при интенсивных промышленных или природных воздействиях – по усмотрению. Аппаратура (абсолютный гравиметр и высокоточные нивелиры) может быть постоянно задействована при режимных (цикловых) измерениях на геодинимических полигонах, при определении силы тяжести на исходных пунктах и высокоточном нивелировании каркасных реперов, а также марок на важных объектах строительства зданий, сооружений, коммуникаций различного назначения, где ведется деформационный мониторинг состояния устойчивости и промышленной безопасности.

В связи с «закрытостью» гравиметрии до последнего времени требуются определенные пояснения по её возможностям:

- Гравиметрия как один из основных методов геодезии позволяет повысить качество определения высот;

- Гравиметрия как один из ведущих методов разведочной геофизики позволяет решать целый ряд задач геологического картирования, тектонического районирования, поиска и разведки углеводородных, угольных, различных рудных месторождений полезных ископаемых, в том числе позволяет уточнять изменяющиеся при интенсивных разработке месторождения контуры водо-нефтяного контакта, залежей нефти и газа;

- Как метод дифференциального реагирования на неоднородность вещественного состава геологического разреза и его изменения во времени, в плане и по глубине, гравиметрия является одним из наиболее разрешающих методов при решении как региональных, так и локальных задач. Она обеспечивает *оперативную* (с первого цикла режимных высокоточных измерений при изучении локальной геодинимики) оценку состояния устойчивости пликативных структур, блоков горных пород при интенсивном

извлечении природных ресурсов из недр и замещении их водой, или перемещении масс на поверхности Земли;

– Как сейсмо-динамический метод гравиметрия является *авангардным*, обеспечивающим локализацию зон повышенной промышленной опасности для последующего их геодезическо-гравиметрического мониторинга, поскольку осадки и деформации, выявляемые на поверхности при извлечении масс с глубины, «запаздывают» в рудных районах на 5-10 лет, в нефте-газовых – на 7-15 и более лет после начала интенсивного освоения минеральных ресурсов.

Таким образом, объединение активной спутниковой сети с гравиметрической сетью определяет не только рациональное планово-высотное обоснование, но и дает ценную геолого-физическую информацию по изменению внутреннего строения территорий.

© К.М. Антонович, А.И. Каленицкий,
А.П. Карник, А.Н. Клепиков, 2008

УДК 528.33
Huaan Fan
Department of Geodesy
Royal Institute of Technology (KTH)
Stockholm, Sweden
Email: hfan@infra.kth.se

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ

THREE-DIMENSIONAL COORDINATE TRANSFORMATIONS

Abstract

This paper deals with transformations between two three-dimensional coordinate systems using the Helmert-type model. Using given coordinates at four control points defined in two systems, we have derived a new solution for the Helmert transformation parameters which is valid also for large rotations and scale changes. This solution is simple, straight-forward and can be expressed by closed formulas. In a numerical test using simulated coordinates without errors, the direct solution has successfully reproduced the correct transformation parameters. We then study the determination of transformation parameters with three different scale factors.

Keywords: Coordinate transformation, translation, rotation, scale.

Huaan Fan
Department of Geodesy
Royal Institute of Technology (KTH)
Teknikringen 72
SE-100 44 Stockholm, Sweden
Tel. +46 8 7907340
Fax: +46 8 7907343
Email: hfan@infra.kth.se

© *Huaan Fan*, 2008

YDK 528.48

Mehmet Zeki Coskun

Department of Geodesy and Photogrammetry

Istanbul Technical University, Turkey

coskun@itu.edu.tr.

DOCUMENTATION AND PRESENTATION OF HISTORICAL MONUMENTS BY WEB-GIS

Summary

In these days, when the technology grows rapidly, it is very important for people to understand the world they live on and to know the place where they are on the world. It is much easier for people to reach to positional information with the support of the rapidly growing technology, than the older days. Nowadays, geographic information systems (GIS) are able to be used with mobile devices which are not so expensive. These devices can be GPS, PDA (pocket computers), or even cellular phones. With the spread of the Internet, the importance of the geographic information systems is much more understood. Today, such strong geographic information systems can be used via internet (Google Maps, Microsoft Virtual Earth). This study is part of MSc. Degree study prepared in Department of Geodesy and Photogrammetry, ITU (Istanbul Technical University) and this study has not been finished. The problems and the solutions faced during the development of the application are included into the conclusion part of the study. Furthermore, several suggestions through the experiences gathered during the study are included to the conclusion part for the individuals who will develop a GIS application.

Key words: GIS, History, Monument, WEB, Internet.

INTRODUCTION

Position is the key to the understanding of the globe where the mankind is living on. It's the knowing the position and using it increases beat of life. Thus, people would like to know their environment and their location. Electronic gadget manufacturers and software technology companies (like mobile phones, pdas, handheld GPS', Google Maps, Google Earth, Microsoft Virtual Earth) use the technology and science to satisfy the people's demands. These technologies become habits for people who use them. They would not go where they don't know without checking there online or they use gps phone to send their locations or meeting point to a friend. Nowadays, GIS technologies or related technologies are getting into our lives with an increasing speed and we are sincerely welcoming these technologies (Antenucci 1991, Bartelme 1989, Yomralioğlu, 2000).

Goal of this work is to show how to develop a web software and use it with an ordinary internet browser. In next chapters problems and difficulties which I have encountered during the project will be exposed. Also, solutions to these problems will

be revealed so anyone who develops a GIS software with the framework that I do, can use these solutions.

This paper includes describes steps of the study, product which was produced. Some advices were given to anyone who will develop a web GIS application.

INTERNET TECHNOLOGIES

Internet is an endless interactive medium, source of information. Somebody has to produce this information and serve it over the internet so others can reach it and use it for their own purposes. Recent year, there have been several online GIS software emerged (Google Maps, Microsoft Virtual Earth etc.). These online applications indeed quite handy in our daily life. This powerful GIS applications transform the GIS data into basic images and html code and serve in this form so an ordinary internet browser can easily interpret the code and show output maps and graphics. Internet technology re-invented it self and came in amazingly different level but underneath all this the programming languages are not really different than 5 or 6 years ago. Back then we use HTML and Javascript, today we still use HTML and Javascript. Although we use the same programming languages, our ways of usage quite changed in years. In these chapter internet technologies and internet programming languages will be described in as largely as it can be. (Bidgoli, 2003; Farrel 2004; Voisard and David, 2002).

APPLICATION

Goal of this project is to develop a simple web based geographic information application to publish data of historical properties by using Microsoft Asp.Net, Microsoft SQL Server 2005, ESRI ArcGIS Server and to make documentation of experiences and difficulties that encountered while the development process. The web application consists of two independent parts first is internet map application, second part is common database application. Map application is developed on ArcGIS Server. Second part is developed on Asp.Net, this application uses Sql Server 2000 as database. Map application stores the spatial features of the point or area and database application stores the text data about point or land property. With these two kind of data, all the features of the property can be stored and can be served to users. Basic calculations or analysis like distance or area measurement can be done with ArcGIS Server. Steps of the project might be writed down as setup of design of application, ArcGIS Server setup and customization, coding, problems while developing (URL-1; URL-2)

ArcGIS Server

ArcGIS Server allows you to publish GIS resources across an enterprise and over the web. GIS resources are the maps, address locators, geodatabases and tools. ArcGIS server hosts these data and allows other application to use and interact these resources. The biggest advantage of ArcGIS server, is to support any client or server technology (Java, .Net etc.) that can communicate with the ArcGIS Server (URL-1).

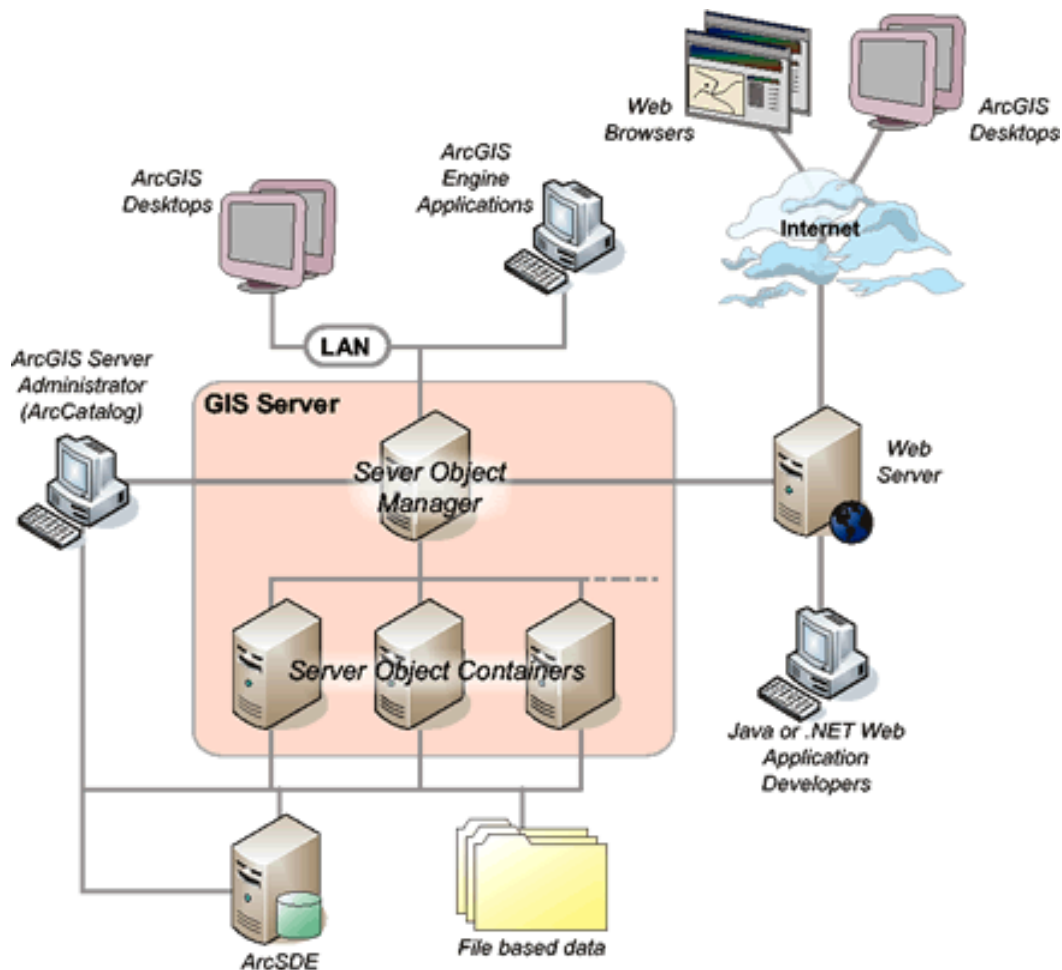


Figure 1. ArcGIS Server Topology

Application Design

Enterprise applications deal huge amounts of data. With this kind and amount of data performance is the first problem which comes into mind. When performance have to be considered, architecture of the application is being more important. Design of the database and design of the application have to match each other. Both of the main part of the application have to be designed while considering other one.

While developing such an application, application has to be splitted into smaller parts, these parts will be called as layers. Enterprise applications mostly have three layers and a database layer where database operations are taking place, bussines layer where calculations and data transformations are being done, interface layer where user interacts with the system. As the Figure 4.2 shows layers place in order, data processes should be happen this order. First user places a command from web site, the topprest layer. Bussines layer process the inputs and cast the input into the necessary object type and calls the function at the data layer and transmits the inputs to the data layer function. Data layer function connects the database and sends query sentences to the database engine and database engine execute sentences on database and if there is return value trasmits to the business layer. (Fowler 2002)



Figure 2. Main Layers of Application

APPLICATION STRUCTURE

This GIS application was created as a .Net solution. A .Net solution consists of several .Net projects; ASP.NET web project, .Net Class Libraries. All the projects are written in C#. Class libraries are the basement of the application, all the application has been built on them. Class libraries consist of dataaccess layer, business layer and entities. At the bottom of the application just above the database data access layer resides. Data access project is named OmegaDataAccess which is divided two main namespaces. First is Core which contains basic database functions (connection open, close, command create, command dispose). Second namespace is Custom which contains custom and special functions that written for the project for example Property_BasicDataInsert, Property_Search (URL-2; URL-3).

All the basic tasks and complex calculations are done in business layer, which is formed by OmegaDomain and OmegaEntity. Business layer is the middle layer in the project, data is type transformed here and used anywhere in the application.

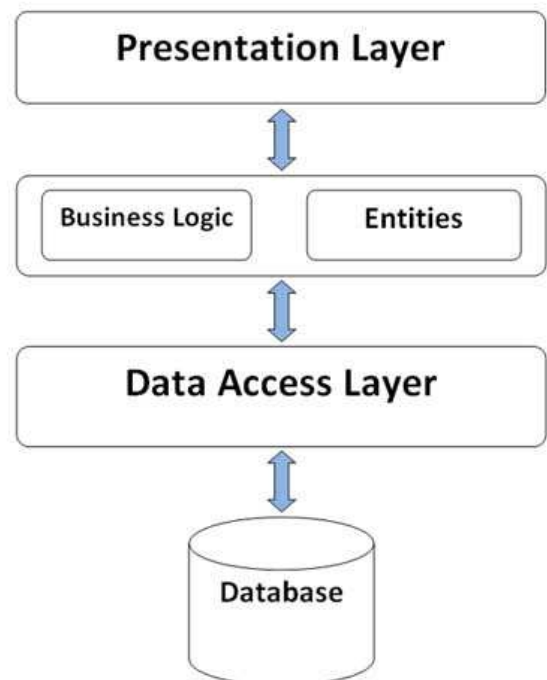


Figure 3. Structure of an Application

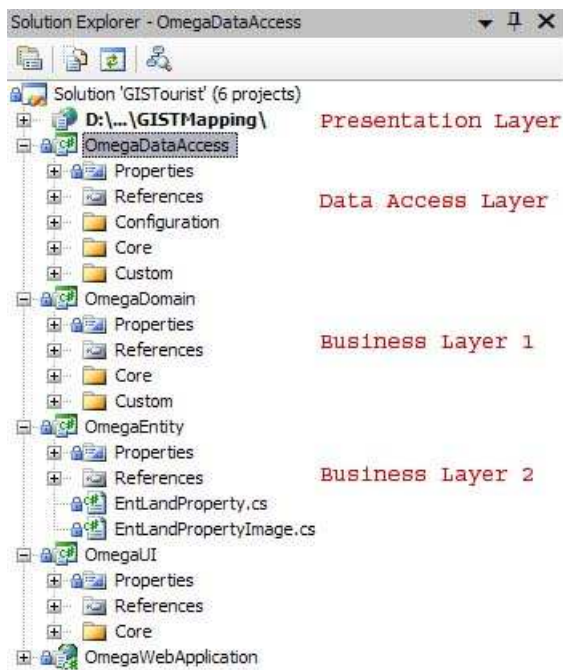


Figure 4. Mapping Components

- Table Of Contents

DATABASE RELATED WEB PAGE

This web page belongs to the other side of the application. First web page that is mention is a GIS application. This application is the literal side of the GIS. Many information about property is stored in this application. This information is searchable and editable in many ways like GIS information.

The image shows a web page titled 'Property Search'. It contains a search form with the following fields:

- Property Name:
- Inventory No:
- Country: (dropdown menu)
- Province:
- Town:
- Year Of Construction:
- Architect:
- Style:
- Property Original Name:
- Property Original Owner:
- Property Present Owner:

Below the form is a 'Search' button. Below the button is a table with the following data:

Property Name	InventoryNo	Country	Year of Constr.
Golden Gate Bridge	453234535	United States	1200

Figure 5. Search Screen With Criteria List

Mapping Components above the business layer there lays the presentation layer as the users know it as web site. In this project presentation layer is a web site, the layer interacts with the users. Web site consists of two parts, first is database related common web site, other is mapping application which uses ArcGIS Server as a data resource. Mapping application publishes vectoral or raster maps. Map resources can be added with server management tool. Map.aspx is the map demonstration file. There are several important components on the page (URL-1);

- Map Resource Manager
- Map
- Task Manager
- Task Results

Property search can be made by some parameters. These parameters are not limited, if needed new parameters can be added to the criteria list for more extensive search.

Criteria list;

- Property Search
- Property Name
- Inventory No
- Country
- Province
- Town
- Year Of Construction
- Architect
- Style
- Property Original Name
- Property Original Owner
- Property Present Owner

At the bottom of the Figure 4-27 one search result is found from the given criteria. Results are in an table form with some details. On the Property Name column there is a link which leads the user to a page where full details of the property can be found. Details can be found in three main groups as categorized.

Property Details		Selection Criteria	
PROPERTY NAME	Golden Gate Bridge	☒ to represent a masterpiece of human creative genius	
Inventory No.	463234635	☒ to exhibit an important interchange of human values, over a span of time or within a cultural area of world, on developments in architecture or technology, monumental arts, town-planning or landscape design	
Country	United States	☐ to bear a unique or at least exceptional testimony to a cultural tradition or to a civilization which is living or which has disappeared	
Province	San Francisco	☒ to be an outstanding example of a type of building, architectural or technological ensemble or landscape which illustrates a significant stage in human history	
Town	Marin Country	☐ to be an outstanding example of a traditional human settlement, land-use, or sea-use which is representative of a culture, or human interaction with the environment especially when it has become vulnerable under the impact of irreversible change	
Geographic Coordinates	Lat: 231 / Long: 342	☒ to be directly or tangibly associated with event or living traditions, with traditions, with ideas, or with beliefs, with artistic and literary works of outstanding universal significance	
Historic Period	Middle Ages	References	
Year Of Construction	1200	Denton, Harry et al. (2004) "Lonely Planet San Francisco" Lonely Planet, United States. 352 pp. ISBN 1-74104-154-6	
Architect	Irving Morrow	Owens, T. O. (2001) "The Golden Gate Bridge" The Rosen Publishing Group. 24 pp. ISBN 0-8238-5016-6	
Style	Art Deco		
Current Use	Bridge		
State Of Preservation The Golden Gate Bridge is also notorious as the site of head-on collisions between North-bound and South-bound cars. After one such collision, on June 24, 1996, the Bridge District was sued for not installing a movable barrier between North-bound and South-bound traffic lanes. Such a barrier has been designed: it has been estimated that it would cost about \$1 million USD to build.			
Significance The Golden Gate Bridge was the largest suspension bridge in the world when it was completed in 1937 and has become an internationally recognized symbol of San Francisco and the United States. It is currently the second longest suspension bridge in the United States after the Verrazano-Narrows Bridge in New York City.			
 Title: Golden Gate Bridge 1 Type: photo		 Title: Golden Gate Bridge 2 Type: photo	
 Title: Golden Gate Bridge 3 Type: photo		 Title: Golden Gate Bridge 4 Type: photo	

Figure 6. Basic Property Details With Property Images

In Figure 6, first part of the property details can be seen. First part covers basic information of the property, also images of the property are uploaded to the database with image type information, so user might know what the type of image. There is no limit of uploading images, it's users option. Basic information covers these information; property name, inventory number, country, province, town, geographic coordinates, historic period, year of construction, architect, style, current use.

LEVEL 2. PROPERTY INVENTORY			ANALYTICAL INFORMATION		Estimated Population Located Within Area Of Nominated Property And Buffer Zone	
Neighborhood:	Marin County		Number of Basement Floors	0	45	Proposed Interventions By The Master Plan (if exists)
Street:	Golden Gate		Number of Floors	0		
Door No:	23		Roof Type	hipped roof		
Map No:	45		Roof Material	marseille		
Block:	2435		Function	residential		intensive maintenance
Plot/Cadastral No:	3425		DEFINITION OF VALUE			
Degree Of Construction:	235		State of Integrity		building with integrity	Townscape/Landscape Value
Original Name:	45		Valuable Architectural Features			
Original Owner/Investor:			Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing			Uniqueness/Rarity
Inscription:			Time Frame			Integrity (groups, sites, collections)
Title Deed:			1937 - Present			Protection Activities
Present Owner:			Historic Value			Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop p
Person/establishment in charge of the property's maintenance			Artistic And Aesthetic Value	quality of workmanship		Land Use Proposals By The Master Plan
Describe Property's Construction History			Clarity (Documentary, scientific and educational or pedagogic value)	material evidence about less known historic era		Intervention In The Area Proposed By The Master Plan
STATE OF PRESERVATION			Symbolic Value			ILorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop
Structure	very good		Urban Aspects Of Property			
Facade	very good		Predominant Function Of The Area where Is Property Located	residential		
Roof	very good		Area Of The Nominated Property (in hectares)	45		
Interior	poor		And The Proposed Buffer Zone			
Decoration	very poor					
Humidity Protection	very good					
Installation Quality						
Water	poor					
Sewage	poor					
Electric	poor					
Telephone	poor					
Heating	poor					
HVAC	poor					
Others	4					

Figure 7. Property Inventory Details.

In Figure 8. third and the final part of questionnaire can be seen, this part mostly contains information about the threats against the property, requested assistance behalf of the property, current owners and/or responsible people.

CONCLUSIONS

Main goal of the work is to develop basic web-based GIS applications as the result of which is building a web site that publishes historical places and monuments. This web site can contain both geographic information and literal information as well.

Geographic information is stored in ArcGIS resource files which are published on ArcGIS server, literal information is stored in Microsoft SQL Server 2000/2005.

Web site is built on Asp.NET framework 2.0. Asp.NET is one of the best solution for rapid application development. Ready to use components, easy debugging, error correction can be counted as standing features of Asp.NET. A mapping web site is built with using all these contemporary technologies, the site is not large application but it possesses basic capabilities of the known gis web applications.

Every software project has its own problems and difficulties, it's the nature of software development. Success of software project lays on the balancing the cost and quality of the software. There were several problems encountered during the development phase of the project like difficulties about configuration, large data management, not friendly user, highly cpu power and so on.

If we put all the suggestions a GIS application should be installed on multi-core cpu computer, also database server should be on separate machine. Level of GIS data detail should be determined exactly. Extra high detailed data will decrease the performance of the application but low detailed data which can not meet the needs of the people is useless.

REFERENCES

1. Antenucci J.; 1991, "Geographic Information Systems: A Guide to the Technology", Springer
2. Bartelme, N.; 1989, "GIS-Technologie", Springer, Berlin
3. Bidgoli H.; 2003, "The Internet Encyclopedia", John Wiley & Sons
4. Farrel A.; 2004, "The Internet and Its Protocols", Elsevier
5. Fowler M.; 2002, "Patterns of Enterprise Application Architecture", Addison-Wesley
6. Voisard A., David B.; 2002, "A database perspective on geospatial data modeling", IEEE Transactions on Knowledge and Data and Engineering
7. URL-1: ESRI Developer Network; 2007, <http://edn.esri.com/>
8. URL-2: Microsoft Developer Network; 2007, <http://msdn2.microsoft.com/en-us/netframework/default.aspx>
9. URL-3: Sun Microsystems; 2007, "About Java Technology", <http://www.sun.com/java/about/>

Biographical notes

Mehmet Zeki Coşkun was born in Malatya in 1964. He graduated from ITU-Geodesy and Photogrammetry Engineering Department, then received M.Sc. in 1992, and PhD degree in 1998. He has been an assistant professor in Surveying Techniques Division since 2000. The fields of interests are GPS, GIS, Mobile GIS, Emergency Planning, and software development.

Department of Geodesy and Photogrammetry
Maslak – İstanbul – Turkey
Tel: +90(212)2856573
Fax: +90(212)2856573
coskun@itu.edu.tr
<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~coskun>

© *Mehmet Zeki Coskun, 2008*

УДК 528.4

Ашраф Абдель Ванис Бешр

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ПОЛИНОМИАЛЬНОГО УРАВНИВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ashraf Abd El-Wanis Abd El-Mawla Beshr

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

STUDY THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF LINEAR POLYNOMIAL ADJUSTMENT TECHNIQUE IN MONITORING THE STRUCTURAL DEFORMATION

Monitoring and analyzing deformations of engineering structures such as high-rise buildings, dams, bridges, industrial complexes are one of the main research fields in geodesy. Deformation analysis process comprises measurements and analysis phases. Measurements can be collected using several techniques. The output of the evaluation of the measurements is mainly point positions. Several models or approaches can be employed for the analysis. Polynomial surfaces are a very useful tool in order to represent the geomagnetic field over small area of the earth's surface. Nevertheless, the method has not always been applied with enough precision. This paper investigates the applicability of the linear polynomial adjustment technique to the data array from monitoring the structural deformation by determining the accuracy of unknown point coordinates on the monitoring structure from measured points. The comparison study between the resulted accuracy from polynomial technique and measured values for computation the structural deformations is introduced and discussed. The results of the practical measurements, calculations and analysis of these results using least squares theory and computer programs are presented.

1. Введение

При эксплуатации инженерных сооружений они подвергаются влиянию внешних нагрузок, которые вызывают деформацию самого сооружения, и их фундаментов. Любая из указанных причин может поставить под угрозу безопасность эксплуатации сооружений. Постоянный мониторинг нагрузок на основание может помочь определить характер деформаций инженерных сооружений [1,2]. Для этого может быть применен метод полиномиального уравнения. Этот метод используется в бизнесе и экономике, но также он может быть использован для решения некоторых технических проблем [3], таких, как анализ деформаций инженерных сооружений. В математике полином является

простым выражением, так как он построен из одного или более переменных и констант, и при этом используются только операции сложения, вычитания, умножения.

Система полиномиальных уравнений представляет собой систему уравнений, в которой заданные переменные должны обозначать одинаковые величины во всех уравнениях. В алгебре применяются методы для решения систем линейных уравнений с несколькими неизвестными. Чтобы получить единственное решение, число уравнений должно равняться числу неизвестных. Эта важная тема подробно изучается в области математики, известной как линейная алгебра [3].

2. Предварительный анализ используемых геодезических методов измерений

Предварительный анализ геодезических методов наблюдений заключается в разработке и выборе программы наблюдений до начала строительства [2]. Основные моменты, которые необходимо учитывать при предварительном анализе исследования следующие: выбор геодезических методов, средств измерений, применение соответствующих математических моделей.

2.1. Метод электронного тахеометра

Это метод реализует локальную трехмерную систему координат для определения пространственных координат любой точки объекта. Ось Y выбирается произвольно как горизонтальная линия в направлении фундамента наблюдаемого здания, ось X – это горизонтальная линия, перпендикулярная направлению фундамента здания и направленная прямо к наблюдаемому объекту, и ось Z – вертикальная линия, которая совпадает с вертикальной осью прибора. Из известной точки мы можем наблюдать за движениями любой точки в пространстве с целью определения её локальных координат и точности.

2.2. Метод двух электронных тахеометров

Эта схема также применяется в процессе определения трех измерений для определения пространственных координат любой точки объекта. Это метод также реализует локальную трехмерную систему координат, на которой показано расположение двух тахеометров. Пусть известные координаты точек A и C, которые равны (X_A, Y_A, Z_A) и (X_C, Y_C, Z_C) . Из этих двух известных точек (A и C) можно определить координаты неизвестной точки (B). Три параметра (X_B, Y_B, Z_B) точки B и шесть наблюдений (вертикальные углы γ_1, γ_2 , горизонтальные углы α_1, α_2 и расстояния S_1, S_2). Тогда метод наименьших квадратов будет использоваться для определения координат точки (B) и ее точности.

3. Математическая модель линейного полиномиального метода

Математическая формула полиномиальной модели для данного случая представляется уравнением (1) следующим образом:

$$\sigma_i = A_0 + A_1 X_i + A_2 Y_i + A_3 Z_i \quad (1)$$

где σ_i – среднее квадратичное отклонение положения точки (i), $A_{(0,1,2,3)}$ параметры, (X_i, Y_i, Z_i) координаты точки (i). Используя общий метод наименьших квадратов для решения этой системы для каждой точки, отметим, что координаты (X, Y, Z) , будут рассматриваться в качестве точек наблюдения, неизвестными точками будут считаться (A_0, A_1, A_2, A_3) . Таким образом, система уравнений может быть записана для каждой точки, и мы будем иметь p уравнений для p точек.

При использовании общего метода наименьших квадратов системы могут быть записаны в матричном виде следующим образом:

$$A_{(n,n)}V_{(n,1)} + B_{(n,m)}\Delta_{(m,1)} = F_{(n,1)} \quad (2)$$

где A – коэффициент матрицы остатков, V – вектор разницы, B – матрица параметрических уравнений поправок, Δ – вектор параметров, F – вектор постоянных, n – число наблюдений, равное числу уравнений, m – число параметров, равное числу неизвестных. Матрица (A) представляет собой дифференциацию уравнений для p наблюдаемых точек. В этом случае матрица (A) равна единой матрице как следует ниже: $A_{(n,n)} = -[I]$. Матрица (B) представляет собой дифференциацию неизвестных параметров для p точек. Решение будет выполняться пошагово, как показано на схеме рис. 1.

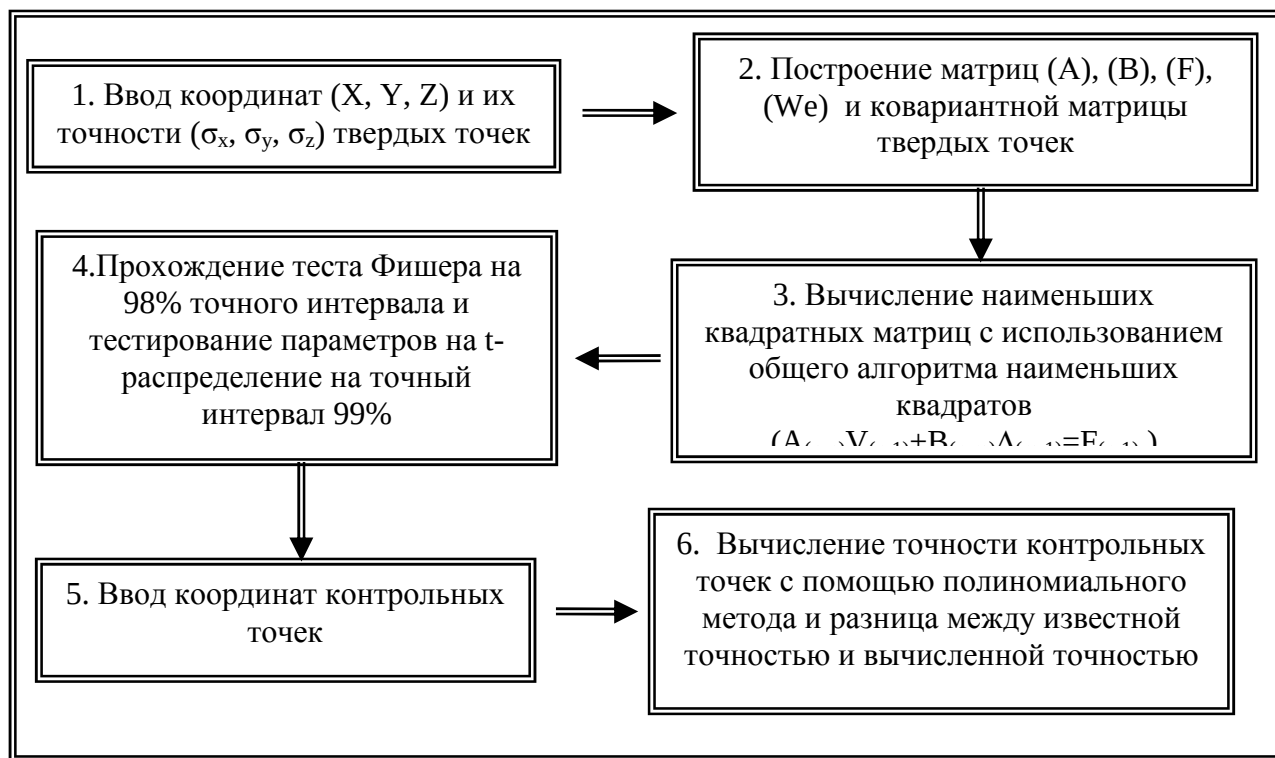


Рис. 1. Схема пошагового решения при помощи полиномиального метода и теории наименьших квадратов

4. Программа эксперимента

При выполнении эксперимента нами были получены результаты измерений за наблюдением «твердых» точек с помощью предлагаемых методов. На плоскости строящегося фасада была установлена сетка размером 7.7м x 3.0м, на которой было 12 точек (рис. 2). Для расчета пространственных координат

любой точки на сетке была использована местная трехмерная прямоугольная система координат. Для ориентирования недалеко от стены были выбраны две «твердые» точки. При выполнении исследований использовались два тахеометра (DTM 850-Nikon и SET300-Sokkia) и призма в виде зеркала диаметром 1 см. При выполнении измерений учитывалось влияние внешних условий, которые могут иметь систематический характер. Координаты всех 12 точек известны. Рассмотрим методику выполнения измерений.

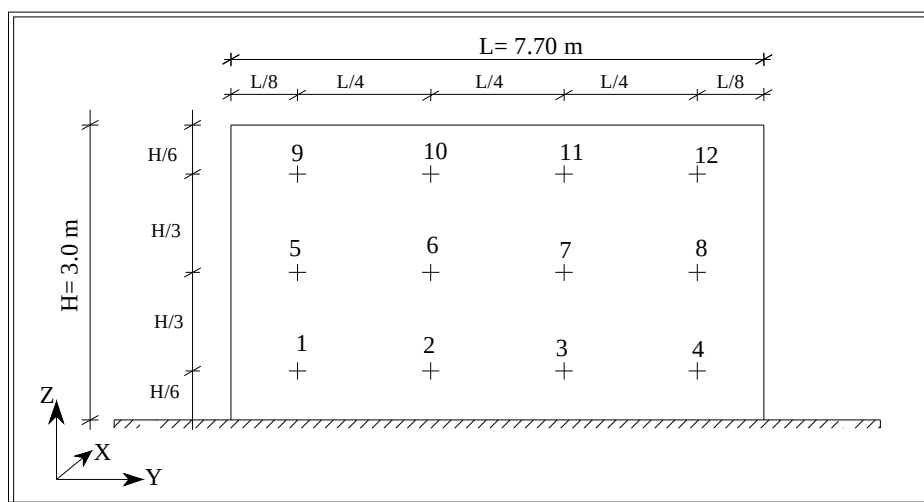


Рис. 2. Расположение точек на вертикальной плоскости

5.1. Выполнение измерений одним электронным тахеометром

Тестовый полигон на стене был измерен пять раз. Каждый раз были получены разные расстояния: 3,85 м, 5,775 м, 7,70 м, 9,625 м и 11,55 м. На каждом расстоянии измерение выполнялось посредством наблюдения двенадцати точек. Эксперимент проводился в дневное время при естественном освещении и температуре (+25°C). Координаты всех точек были определены с помощью тахеометра SOKKIA SET 300, паспортная точность измерения расстояний которых равно $m_s = 3\text{ мм}$ и $m_\gamma = 1,0''$

5.2. Выполнение измерений двумя электронными тахеометрами

Тестовые измерения проводятся на стене с целью:

- Исследования точности измерения расстояния от тахеометра до стены.
- Исследования точности измерения расстояния между двумя тахеометрами.

Тестовый полигон на стене был измерен девять раз. Каждый раз были получены разные расстояния между двумя тахеометрами: 2,969 м, 3,98 м и 5,97 м, на трех расстояниях 4,01 м, 5,769 м и 7,753 м. На каждом расстоянии измерение выполнялось посредством наблюдения двенадцати точек. Эксперимент проводился в дневное время при естественном освещении и температуре (+25°C).

6. Применение метода линейного полиномиального уравнения

Вычисленные координаты и определение их точность каждой из двенадцати наблюдаемых точек производилось с помощью программы *Mathlab* и линейного полиномиального метода. При этом применялись разные варианты (комбинации) наблюдений. Были получены следующие результаты:

1. Измерение одним тахеометром

Для нахождения наилучшего результата полиномиальный метод использовался четыре варианта. Итоговые результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение между результатами наблюдений и вычислений с помощью полиномиального метода из одного тахеометра для всех вариантов

Точка	<u>Первый вариант:</u> Точки (1,9,12,4) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			<u>Второй вариант:</u> Точки (1,4,9,12,6,7) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			<u>Третий вариант:</u> Точки (1, 4,9,12,5,8) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			<u>Четвёртый вариант:</u> Точки (1,2,3,4,9,10, 11, 12) твердые точки. Остаточные точности (мм)		
	V _X	V _Y	V _Z	V _X	V _Y	V _Z	V _X	V _Y	V _Z	V _X	V _Y	V _Z
1												
2	-0.6505	0.32	0.1035	-0.422	0.222	0.0369	-0.740	0.2124	-0.145			
3	-0.7929	0.3261	0.1267	-0.583	0.257	0.0716	-0.713	0.4956	0.1948			
4												
5	0.0146	0.0147	0.0324	0.237	-0.084	-0.033				0.3149	-0.107	-0.033
6	-0.6097	0.2617	0.18793				-0.655	0.2236	0.1018	-0.283	0.137	0.1205
7	-0.7414	0.2693	0.195				-0.760	0.2779	0.2084	-0.392	0.1431	0.1256
8	0.0109	0.0097	0.0426	0.239	-0.071	-0.019				0.381	-0.119	-0.028
9												
10	-0.5802	0.1818	0.1551	-0.353	-0.095	0.09	-0.592	0.1968	0.194			
11	-0.6967	0.1813	0.162	-0.466	0.222	0.097	-0.723	0.1767	0.1468			
12												

Как видно из табл. 1, разница стандартных отклонений между этими двумя методами из одного тахеометра для всех вариантов сравнительно небольшая. Лучшее расположение точек на этой стене из одного тахеометра и линейного полиномиального метода - это второй вариант, где точки (1,4,9,12,6 и 7) являются твердыми точками. Максимальная разница V_X равна 0,58 мм, а минимальная – 0,23 мм. Но для V_Y – 0,26 мм является максимальной, а минимальной является 0,07 мм. Для V_Z - максимальное значение стандартного отклонения равно – 0,097 мм, а минимальное – 0,019 мм.

2. Измерение двумя тахеометрами

Для нахождения наилучшего метода оценки результатов измерений использовался полиномиальный метод. Были вычисление и варианта оценки разницы. В табл. 3 и на рисунках 11, 12 и 13 приведены и итоговые результаты

определения точности положения точек путем наблюдений и моделирования с помощью линейного программирования.

Как видно из табл. 2, разница стандартных отклонений между этими двумя методами сравнительно из двух тахеометров для всех вариантов небольшая. Лучшее расположение точек на этой стене из двух тахеометров и линейного полиномиального метода - это второй вариант, где точки (1,4,9,12,6 и 7) являются твердыми точками. Максимальная разница V_X равна 0,53 мм, а минимальная – 0,03 мм. Но для V_Y - 0,33 мм является максимальной, а минимальной является 0,04 мм. Для V_Z - максимальное значение стандартного отклонения равно – 0,28 мм, а минимальное – 0,013 мм.

Таблица 2. Сравнение между результатами наблюдений и вычислений с помощью полиномиального метода из двух тахеометров для всех вариантов

Точка	Первый вариант: Точки (1,9,12,4) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			Второй случай: Точки (1,4,9,12,6,7) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			Третий случай: Точки (1, 4,9,12,5,8) твердые Точки. Остаточные точности (мм)			Четвёртый случай: Точки (1,2,3,4,9,10, 11,12) твердые Точки. Остаточные точности (мм)		
	V_X	V_Y	V_Z	V_X	V_Y	V_Z	V_X	V_Y	V_Z	V_X	V_Y	V_Z
1												
2	-0.348	0.288	-0.183	-0.313	-0.333	-0.153	-0.349	-0.363	-0.168			
3	-0.519	1.262	-0.289	-0.532	-0.148	-0.279	-0.533	-0.120	-0.293			
4												
5	-0.022	0.560	-0.092	0.033	0.121	-0.050				0.219	0.194	0.047
6	-0.288	-0.100	-0.189				-0.281	-0.151	-0.165	-0.139	-0.144	-0.099
7	-0.150	-2.099	-0.072				-0.121	-0.261	-0.031	-0.437	-0.699	-0.214
8	-0.039	-2.480	-0.054	0.113	0.042	0.013				-0.443	-0.675	-0.259
9												
10	-0.332	0.337	-0.214	-0.276	0.173	-0.175	-0.328	0.121	-0.192			
11	-0.339	-0.452	-0.223	-0.259	0.190	-0.179	-0.326	0.125	-0.200			
12												

7. Выводы

Из предыдущего анализа и результатов можно сделать следующие выводы:

1. Применение двух способов измерений (один тахеометр и два тахеометра) могут дать ценную информацию о деформации инженерных сооружений и осадках зданий.

2. Линейный полиномиальный метод может быть использован для определения координат точек и определения их точность путами использования координат известных точек. Точность определения координат между результатами наблюдений и вычисления с помощью полиномиального метода одинаково. Поэтому этот метод может быть использован при мониторинге деформаций инженерных сооружений и оборудований. Если необходимо выполнять наблюдения за инженерным сооружением, то необходимо наблюдать

за некоторыми точками (координатами и точностью) здания, а затем посредством этого метода можно определить координаты нескольких точек и их точность.

3. Наиболее точные результаты измерений получаются, тогда когда определяемые точки находятся внутри периметра твердых точек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич, Г.А. Мониторинг технического состояния промышленных объектов и высотных зданий [Текст] / Г.А. Уставич, К.Н. Мамилин, Ю.С. Обидин // Материалы III Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25-27 апреля 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2007. – Т. 1. – С. 97-98.

2. Ashraf A.A. Beshr. Accurate surveying measurements for monitoring the structural deformation [Текст] / Ashraf A.A. Beshr // The third international exhibition and scientific congress “GEO-SIBERIA-2007”, 25-27 April 2007 - Novosibirsk, Russia - Vol.1 - p.112-117

3. Ardizzone J. Application of the polynomial adjustment to the aeromagnetic survey of the Spanish Mainland; Requirements and shortcomings [Текст] / J. Ardizzone, M. Herraiz // Earth Planets Space, 2000, 52, p.183–196.

© *Ашраф Абдель Ванис Бешр*, 2008

УДК 528.48:528.721.221.6

А.В. Комиссаров, Ашраф Абдель Ванис Бешр
СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА И НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

A.V. Komissarov, Ashraf Abdel Vanis Beshr
Siberian State Academy of Geodesy
Novosibirsk

INVESTIGATION OF DEFORMATIONS MEASUREMENT ACCURACY BY TOTAL STATION AND TERRESTRIAL LASER SCANNER

The concepts of safety engineering structures maintenance form the basis for modern systems and their design. Detailed information on structural deformation can help to determine general condition of engineering structures and calculate allowable values of possible deformations. Terrestrial laser scanners are rather effective to be used for determination of three coordinates of any points of engineering structures. As distinguished from traditional methods of surveying which allow determining the coordinates of several hundreds of points within a few days, laser scanning can fix several million 3D points within just a few minutes. Different image points are just an aggregate of surfaces and relief forms, and engineering structures when determining deformation of surface points.

Безопасность эксплуатации инженерных сооружений, таких как мосты, туннели и дамбы, требует периодического ведения их мониторинга. Деформация – это наиболее значимый параметр, подлежащий контролю. Поэтому отслеживание структурных деформаций и активных реакций на многочисленные внешние нагрузки имеет большое значение для поддержания функционирования инженерных сооружений [1, 2]. Измерительные приборы являются традиционными способами и методами определения структурных деформаций, вращений с учетом температуры, скорости и направления ветра делают возможным всестороннее исследование динамики процесса [3]. Эти средства должны устанавливаться в необходимом месте, содержаться в исправности и периодически проверяться для получения качественных результатов. Выполненные с помощью этих приборов измерения затем обрабатываются для получения геометрических характеристик состояния сооружения [4]. К подобным приборам можно отнести наземные лазерные сканеры (НЛС) и электронные тахеометры.

Преимуществами НЛС по сравнению с традиционными методами, особенно при ведении мониторинга состояния сооружений, является

возможность быстрого получения данных с высокой плотностью измерений об объекте съемки. НЛС состоит из лазерного источника и оптико-механического блока развертки. Расстояние до объекта определяется путем измерения времени прохождения (импульсный метод), либо определения фазового сдвига (фазовый метод) сигнала прошедшего от сканера до объекта и обратно. Координаты точек определяются по измеренным расстояниям до объекта и углов направления лазерного излучения (горизонтального и вертикального).

Несмотря на указанные преимущества НЛС еще актуальной остается проблема исследования точности получаемых результатов. Приводимые производителями технические характеристики приборов даются практически только для лабораторных условий, и поэтому целесообразно определить фактическую точность и их разрешение в реальных условиях [5]. В данной статье предлагаются способы априорной и апостериорной оценок точности результатов сканирования, который может послужить основой для исследования эффективности применения наземных лазерных сканеров с целью мониторинга деформаций.

Координат точек объекта наземными лазерными сканерами и электронными тахеометрами вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + S \cos \alpha \cos \gamma \\ Y_B &= Y_A + S \sin \alpha \cos \gamma \\ Z_B &= Z_A + S \sin \gamma \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где X_B , Y_B , Z_B и X_A , Y_A , Z_A – координаты определяемой точки и центра прибора соответственно;

S – наклонное расстояние между прибором и наблюдаемой точкой;

α и γ – горизонтальный и вертикальный углы направления наблюдения определяемой точки.

Точность определения координат наблюдаемых точек можно вычислить, продифференцировав выражения (1) по измеряемым величинам, которые записываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_X^2 &= (\cos \alpha \cos \gamma)^2 \sigma_S^2 + (-S \sin \alpha \cos \gamma)^2 \sigma_\alpha^2 + (-S \cos \alpha \sin \gamma)^2 \sigma_\gamma^2 \\ \sigma_Y^2 &= (\sin \alpha \cos \gamma)^2 \sigma_S^2 + (S \cos \alpha \cos \gamma)^2 \sigma_\alpha^2 + (-S \sin \alpha \sin \gamma)^2 \sigma_\gamma^2 \\ \sigma_Z^2 &= (\sin \gamma)^2 \sigma_S^2 + (S \cos \gamma)^2 \sigma_\gamma^2 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

где σ_S , σ_α , σ_γ – средние квадратические ошибки (СКО) определения измеряемых величин.

Выражения (2) представить в координатном виде, можно записать

$$\left. \begin{aligned} \sigma_X^2 &= \left(\frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \right)^2 \sigma_S^2 + (Y)^2 \sigma_\alpha^2 + \left(\frac{ZX}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right)^2 \sigma_\gamma^2 \\ \sigma_Y^2 &= \left(\frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \right)^2 \sigma_S^2 + (X)^2 \sigma_\alpha^2 + \left(\frac{ZY}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right)^2 \sigma_\gamma^2 \\ \sigma_Z^2 &= \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \right)^2 \sigma_S^2 + \left(\sqrt{X^2 + Y^2} \right)^2 \sigma_\gamma^2 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

На основе выражений (3) можно определить СКО определения координат наблюдаемой точки. Величины σ_S , σ_α , σ_γ можно взять из паспорта прибора или определить при метрологической аттестации инструмента. На основе формул (3) можно выполнить априорный расчет точности получаемых результатов при наземном лазерном сканировании.

Апостериорную оценку точности измерений, полученных НЛС, можно выполнять на основе длин отрезков определенных лазерным сканером и более высокоточным геодезическим способом, например, при помощи электронного тахеометра. Запишем формулу для вычисления расстояний между двумя точками по известным координатам [6]:

$$D = \sqrt{\left(X_j - X_i \right)^2 + \left(Y_j - Y_i \right)^2 + \left(Z_j - Z_i \right)^2}, \quad (4)$$

где X_i, Y_i, Z_i и X_j, Y_j, Z_j – координаты концов отрезка.

Продифференцируем выражение (4) по координатам и после упрощений получим:

$$\begin{aligned} \sigma_D^2 &= \left(\frac{X_j - X_i}{D} \right)^2 \sigma_{X_j}^2 + \left(\frac{X_i - X_j}{D} \right)^2 \sigma_{X_i}^2 + \left(\frac{Y_j - Y_i}{D} \right)^2 \sigma_{Y_j}^2 + \left(\frac{Y_i - Y_j}{D} \right)^2 \sigma_{Y_i}^2 + \\ &+ \left(\frac{Z_j - Z_i}{D} \right)^2 \sigma_{Z_j}^2 + \left(\frac{Z_i - Z_j}{D} \right)^2 \sigma_{Z_i}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

На основе предложенной схемы оценки точности результатов наземной лазерной съемки был выполнен практический эксперимент, заключающийся в следующем.

Тестовый полигон представлял собой плоскую стену с наклеенными на нее светоотражающими марками фирмы 3М (рис. 1). Координаты всех марок были определены с помощью тахеометра Trimble Zeiss 3305 DR, паспортная точность измерения расстояний которым 5 мм в безотражательном режиме. Съемка тестового полигона выполнялась девять раз. Каждый скан был получен с различным разрешением 0°,035, 0°,015 и 0°,007 на трех расстояниях 14,878 м, 20,714 м и 26,491 м. На каждом расстоянии сканирование выполнялось разрешением. Всего было получено 9 сканов.

Эксперимент производился в дневное время при естественном освещении и температуре воздуха примерно 20°C.

На основе полученных результатов было выполнено сравнение длин отрезков, полученных электронным тахеометром и НЛС, по результатам которого были построены графики зависимости влияния разрешения сканирования и отстояния объекта съемки от сканера на точность определения координат точек НЛС. Один из графиков приведен на рис. 2.

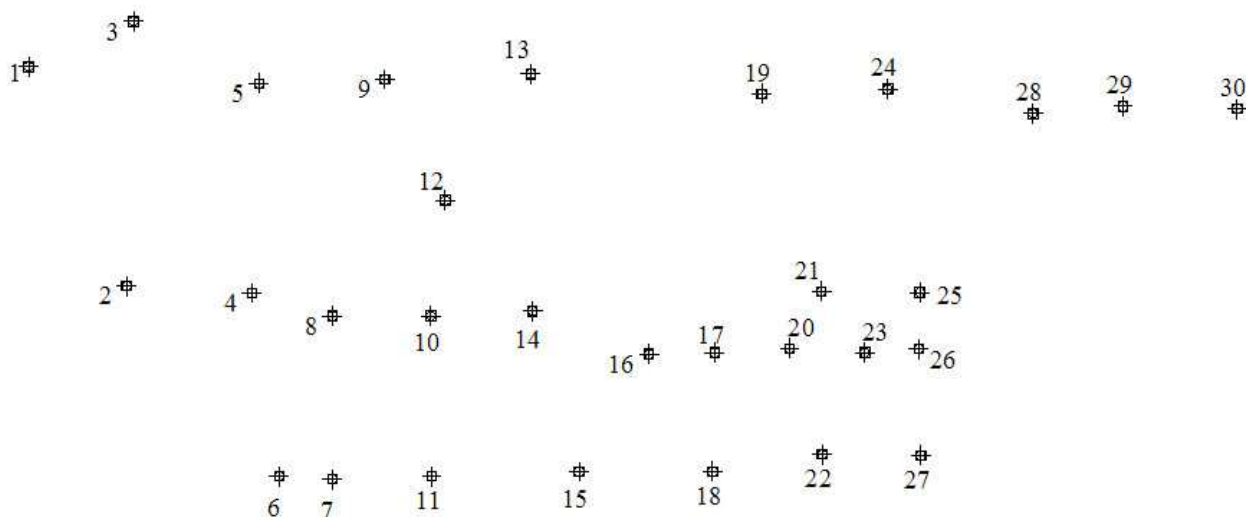


Рис. 1. Расположение марок на вертикальной плоскости

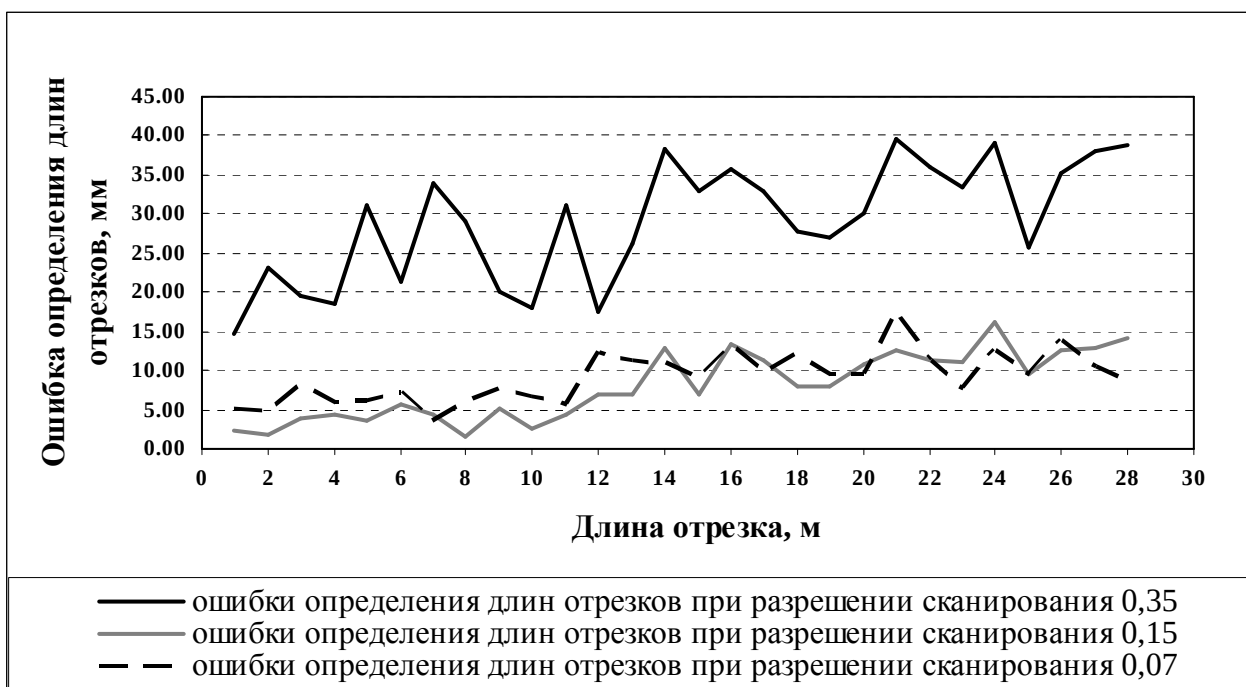


Рис. 2. Зависимость точности определения координат точек сканером от разрешения сканирования при отстоянии тестового объекта 20,714 м

На основе выполненного сравнения полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Формулы априорной оценки точности практически полностью соответствуют получаемым результатам, расхождения составляет менее 15%;
- Увеличение разрешения сканирования приводит к повышению точности определения координат точек;
- При отстоянии тест-объекта примерно 20 м достигается максимальная точность получаемых результатов, что соответствует выводам, приведенным в работе [7] для сканера Riegl LMS-Z360.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич, Г.А. Определение крена сооружений башенного типа GPS-приемниками и тахеометрами [Текст] / Г.А. Уставич // Геодезия и картография. 2003. – № 9. – С. 15–18.
2. Уставич, Г.А. Мониторинг технического состояния промышленных объектов и высотных зданий [Текст] / Г.А. Уставич, К.Н. Мамлин, Ю.С. Обидин // Материалы III Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25-27 апреля 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2007. – Т. 1. – С. 97–98.
3. Ashraf, A. B. Accurate Surveying Measurements for Smart Structural Members [Текст] / A. B. Ashraf // M.Sc. Thesis, Mansoura University, Public Works Department, faculty of Engineering, El-Mansoura, Egypt. – 2004.
4. Бешр, Ашраф А.А. Высокоточные геодезические измерения для наблюдения за деформациями сооружений [Текст] / Ашраф А.А. Бешр // Материалы III Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25-27 апреля 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2007. – Т. 1. – С.112–117.
5. Gordon, S.J. Metric Performance of a High- Resolution Laser Scanner [Текст] / S.J. Gordon, D.D. Lichti, M.P. Stewart and M. Tsakiri// Proceedings of SPIE Electronic Imaging 2001 Conference, San Jose, California, February 2001, 11 pp.
6. Lichti, D.D. Benchmark Tests on a Three-Dimensional Laser Scanning System [Текст] / D.D. Lichti, , M.P. Stewart, M. Tsakiri and T. Snow// Geomatics Research Australasia. – 2000 № 72. – pp. 1–24.
7. Комиссаров, А. В. Методика исследования метрических характеристик сканов [Текст] / А. В. Комиссаров. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск. – 2007. – 201 с.

© А.В. Комиссаров, Ашраф Абдель Ванис Бешр, 2008

УДК 528.5: 528.48

В.С. Хорошилов

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ И ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

V.S. Khoroshilov

SGGA, Novosibirsk

THE DEVELOPMENT OF EXPERT INFORMATION SYSTEM, ITS STRUCTURAL – AND – FUNCTIONAL CONTENT USED FOR OPTIMUM GEODETIC MAINTENANCE OF ENGINEERING OBJECTS

One of the major problems at designing geodetic works at installation of the process equipment of large installations and industrial complexes is an optimum choice of methods and means of measurements.

In given clause questions of development of the structurally functional maintenance of information expert system for optimum geodetic maintenance of engineering objects are considered. As initial a component software products were used: MS Access 2003, an empty environment expert system CLIPS and MS PowerPoint.

Examples of realization of modular representation of knowledge in environment CLIPS and purpose of the developed program module «The dynamic designer of forms» for realization of step-by-step management by process of optimization of a choice of means of measurements for the decision of concrete industrial problems.

Строительство крупных промышленных и научных комплексов, таких как ускорители заряженных частиц, атомные электростанции, крупные гидроузлы, радиотелескопы и антенные комплексы, многоканальные оптические установки и точные технологические конвейеры – требует геодезического сопровождения на всех стадиях строительного, монтажного и пусконаладочного процессов, а также в период эксплуатации. Задачи геодезического обеспечения чрезвычайно разнообразны как по точности, так и методическим особенностям, а для их решения необходимы специальные меры строительного и технологического характера, которые возможно предусмотреть только на стадии проектирования инженерного объекта. При этом важнейшей задачей при проектировании геодезических работ является оптимальный выбор, разработка и рациональная методика применения специальных геодезических приборов, приборов общего назначения, а также нестандартизированных специальных приборов индивидуального изготовления.

За предыдущие годы накоплен колоссальный опыт геодезических работ, разработаны и созданы уникальные в своем роде специальные нестандартизированные приборы, устройства и различное оборудование – и всё это исчисляется тысячами наименований. Многие из этих приборов, систем и устройств – уникальны, дорогостоящие и единичны; сохранились в ряде организаций и в тоже время редко используются. В тоже время в практику инженерно-геодезических работ интенсивно внедряются и современные средства измерений, такие как электронные тахеометры, лазерные сканеры и спутниковые методы. Имеющийся чрезвычайно большой объём информации в рассматриваемой предметной области слабо систематизирован и обобщён, недостаточно хорошо изучен и утрачивается в условиях имеющего место снижения преемственности знаний между поколениями. Практически полностью отсутствует в геодезии использование современных информационных технологий для системного накопления, сохранения, обновления и реализации инженерии знаний, в том числе в области оптимизации выбора методов и средств геодезического обеспечения инженерных объектов; и всё это при том, что «при монтаже технологического оборудования трудоёмкость инженерно-геодезических измерений достигает 15-20% общей трудоёмкости» [1].

При современном уровне развития информационных технологий, в условиях возрастания разнообразия, сложности и прецизионности инженерных объектов, постоянного расширения арсенала методов и средств геодезических измерений существует необходимость систематизации достигнутого уровня научного и практического знания и принятия решения на новой методологической и технологической информационной основе для активного и научно-обоснованного выбора методов и средств геодезического обеспечения инженерных объектов с целью оптимизации выбора средств измерений по точности, оперативности использования, наименьшим затратам и производительности труда. Это имеет место, как при проектировании геодезических работ на уникальных объектах, так и на других, но ещё более распространённых объектах производства строительно-монтажных работ, а также в эксплуатационный период.

В процессе разработки геодезической информационной экспертной системы (ЭС) для оптимального выбора методов и средств измерений при проектировании геодезических работ на инженерных объектах использовались преимущества компонентной технологии [2], где компонента это готовый исполняемый программный модуль, чётко реализующий определённые функции и коммуникационные интерфейсы взаимодействия с другими компонентами. В нашем случае в качестве исходных компонент использовались программные продукты: MS Access 2003, «пустая» инструментальная оболочка экспертной системы CLIPS и MS PowerPoint. Структурно-функциональное содержание информационной экспертной системы представлено на рис. 1.

В качестве первой компоненты для разработанной геодезической информационной экспертной системы послужила инструментальная среда разработки реляционных баз данных MS Access 2003. Были разработаны

структура и концептуальные понятия базы данных, определено их функциональное содержание [3].

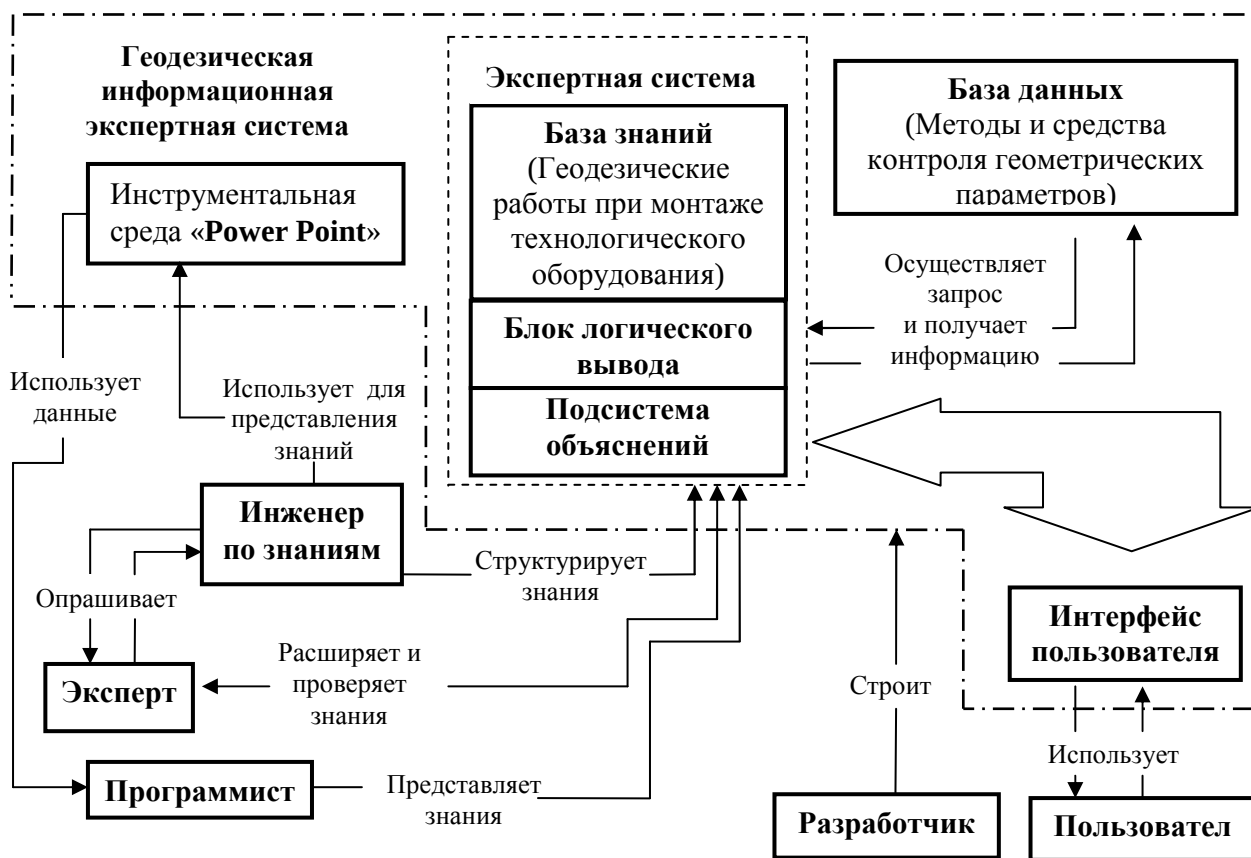
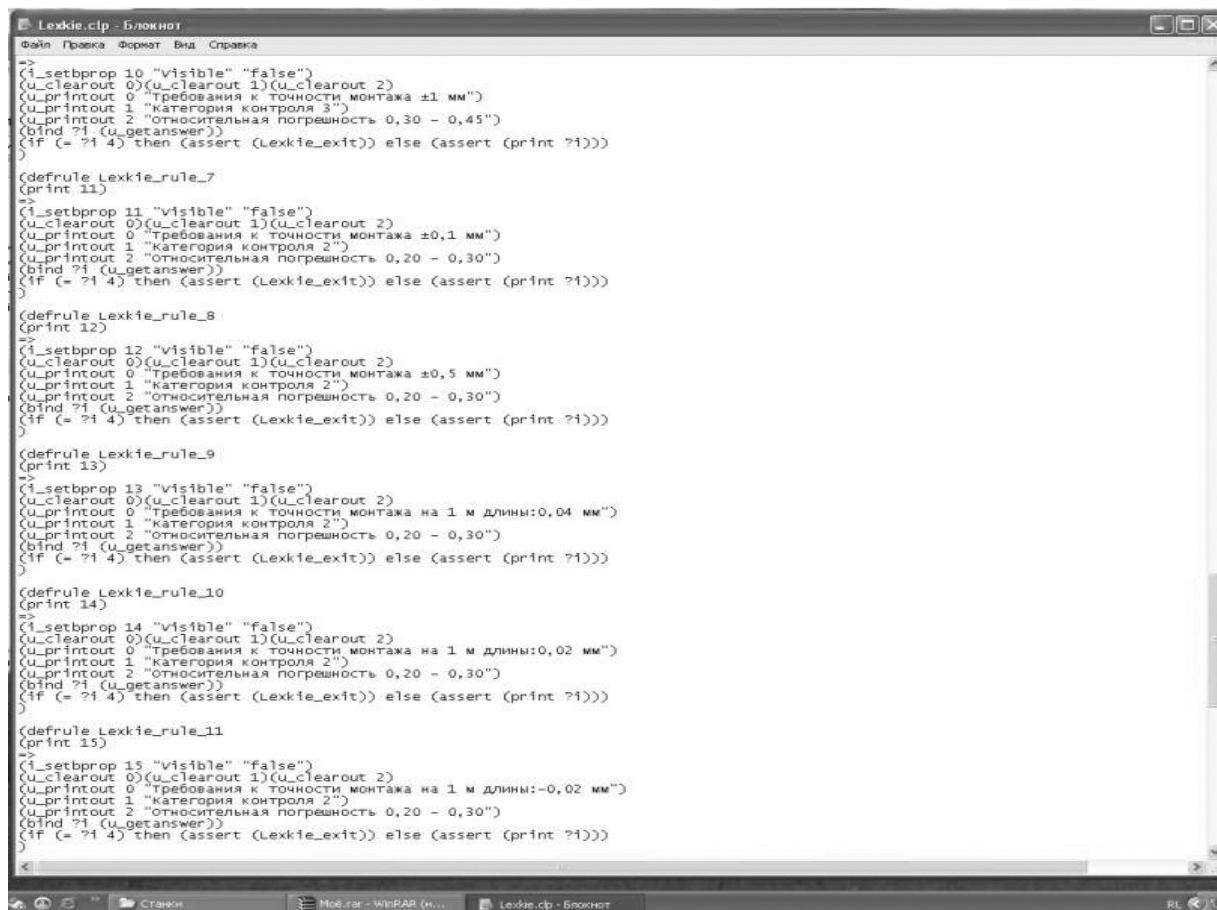


Рис. 1. Структурно-функциональное содержание информационной экспертной системы

В качестве второй компоненты использовалась «пустая» инструментальная оболочка CLIPS. Существующая в настоящее время версия (6.21, 2002 г.) может эксплуатироваться на платформах UNIX, DOS, Windows и Macintosh и является хорошо документированным и доступным программным продуктом. С точки зрения разработки информационных экспертных систем CLIPS очень удобен, так как позволяет проводить полный цикл создания экспертной системы без привлечения каких-либо других инструментов, при этом предоставляя мощные возможности по отладке экспертной системы. Для конечного пользователя наиболее важным является наглядность и удобство работы с интерфейсом ЭС. Стандартная среда CLIPS не обеспечивает таких возможностей, поэтому данная задача была решена расширением функциональных возможностей CLIPS в результате разработки специального приложения CLIPSmod – «Модифицированный CLIPS». В результате добавления функций (создано 24 дополнительные функции) появились возможности:

- Для создания элементов интерфейса и управления ими;
- Для работы с базами данных;
- Для модульного представления знаний.

Возможность модульного представления знаний в инструментальной оболочке CLIPS позволяет решать задачу создания различных по назначению отдельных модулей в «базе знаний» экспертной системы, содержащих знания о различных средствах измерений и контролируемых геометрических параметрах для различного по назначению технологического оборудования (рис. 2).



```
(lexkie.clp - Блокнот)
Файл Правка Формат Вид Справка

=>
(1_setbprop 10 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа ±1 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 3")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,30 - 0,45")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))

(defrule Lexkie_rule_7
(print 11)
=>
(1_setbprop 11 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа ±0,1 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 2")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,20 - 0,30")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))

(defrule Lexkie_rule_8
(print 12)
=>
(1_setbprop 12 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа ±0,5 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 2")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,20 - 0,30")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))

(defrule Lexkie_rule_9
(print 13)
=>
(1_setbprop 13 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа на 1 м длины: 0,04 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 2")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,20 - 0,30")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))

(defrule Lexkie_rule_10
(print 14)
=>
(1_setbprop 14 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа на 1 м длины: 0,02 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 2")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,20 - 0,30")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))

(defrule Lexkie_rule_11
(print 15)
=>
(1_setbprop 15 "visible" "false")
(u_clearout 0)(u_clearout 1)(u_clearout 2)
(u_printout 0 "Требования к точности монтажа на 1 м длины: -0,02 мм")
(u_printout 1 "категория контроля 2")
(u_printout 2 "относительная погрешность 0,20 - 0,30")
(bind ?1 (u_getanswer))
(if (= ?1 4) then (assert (Lexkie_exit)) else (assert (print ?1)))
```

Рис. 2. Фрагмент представления «знаний» в оболочке CLIPS о точности монтажа, категории геодезического контроля при монтаже прокатных станов

В качестве третьей компоненты использовалась инструментальная среда MS PowerPoint. Её основное назначение – это наглядное представление файлов (графических, текстовых) для визуального представления знаний в «базе знаний» экспертной системы, т. е. по существу, она определяет (визуально) границы работы экспертной системы.

Оптимальный выбор методов и средств измерений при проектировании геодезических работ для монтажа технологического оборудования крупных установок и промышленных комплексов осуществляется по технологической схеме, предложенной автором в работе [4] в следующей последовательности:

- Выбор объекта контроля: технологическое оборудование ускорителей заряженных частиц, цементных и металлургических заводов, ТЭЦ, АЭС, прокатных станов и т. д.;

- Выбор категории контроля, точности геодезических измерений, квалификации исполнителей, экономические ресурсы;
- Вычисление значения параметра оптимизации для различных геодезических методов и средств измерений;
- Учёт влияния внешних и производственных условий;
- Расчёт трудоёмкости использования выбранных средств измерений;
- Окончательный выбор средства измерений и обоснование выбора.

Для управления процессом оптимизации выбора средств измерений был разработан программный модуль «динамический дизайнер форм» (рис. 3), встраиваемый в приложение CLIPSmод, и который позволяет пошагово управлять процессом при решении конкретных задач.

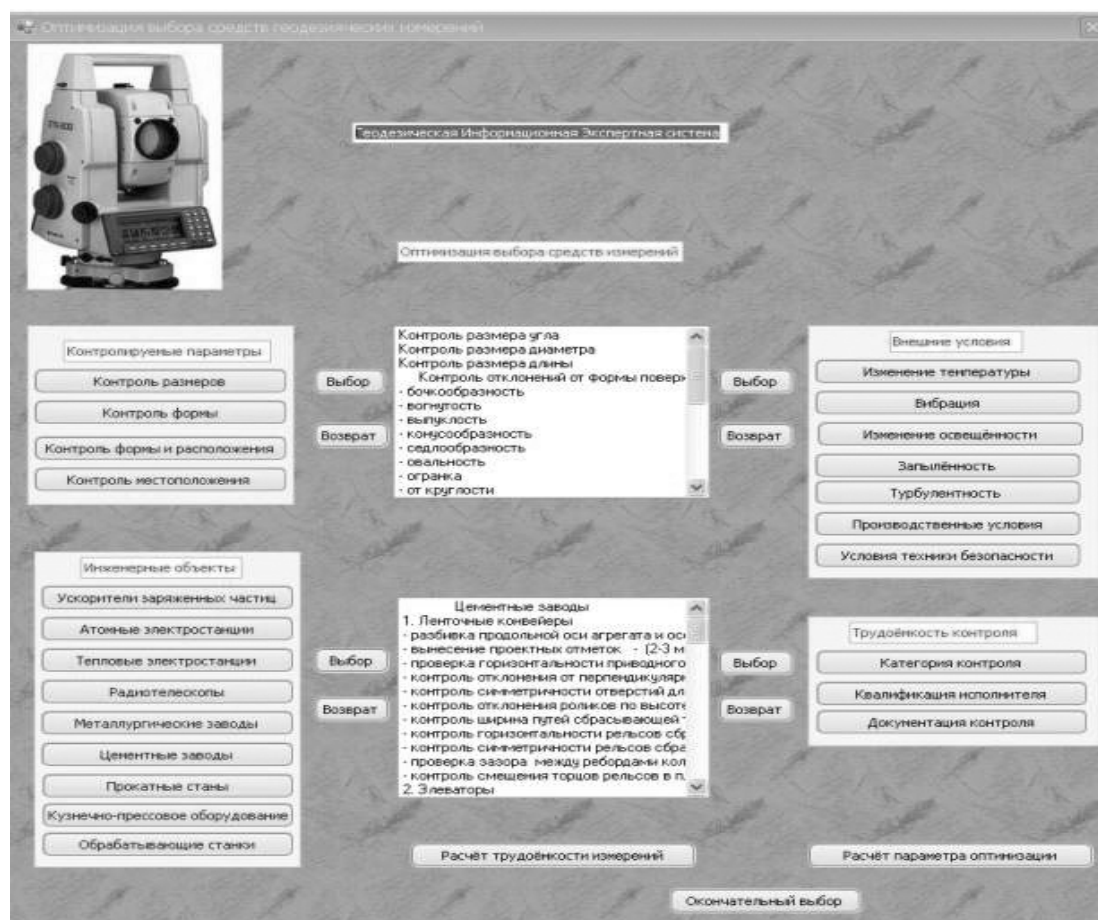


Рис. 3. «Динамический дизайнер форм» для управления процессом оптимизации выбора средств измерений

Выбор типа контролируемого параметра, назначение точности геодезического контроля и диапазона измерений с последующей выборкой методов и средств геодезических измерений для выбранного контролируемого параметра и последующей оптимизацией выбранных средств измерений отражается на экране компьютера; предусмотрено поэтапное объяснение принятия решения с возможностью просмотра в окне вывода, распечаткой на

принтере и возвратом на предыдущие уровни. Выбор средств измерений по типу контролируемого параметра представлен на рис. 4.

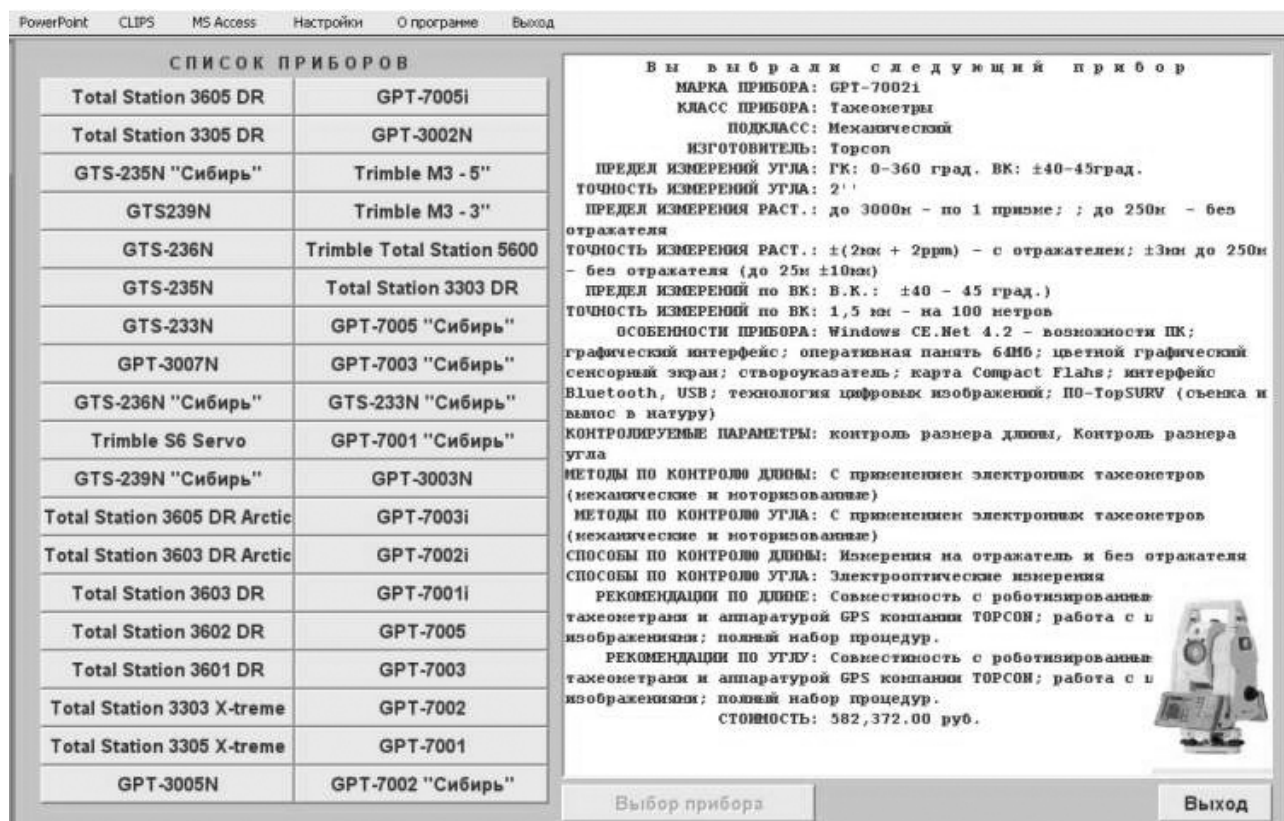


Рис. 4. Выбор средства измерений ЭС по типу контролируемого параметра

Таким образом, разработанная геодезическая информационная экспертная система существенно облегчает задачу оптимального выбора методов и средств измерений при проектировании геодезических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ямбаев, Х.К. Специальные приборы для инженерно-геодезических работ [Текст] / Х.К. Ямбаев. – М.: Недра, 1990. – 267 с.
2. Хорошилов В.С. Основные компоненты экспертной информационной системы оптимального выбора геодезического метода и средств измерений при монтаже технологического оборудования [Текст] / В.С. Хорошилов. – Екатеринбург: Изв. ВУЗов «Горный журнал», № 3, 2006. – С. 66–69.
3. Хорошилов, В.С. Проектирование модели реляционной базы данных в структуре информационной системы «Геодезические работы при монтаже технологического оборудования» [Текст] / В.С. Хорошилов, Т.В. Жежко. – Сб. матер. науч. конгр. ГЕО-Сибирь-2005, 25-29 апр., т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия.- Новосибирск: СГГА. – 2005. – С. 115–119.
4. 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. 37–3.

© *В.С. Хорошилов, 2008*

УДК 502.22 517:519.8

И.Г. Вовк

СГГА, Новосибирск

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

I.G. Vovk

SSGA, Novosibirsk

SYSTEM ANALYSIS AND MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS SPACE-TIME STATE

The changes in space-time state of the technical systems are considered as the sum of translational, rotary and deformation motions with noises. The method for determination of such types of motion by the results of the repeat geodetic measurements is offered by the author.

В последнее время участились случаи возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), сопровождающиеся не только значительным материальным ущербом, но и человеческими жертвами и связанные с полным или частичным разрушением технических систем (ТС). Причины возникновения ЧС разнообразны, но многие из них проявляются в движениях и деформациях сооружения в целом или его частей. Анализируя движения и деформации сооружения, можно судить о его состоянии, оценивать опасность этого состояния и принимать необходимые меры для снижения риска и ущерба от возникновения ЧС. Разрушение многих сооружений можно было бы предвидеть при своевременном выполнении работ по наблюдению и анализу движений и деформаций ТС.

Движения сооружения - это изменения его положения в пространстве относительно принятой неизменной системы отсчёта, а деформации – движения частей системы относительно друг друга, сопровождающиеся изменениями формы и размеров всего сооружения или отдельных его частей. Форма, размеры и положение в пространстве ТС, отнесённые к некоторому моменту времени определяют её пространственно-временное состояние (ПВС), а функции, характеризующие ПВС системы – характеристики состояния. Например, пространственно-временными характеристиками состояния сооружения могут служить координаты контрольных точек сооружения, расстояния между ними, углы между направлениями векторов, связанных с контрольными точками, уравнения линий и поверхностей, описывающих форму сооружения, площади частей поверхности сооружения и другие функции, определённые на множестве контрольных точек. Целенаправленное объединение этих характеристик в систему определяет пространственно-временное состояние сооружения. Ясно,

что только по данным о ПВС или эволюции ПВС сооружения определить причины возникновения опасного состояния невозможно. Однако эти данные служат надёжным предвестником возможного перехода сооружения из безопасного или неопределённого состояния в опасное состояние и обосновывают необходимость выявления физических причин такого перехода.

Изменения ПВС сооружения складывается из его движения как неизменного целого (абсолютно твёрдого тела) и движения его частей относительно друг друга. Обозначим $\overline{R1(t)}$ - вектор функцию координат произвольной точки сооружения, рассматриваемого как абсолютно твёрдое тело (АТТ), $\overline{R2(t)}$ - вектор функцию координат той же произвольной точки сооружения, обусловленную его отличием от АТТ и запишем

$$\overline{R(t)} = \overline{R1(t)} + \overline{R2(t)}, \quad (1)$$

Как известно [1], движение АТТ рассматривается как сумма поступательного движения тела и вращения тела вокруг оси проходящей через произвольную фиксированную точку тела и представляется уравнением

$$\overline{R1(t)} = \overline{rO(t)} + \overline{rB(t)}, \quad (2)$$

где $\overline{R1(t)}$ - вектор - функция координат произвольной точки тела относительно неизменной системы отсчёта (А); $\overline{rO(t)}$ - вектор - функция координат некоторой фиксированной точки О тела, называемой полюсом, относительно неизменной системы отсчёта (А); $\overline{rB(t)}$ - вектор - функция координат точки тела относительно системы отсчёта (В) с началом в точке О тела, двигающейся вместе с телом.

Традиционно ПВС системы определяется по координатам контрольных геодезических точек $M_i, (i = \overline{1, n})$, полученным из обработки повторных циклов геодезических измерений, выполненных в фиксированные моменты времени $t_j \in [T_0, T], (j = \overline{1, m})$. Это значит, что исходными данными для оценки, анализа и прогноза ПВС системы служат значения вектор – функций $\overline{R(t)}$, измеренные в точках M_i в моменты t_j , т.е.

$$\overline{R_{i,j}} = \overline{R_i(t_j)}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

На результаты наблюдений оказывают влияние разнообразные случайные помехи, интегральное описание которых представим как случайный некоррелированный процесс

$$\overline{\eta} = \overline{\eta(t)} \quad (4)$$

с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией равной дисперсии ошибок измерений, значения которого в точке с номером i и цикле с номером j примем

$$\overline{\eta_{i,j}} = \overline{\eta_i(t_j)}. \quad (5)$$

На основании изложенных обстоятельств можно утверждать, что измеренные значения радиусов векторов контрольных точек можно представить моделью

$$\overline{R_{i,j}} = \overline{rO_j} + \overline{rB_{i,j}} + \overline{R2_{i,j}} + \overline{\eta_{i,j}}. \quad (6)$$

Первое два слагаемых в уравнении (6) описывают движение системы как абсолютно твёрдого тела, которое представляется суммой поступательного движения тела и вращательного движения около оси, проходящей через некоторую точку тела, выбранную в качестве полюса. При этом направление оси вращения и величина угла поворота не зависят от выбора полюса /1/. Следовательно, для определения движения абсолютно твёрдого тела необходимо по данным измерений найти характеристики поступательного движения тела и изменения координат контрольных точек из за вращения тела относительно полюса.

Плоскость Р, проходящая через три любые точки АТТ, будет двигаться, как и рассматриваемое абсолютно твёрдое тело. Среди множества таких плоскостей существует единственная плоскость, векторная сумма расстояний контрольных точек от которой равна нулю и поэтому её уравнение может быть принято в качестве математической модели такого движения.

Как известно, положение плоскости в пространстве определяется направлением нормали к этой плоскости и радиусом вектором произвольной точки плоскости, которую назовём опорной точкой. Эти характеристики плоскости и являются искомыми параметрами математической модели движения системы, рассматриваемой как абсолютно твёрдое тело. Радиус вектор опорной точки найдём, как средневзвешенную сумму радиусов векторов контрольных точек. В качестве полюса O_j выберем точку плоскости, радиус вектор которой $\overline{rO_j}$ совпадает по направлению с орт - вектором $\overline{n_j}$ нормали к плоскости, а длина равна расстоянию плоскости от начала координат системы отсчёта (А). Направление нормали (орт вектор $\overline{n_j}$) к плоскости определим так, чтобы векторная сумма отклонений контрольных точек от плоскости была равна нулю. Такие плоскости определим для каждого цикла измерений. Подробно решение этой задачи рассмотрено в /2/. Разность

$$\overline{rO_j} - \overline{rO_1} = \overline{\Delta r_j} \quad (7)$$

определяет движение ТС как абсолютно твёрдого тела за период времени между первым и j-м циклами измерений.

При поступательном движении все точки абсолютно твёрдого тела описывают одинаковые траектории относительно некоторого направления, например, направления вектора $\overline{rO_1}$, орт-вектор которого есть $\overline{n_1}$, и поэтому достаточно найти такое движение для одной произвольной точки тела, например для точки O_j . Для этого необходимо вектор $\overline{\Delta r_j}$ спроектировать на вектор $\overline{rO_1}$.

Чтобы определить изменения координат точек из-за вращения АТТ, определим систему отсчёта (В). Направление оси аппликат pz_j этой системы примем совпадающим с направлением $\overline{n_j}$, направление оси абсцисс и оси ординат определим выражениями

$$\begin{aligned}\overline{px_j} &= \overline{pz_j} \times \overline{k}, \\ \overline{py_j} &= \overline{pz_j} \times \overline{px_j},\end{aligned}\quad (8)$$

где $\overline{k}$ - орт вектор оси аппликат системы отсчёта (А).

При вращении АТТ координаты его точек относительно системы отсчёта (В) не изменяются и поэтому

$$\overline{rB_{i,j}} = (\overline{R_{i,1}} - \overline{RO_1}) \cdot W_j, \quad (9)$$

где W_j – матрица, составленная из векторов px_j, py_j, pz_j . В цикле с номером j координаты точек системы, рассматриваемой как абсолютно твёрдое тело, вычислим по формуле

$$\overline{R1_{i,j}} = \overline{RO_j} + \overline{RB_{i,j}} \quad (10)$$

и далее найдём изменения $\overline{d_{i,j}}$ координат точек ТС, обусловленные отличием технической системы от АТТ

$$\overline{d_{i,j}} = \overline{R2_{i,j}} + \overline{\eta_{i,j}} = \overline{R_{i,j}} - \overline{RO_j} - \overline{rB_{i,1}}. \quad (11)$$

Значения $\overline{d_{i,j}}$, вычисленные по этой формуле, зашумлены случайными помехами, интегральное описание которых даёт формула (4) или (5).

Таким образом, задача определения движений и деформаций ТС по результатам геодезических измерений решена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лойцянский, Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики: В 2-х томах. Т. 1. Статика и кинематика. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с.
2. Бугакова, Т. Ю., Вовк И. Г., Олейник А. М. Оценка безопасности состояния объектов хранения нефти по геодезическим данным. Тюмень. Известия вузов. Нефть и газ. 2007. № 2. – С. 95–99.

© И.Г. Вовк, 2008

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ МАРШРУТОВ

V.I. Dudarev

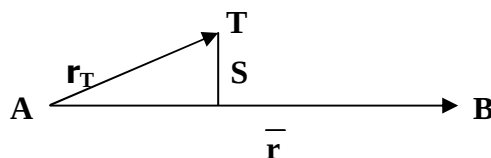
SSGA, Novosibirsk

ASSESSMENT OF AIR-STRIPS QUALITY

The article describes the methods for determinations of air-strips offsets from the forward directions. To solve this problem, it is necessary to know the plane coordinates of initial and terminal points of the route. On board a plane an air photographer should have a satellite receiver, which fixes spatial positions of the route points.

Наряду с имеющимися классическими методами оценки качества выдержанных маршрутов при аэрофотосъемочных работах можно применять современные технологии, использующие GPS-измерения. Так как требования к точности прокладываемого маршрута – это единицы метров, то для выполнения работы достаточно использовать только один спутниковый приемник.

Для оценки качества выполненных маршрутов с помощью GPS-технологий может применяться следующая схема. Спутниковыми приемниками или иными методами определяются координаты точек начала и окончания маршрута в полете. Отклонения S маршрута от прямой линии определяются в плане, поэтому начальная и конечная точки будут иметь по две плоские прямоугольные координаты (например, в проекции Гаусса-Крюгера): для начальной точки A – (X_A, Y_A) , для конечной точки B – (X_B, Y_B) (см. рис.).



На рисунке обозначено: $\bar{r}_T$ – вектор текущего положения аэрофотосъемщика, $\bar{r}$ – маршрутный вектор, T – текущая точка маршрута.

На борту аэрофотосъемщика (самолета, вертолета и т. п.) устанавливается спутниковый приемник, который во время полета с заданной дискретностью (в зависимости от скорости перемещения) определяет пространственные координаты текущих точек T . Пространственные координаты преобразуются в плоские прямоугольные координаты (X_T, Y_T) . В результате векторы $\bar{r}_T$ и $\bar{r}$ будут определены как

$$\vec{r}_T = [X_T - X_A, Y_T - Y_A] = (\Delta X_T, \Delta Y_T) \text{ и } \vec{r} = [X_B - X_A, Y_B - Y_A] = (\Delta X, \Delta Y).$$

Далее, отклонение S аэрофотосъемщика от заданного маршрута для каждой текущей точки можно определить как

$$S = \frac{\Delta X_T \cdot \Delta Y - \Delta X \cdot \Delta Y_T}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}.$$

Характеристику качества выполненного маршрута в залете можно оценить, например, средней квадратической ошибкой единицы веса μ

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n-1}}.$$

В формуле обозначено: S_i – отклонение аэрофотосъемщика от прямолинейного маршрута в текущий момент времени ($i = 1, 2, \dots, n$), n – число измерений текущих координат спутниковым приемником, установленном на борту аэрофотосъемщика.

Представленная методика может применяться и в других задачах, при выполнении которых требуется выдерживать строго определенные направления передвижения, например, отработка галсов при съемке шельфовых зон и т.д. Для повышенной точности решения задачи требуются два спутниковых приемника: один устанавливается в исходной точке, другой – на борту аэрофотосъемщика. В этом случае текущее положение аэрофотосъемщика будет характеризоваться ошибкой в несколько сантиметров. С такой же точностью будут определяться и отклонения S .

© В.И. Дударев, 2008

УДК 519.2:528.1

С.А. Егорова

СГГА, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СТАТИСТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

S.A. Yegorova

SSGA, Novosibirsk

USE OF VIZUALIZATION MEANS IN STATISTICAL ANALYSIS

The article describes some aspects of using visualization methods for the development of statistical analysis program by distribution laws.

Статистический анализ случайных величин выполняют для определения закона распределения случайной величины (СВ), оценок параметров и числовых характеристик.

При создании программы статистического анализа учитывался опыт разработки программы статистического анализа наблюдений [1] и результаты массовых статистических исследований геодезических данных [2] с использованием этой программы.

Одним из эффективных вычислительных систем [3], является система *MathLab*, имеющая различные средства для визуализации данных, которые довольно удобно применять для решения крупной статистической задачи, рассчитывая допуски на ошибки, поправки, невязки геометрических условий, разности двойных измерений, построение доверительных интервалов и т.д.

Простота организации графических элементов управления позволяет дополнительно охарактеризовать его как средство быстрой разработки научных проектов. Интерфейс пользователя, созданного представленным пакетом состоит из элементов управления на поверхности графических окон, объекты которого идентифицируются их уникальным описателем – именем, к которому можно впоследствии обратиться. Другим способом получения описателей является использование специальных функций таких, как *gcf* [4].

Некоторые особенности такого интегрирующего механизма следующие.

Для управления графическим окном, именованного как *sw*, создается его объект, например:

```
sw = figure;
```

```
uicontrol (sw, 'Name', 'Статистический анализ', 'Style', 'pushbutton', ...  
          'Position', [50 45 65 30]);
```

Здесь основным параметром является 'Style', определяющее тип управляющего элемента со значением 'pushbutton': *edit* – ввод и редактирование данных, *text* – поясняет текст, *checkbox* – создает «флажок»,

'listbox' – организовывает список, *togglebutton* – определяет состояние нажатия кнопки, *radiobutton* – осуществляет выбор одного из вариантов, *slider* – создает «ползунок». Свойство 'Position' позволяет расположить окно относительно левого нижнего угла.

Для построения графиков функций в окне с именем *sw*, создается конструктор объекта *axes*, например:

```
axes( sw, 'color', [1 1 1], 'Units', 'pouints', ...  
'Position', [40 45 60 30], 'FontSize', 10);
```

Алгоритмы решения, написанные на *m*-языке, связываются *callback*-функциями с графическими элементами управления, например:

```
sw1 = uicontrol (sw, 'Style', 'pushbutton', 'Position', [100 10 100 60], ...  
'String', 'Загрузка данных', 'Callback', 'Stat');
```

Здесь, функция, записанная на диск с именем *Stat.m*, связывается с объектом с именем *Загрузка данных*. Свойство 'String' позволяет задать надпись с именем 'Загрузка данных'.

Структура алгоритма, выполненная на основе средств визуализации системы *MatLab*, разбита на несколько этапов, каждый из которых запускается в соответствии с назначенным ему объектом.

Элементы управления построены со схожими параметрами, указанными выше и могут работать независимо друг от друга. Все данные сохраняются в рабочей области *Mathlab* и доступны каждому объекту.

В созданном графическом окне элементы, расположенные справа в вертикальном ряду отражают поэтапную реализацию алгоритма. Каждому объекту назначена отдельная функция в соответствии с алгоритмом задачи.

Разработан следующий порядок проведения статистического анализа.

Исходные данные загружаются с диска вводом имен файлов, имеющие расширение *.txt* или *.dat*. Вещественные числа, записанные в них, могут располагаться в любом порядке, отделяемые друг от друга пробелом. Рисунок (а) показывает работу такого диалогового окна в режиме интерактивного ввода данных при обращении к объекту *Загрузка данных*.

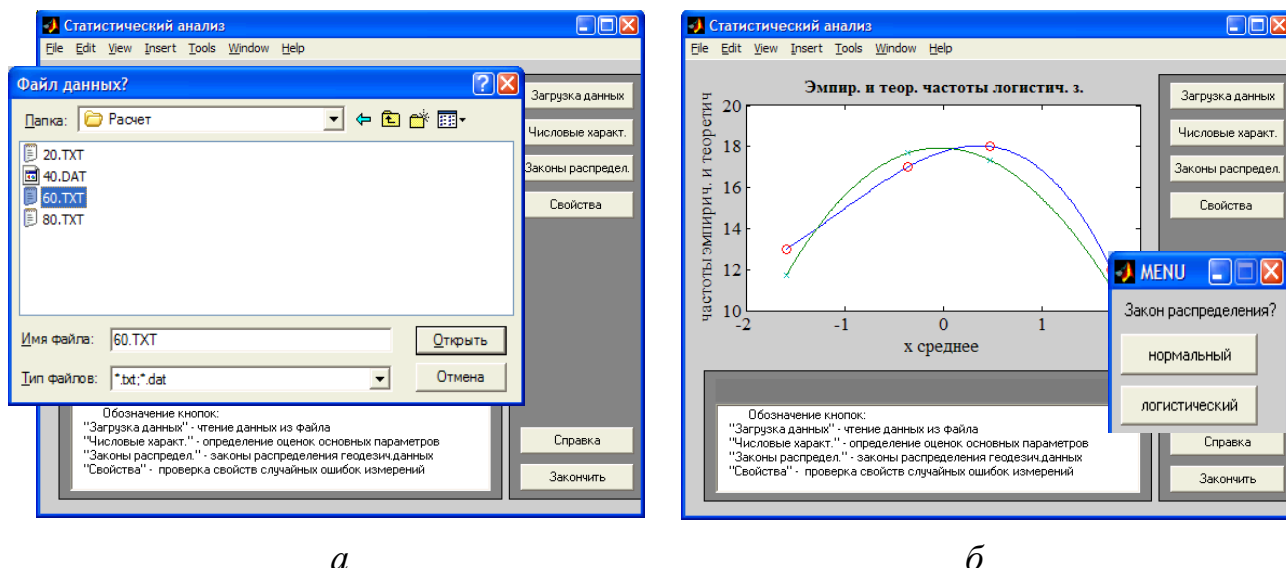


Рис. Объекты графических окон для проведения статистического анализа:

а) Загрузка данных; б) Законы распределения

Объект Числовые характеристики включает вычисление числа интервалов по формуле Г.А. Стерджесса $k=1+3,2\lg n$, где n – объем выборки. Малочисленные интервалы ($n < 5$) объединяются. Пользователь может задать свое значение $k \geq 4$. Определяются эмпирические частоты $\bar{n}_i$.

Вычисляются оценки числовых характеристик случайной величины: математического ожидания $\bar{M}_x$, среднего квадратического отклонения $\bar{\sigma}_x$, центральных моментов $\bar{\mu}_k$ ($k = 3, 4$).

Устанавливаются значения асимметрии $\bar{S}$ с допуском $3\bar{\sigma}_S$ и эксцесса $\bar{E}$ с допуском $3\bar{\sigma}_E$. Для определения оценок используется метод моментов Пирсона. Оценкой математического ожидания является среднее арифметическое значение СВ – $\bar{x}$.

Объект Законы распределения позволяет вычислить теоретические частоты n_i для выбранного закона распределения – нормального или логистического. Именно логистический закон, наряду с нормальным, имел место во всех вариантах исследований случайных величин в геодезии [2].

Выбор закона осуществляется в диалоговом окне, показанном на рисунке (б). Для нормального закона

$$n_i = nP(x_i < X < x_{i+1}) = n(F(t_{i+1}) - F(t_i)), \quad (1)$$

где $F(t_i)$ – функция нормального распределения, $t_i = (x_i - \bar{x})/\bar{\sigma}_x$ – центрированное и нормированное значение СВ на границе интервала.

Для логистического закона вычисляются оценки параметров $a = \bar{x}$ и $\lambda = \bar{\sigma} \cdot \sqrt{3}/\pi$. Функция логистического распределения имеет вид:

$$F(x) = 1/(1 + e^{-z}), \quad (2)$$

где $z = (x_i - \bar{x})/\lambda$.

Согласие эмпирического распределения теоретическим законам проверяется критериями Пирсона χ^2 и Колмогорова. Устанавливается статистика критерия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - \bar{n}_i)^2}{n_i} \quad (3)$$

и вероятность того, что величина статистики может превысить значение, соответствующее уровню значимости q при справедливости гипотезы о согласии – $p(\chi^2 \text{ f } \chi_q^2)$ с числом степеней свободы $r = k - 3$.

Статистика критерия Колмогорова, соответствующая вероятности $p(\lambda)$:

$$\lambda = \frac{|d_{\max}|}{\sqrt{n}} = \frac{|\bar{N}_j - N_j|_{\max}}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где – $\bar{N}_j$ и N_j соответственно эмпирические и теоретические накопленные частоты.

Здесь же в объекте *axes* строятся графики эмпирических и теоретических частот выбранного закона распределения.

Объект *Свойства* позволяет проверить свойства случайных ошибок измерений для нормального и логистического законов распределения. Проверка осуществляется с помощью критериев равенства вероятностей и равенства средних, согласно методике, изложенной в работе [2].

Объект *Справка* содержит справочную информацию по проведению статистического анализа, которую можно получить на любом этапе вычисления. Для создания такого объекта использовались две основные инструкции: *HelpStr*, содержащая текст справки, и *HelpWin*, создающая окно для выдачи и связывающая его с *HelpStr*.

Все расчеты сохраняются в специальных файлах на диске и могут быть выданы в диалоговом режиме на экран или печать в виде рабочих таблиц вычисления числовых характеристик, теоретических частот и т. д.

Работа по совершенствованию программы будет продолжена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лемешко, Б.Ю. Статистический анализ одномерных наблюдений случайных величин: Программная система. – Новосибирск: НГТУ, 1995. – 125 с.
2. Лесных, Н.Б. Законы распределения случайных величин в геодезии: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2005. – 129 с.
3. Егорова, С.А. Характеристика возможностей современных вычислительных систем для статистического анализа / ГЕО-Сибирь-2007: сб. материалов научного конгресса. Т.Х. Исследования по общетехническим и гуманитарным проблемам. – Новосибирск: Изд-во СГГА, 2007. – С. 43–46.
4. Дьяконов, В. Matlab 6: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.

© С.А. Егорова, 2008

УДК 528.48

Л.А. Зверев

СГГА, Новосибирск

ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВНЫХ СТАНДАРТОВ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

L.A. Zverev

Siberian State Academy of Geodesy

Novosibirsk

DEVELOPMENT OF CONVENTIONAL STANDARDS IN ENGINEERING SURVEYS FOR CONSTRUCTION

The author offers using conventional standards in engineering surveys for construction: a conventional kilometer (У.КМ) in topographic-and-geodetic works and a running metre of drilling (У.П.М) in engineering geology. Such approach is possible, as any profile of international standards allows to take into account both state features and those of application and upgrade the contents of the standard in those parts which are not obligatory. The above mentioned conventional standards permit to increase volumes of works in engineering surveys and calculate increased prices for a complex by composition and types of services (works) as the conventional volumes in complex make it possible to reduce the time of tenders holding and reporting of contractors to customers as well as other operations, when designing and constructing different projects.

В любых отраслях и технических производствах важнейшую роль играют стандарты, ГОСТы, нормы и правила, которые позволяют выделять категории качества и брака, допустимые и недопустимые значения результатов выполняемых услуг и работ. Международные, государственные и отраслевые стандарты по своей природе достаточно универсальны и не изменяются в течение длительного времени.

Необходимо заметить, что в системах (моделях) стандартизации предусматривается возможность создания государственных и тематических профилей международных стандартов, позволяющих учесть государственные и прикладные особенности и модифицировать содержание стандарта в частях, не являющихся обязательными, т.е. любой профиль может дополнять их элементами, которые базовым стандартом не предусмотрены.

При использовании новейших технологий в инженерных изысканиях происходит не только повышение качества (точности) выполняемых работ, но и сокращаются сроки и затраты на выполнение этих работ за счет укрупнения и объединения производственных процессов по составу и видам работ.

В данной статье предлагается введение условных (укрупненных по составу и видам работ) стандартов в инженерных изысканиях и, как следствие, в проектировании и строительстве объектов различного назначения.

Таковыми условными стандартами могут быть: в топографо-геодезическом и инженерно-геодезическом производствах - один условный километр (у. км); в инженерной геологии - один условный погонный метр проходки или бурения скважин – (У.П.М).

Вместе с тем каждый из вышеназванных условных стандартов должен состоять из полного ряда необходимых и обоснованных технологическими процессами по виду и составу услуг (работ) или исследований, которые обеспечивают (согласно нормативным документам) высокое качество окончательных результатов изысканий в том или ином производстве работ.

Настоящая статья построена по тематическому принципу. В каждом разделе подробно рассматриваются отдельные вопросы темы, которые указаны в заголовках разделов, а обозначенная во введении проблема подробно обсуждается в разделах.

Топографо-геодезическое и инженерно-геодезическое производства

Рассмотрим структуру и состав работ, входящих в условный километр (у. км). Основа одного условного километра состоит из уложения и закрепления оси трассы инженерных коммуникаций на местности по фактической длине в ортогональной проекции.

Кроме того, в условный стандарт (у. км.) включается полный комплекс полевых и камеральных работ по трассе. Виды и составы работ в условном километре выполняются с использованием новых технологий на основе нормативных документов (СНиП, СП и других), поэтому ширина полосы топографической съемки по трассе установлена равной 8-10 см плана. Отсюда расчет условного километра при съемке площадных объектов выполняется на основе аналога у.к.- по трассе инженерных коммуникаций. Практически расчет у.км. для площадных объектов можно показать на следующих примерах.

При съемке по трассе в масштабе 1:2000 ширина полосы составляет 160 метров. Площадь снимаемого объекта в масштабе 1:2000 равна 100 га. Тогда число условных километров снимаемого объекта будет равным – 6.25 у.км., т.е. $100 \text{ га} : 16 \text{ га} = 6.25 \text{ у.км.}$

При выполнении съемки этого же объекта в масштабе 1:500 и ширине съемочной полосы по трассе в масштабе 1:500 равной 10 см плана, число условных километров площадного объекта будет равным $100 \text{ га} : 5 \text{ га} = 20 \text{ у. км.}$

Инженерно-геологическое производство

В связи с тем, что инженерно-геологические изыскания и исследования должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района проектируемого строительства, геологического строения, состояния и свойств грунтов и других технических и природных условий, предлагается выделять два условных стандарта.

Один для трасс инженерных коммуникаций (линейные объекты), а другой для инженерно-геологических изысканий для строительства зданий и сооружений, т.к. физический объем в составе работ для трасс линейных объектов несколько отличается от физических объемов комплексных инженерно-геологических изысканий для строительства зданий и сооружений (СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства». Основные положения).

Заметим, что условный погонный метр бурения (у. п. м) входит в состав физических объемов работ и исследований (сбор, систематизация и анализ материалов прошлых лет, бурение скважин и проходка шурфов, отбор образцов и монолитов, лабораторные исследования и камеральная обработка полевых и лабораторных работ и др.)

Выводы и рекомендации

Следует отметить, что в состав работ (по п. 2) необходимо включать (в оба стандарта) требуемый перечень работ по инженерно-экономическим изысканиям как составную часть мониторинга территорий, согласно обобщенному нормативному документу – «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства» СП 11-102-97.

При использовании рекомендуемых стандартов условных объемов в инженерных изысканиях физические объемы работ определяются только при составлении и оформлении актов контроля и приемки работ и технического отчета.

Проведенные исследования показывают, что стандарты условных объемов (у. км и у. п. м) позволяют рекомендовать расчет стоимости каждого стандарта по базовым ценам. Фактические цены на весь объем выполняемой продукции определяются и регламентируются с помощью понижающих и повышающих коэффициентов. При этом понижающие коэффициенты учитывают неполный объем выполненных работ. Данные коэффициенты устанавливаются и тщательно проверяются профессиональными экспертами, чтобы избежать снижения качества выполняемых изысканий и исследований.

Повышающие коэффициенты устанавливаются компанией подрядчика по фактическим затратам: за услуги транспорта (собственный или арендованный), за местоположение объекта в административном районе работ и за другие особые технические и природные условия, согласно техническому заданию, программе (проекту) работ, нормативным документам, лицензиям и сертификатам.

Предлагаемые стандарты условных объемов при инженерных изысканиях позволяют сократить сроки проведения торгов (тендеров), временную оперативную отчетность компаний подрядчиков перед компаниями заказчиков и др. Кроме того, представленные расчеты понижающих и повышающих коэффициентов компаниями подрядчиков, естественно, будут различны по ценам на каждый условный стандарт и, как следствие, окончательные стоимости работ и исследований по объекту будут различны, что и требуется в цивилизованном рынке услуг и работ.

УДК 528.48:65.011

Л.Ю. Гладун, В.Ф. Ловягин

СГГА, Новосибирск

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МНОГОВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

L.Y. Gladun, V.F. Lovyagin

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

CONCEPTS OF GEODETIC SURVEYS DATAWARE FOR MULTIVARIANT DESIGNING OF LINEAR CONSTRUCTIONS

The article deals with the conceptual approaches to the solution of the vital methodological problem concerning engineering surveys dataware for multivariant designing of linear engineering constructions by system-structural and object-oriented methods used for collecting, processing and interpretation of information on the conditions of the area to be developed.

В действующем СНиПе П-9-04 «Инженерные изыскания для строительства» в основных положениях задача инженерных изысканий (ИИЗ) формулируется как процесс комплексного изучения природных условий района строительства и получение необходимых материалов для «разработки экономически целесообразных и технически обоснованных решений при проектировании и строительстве объектов». При этом содержание процесса ИИЗ: состоит в выполнении комплекса инженерно-изыскательских работ (называемый трассированием), по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на возведение и эксплуатацию ЛИС [1].

Результаты анализа традиционного технологического процесса ИИЗ свидетельствуют о наличии существенных недостатков принятой концепции исследуемого процесса. Концепция опирается на морально устаревшую методологию и скорее отражает декларацию о намерениях, чем на техническое руководство к действию [1, 2]. Достаточно сказать, что вынос оси проектируемого ЛИС производится до разработки проекта сооружения, в частности, до процесса определения мест установки промежуточных опор линий электропередачи (ВЛ) или площадок нефтеперекачивающих станций на нефтепроводах. Такая технология не позволяет рассматривать всё многообразие возможных проектных вариантов размещения на местности инженерного сооружения, что приводит к неоптимальным решениям и, в конечном счете, ведет к неоправданному расходу различных ресурсов при строительстве. Цена такого функционального разделения между процессами

ИИЗ трасс и процессом конструктивно-строительных разработок в едином процессе создания проекта ЛИС в электросетевом строительстве неоправданно повышает сумму капитальных вложений примерно на 15 % [2]. Причиной является несистемная организация всего производственного процесса, осуществляющего технологическую формулу < сбор, обработка информации о местности – камеральная разработка трассы и вынос ее в натуру – разработка проекта инженерного сооружения – детальная разбивка рабочих осей сооружения>.

С другой стороны, развитие информационных технологий сбора, компьютерных технологий обработки и интерпретации информации об условиях местности по данным инженерных изысканий, позволяют оперативно получать в необходимом объеме и с необходимой точностью значения, как пространственных параметров проектируемого инженерного сооружения, так и параметров учитываемых свойств местности, в том числе данных, характеризующих геодинамические процессы. В результате собираемая геодезическими и геолого-геофизическими методами и средствами информация об условиях местности значительно увеличилась в объеме и изменилась в качестве. Однако концепция традиционных ИИЗ трасс ЛИС не позволяет использовать в полной мере потенциал современных технологий для информационного обеспечения многовариантной, разработки проекта сооружения.

Все это определяет методологическую проблему, связанную с разработкой технологического процесса – получение оптимальной трассы в виде множества координат точек, идентифицируемых в трехмерном пространстве, а впоследствии и в пространстве и времени таких управляемых параметров, как длина и направление трассы, отвечающих оптимальному варианту размещения на местности каждого отдельно взятого элемента и в целом проектируемого сооружения.

«Задача проектирования формулируется следующим образом: разработать при некоторых ограничениях, обусловленных способом решения, элемент, систему или процесс, обеспечивающие оптимальное выполнение поставленной задачи при некоторых ограничениях, налагаемых на решение» [3]. Слова «при некоторых ограничениях» встречаются в этом определении дважды и имеют целью подчеркнуть, что при решении инженерной задачи имеют место ограничения двух видов. Одна группа ограничений относится к методу решения задачи и охватывает такие вопросы, как наличие знаний, сроки, производственные мощности (типовые конструкции опор и фундаментов, диаметров труб и т. д.). Другая группа ограничений относится к самому решению задачи и связана с действием таких факторов, как естественные (физические) ограничения, издержки методов решения.

Создание геоинформационных систем (ГИС) инженерного назначения с учетом фактора геодинамических процессов включает прогноз и оптимальное управление. Геодезические и геолого-геофизические методы и средства сбора и интерпретации данных о прикладных свойствах объектов земной поверхности в науке о Земле входят в ГИС. В большие системы автоматизированного

проектирования (САПР) инженерных объектов в качестве подсистем входят ГИС проектирования и оптимизации трасс инженерных сооружений линейного типа.

Таким образом, актуальной задачей прикладной геодезии является повышение эффективности технологического процесса ИИЗ трасс в решении задачи ресурсосбережения при проектировании оптимального пространственного положения линейного инженерного сооружения.

Отсутствием в свое время соответствующей технико-технологической базы для исследования в прикладном аспекте столь больших по площади территорий в ограниченные сроки вылилась в разработку традиционного технологического процесса ИИЗ трасс. В основу этого процесса положен метод полевого трассирования по данным запроектированного в камеральных условиях варианта трассы. Таким образом, традиционная технология ИИЗ практически направлена на информационное обеспечение разработки проекта трассы и не содействует созданию информационного обеспечения процесса многовариантного проектирования инженерного сооружения. Поэтому методология, положенная в основу традиционного технологического процесса инженерных изысканий трасс ЛИС, противоречит принципу оптимизации решения по пространственному положению проектируемого объекта.

Таким образом, проблема развития процесса ИИЗ в рамках прикладной геодезии, как науки и сопутствующих с ней других наук о Земле (инженерной геологии, геофизики, гидрологии и метеорологии), заключается в информационном обеспечении процесса многовариантного компьютерного проектирования в интерактивном режиме пространственных параметров ЛИС.

Тестирование проблемы заключается в ответе на вопрос: Это действительно проблема, а не симптом проблемы? Чем больше вопросов к формулировке проблемы, тем надежнее результат. Тип вопросов: Чья это проблема? Как долго существует эта проблема? Что случится, если ее не решать? И т.д.

Повышение эффективности процесса ИИЗ связано с необходимостью решения двух противоречивых задач. Задачи информационного обеспечения процесса многовариантного компьютерного проектирования ЛИС в среде САПР конкретного класса ЛИС и задачи минимизации затрат различных ресурсов для цели создания оптимальной «информационной среды», объем и качество которой отвечает поставленной цели.

В решении поставленной проблемы развития на инновационной основе ИИЗ трасс важная роль принадлежит геодезии, так как методами геодезии ведется определение пространственного состояния, как объектов проектирования, так и объектов природной и искусственной среды. Геодезисты, привлекая данные других наук о Земле, интерпретируют результаты наблюдений в единую систему, данные которой используются для обоснования конструктивно-строительных параметров будущего сооружения. При этом эффективность ИИЗ должна определяться по конечному результату, т.е. по критерию минимизации капитальных вложений в строительство.

Сложность процедуры оценки заключается в том, что экономический параметр недоступен для непосредственного измерения и может оцениваться

только косвенно по результатам геодезических и геолого – геофизических измерений параметров свойств ПИОМ. Кроме того, без учета результатов промежуточных проектных решений, в частности проекта варианта расстановки опор в анкерных пролетах для ВЛ, оценка вариантов трассы будет не состоятельной. Разработка же альтернативных вариантов проекта расстановки опор для ВЛ обуславливает необходимость проведения по каждому из вариантов инженерно-изыскательских работ, что невыполнимо по причине большого объема затрат различных ресурсов на эти цели.

Пути решения проблемы заключаются в применении нового методологического системно-структурного (ССП) и объектно-ориентированного (ООП) подходов к процессу информационного обеспечения экономически целесообразных и технически обоснованных решений при разработке проекта ЛИС на многовариантной основе [4].

Поэтому целью работы является разработка на новой методологической основе системно-структурного и объектно-ориентированного подходов информационной технологии сбора, обработки и интерпретации данных о свойствах ПИОМ, получаемых геодезическими и геолого-геофизическими методами и средствами, для информационного обеспечения процесса проектирования в среде САПР экономически обоснованных и технически целесообразных вариантов решений по пространственному положению проектируемых ЛИС

Формулировка цели, так же как и формулировка проблемы должна подвергнуться тестированию по системе СИДРО. Это значит, что необходимо получить положительный ответ на следующие вопросы: специфичность цели, изменяемость результатов, достижимость (по имеющимся ресурсам), реалистичность (найдет ли применение найденное решение проблемы), обозримость во времени получение решения. Естественно, если будет получен отрицательный ответ хотя бы на один вопрос, формулировку цели необходимо будет скорректировать. Заметим, что цель в процессе исследования (разработки) процесса, задачи и т.д. может претерпевать существенные изменения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра. – 1981. – 440 с.
2. Ловягин В.Ф. Концептуальные положения моделирования ГИС-технологии процесса оптимизации трасс инженерных сооружений по данным геодезических и геолого-геофизических наблюдений // Изв. вузов «Геодезия и эрофотосъемка». – 2005. – № 2. – С. 27–41.
3. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. М.: Мир, 1969. – 440 с.

4. Гарди Буч. Объектно-ориентированное проектирование с примером применения на С++. – М.: «Издательство Бином», СПб.: «Невский диалог», 1998. – 560 с.
5. Ловягин В.Ф. Альтернатива развития инженерных изысканий – структурная оптимизация технологического процесса // Геодезия и Картография. – 2006. – № . – С. 30–35.
6. Ван Гиг. Дж. Прикладная общая теория систем: в 2 кн. / Дж. ван Гиг. – М.: Мир, 1981. – 734 с.

© Л.Ю. Гладун, В.Ф. Ловягин, 2008

УДК 528.91:004

В.Н. Полещенко

ОАО ПИ «Новосибгражданпроект», Новосибирск

Л.С. Любивая

СГГА, Новосибирск

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СРЕДЕ MAPINFO

V.N. Poleshchenkov

Public corporation projecting institute «Novosibgrazhdanproekt», Novosibirsk

L.S. Lyubivaya

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

ELEMENTS OF DESIGNING IN MAPINFO ENVIRONMENT

MapProject is a program product using an engineering model, which makes it possible to considerably save designing time of external engineering networks such as sewerage nets, rainwater disposals, watersupply lines, gas lines, heating systems, roads and railways. MapProject provides: establishment of red lines; designing of general plans as concerns mass and volume of the ground; development of DTMs (for relief and for development); tracing of broken lines with random pacing and curvature radii, transitional curved lines; tracing of curved lines by chords with random pacing; tracing of routes; construction of random nets in random closed area by different sets of pacing (X- direction and Y- direction); cross- and transversal profile construction for all the above mentioned networks with geological information on them being presented as well as underground services, geological sections; construction of random slopes; optimization of roadbed edge for embankments and depressions; calculations of volumes for ground works; making catalogues of coordinates for any curved and broken lines and templates for both fixed and random sizes; raster substrates of different scales for fast visualization in MapInfo.

MapProject is useful for raster adjustment; processing of aerial photographs and space images with both certain and unknown parameters of photographing as well as photographs taken by unprofessional cameras from any reasonable distance. Processing of photographs and adjustment of rasters are connected with actualization of topographic plans for designing and making reference plans to be used as a basis for general plans of cities and settlements.

There are no special terms for “designing” and “drawing”.

MapProject – программный продукт, позволяющий существенно сократить время проектирования внешних инженерных сетей, таких как канализация, ливневая канализация, водопровод, газопровод, тепловые сети, дороги, железные дороги. MapProject выполняет установление красных линий,

проектирование генеральных планов в части построения плана земляных масс и объемов земляных масс, построение цифровой модели рельефа земли (ЦМР-земля), построение цифровой модели проектной земли (ЦМР-проект), трассирование ломаных с произвольными шагом, радиусами кривых и переходных кривых, трассирование кривых по хордам с произвольным шагом, трассирование по пути, построение произвольных сеток в произвольной замкнутой области и набором различных шагов по оси X и по оси Y, построение профилей как продольных, так и поперечных для всех выше перечисленных сетей с отображением геологической информации на них и подземных коммуникаций, геологических разрезов, построение произвольных откосов, оптимизирование оси бровки земляного полотна трассы по насыпи и выемке, вычисление объемов земляных работ, выдачу каталогов координат по любым кривым и ломаным, формирование штампа как для фиксированных форматов, так и произвольных, организацию растровых планшетов различных масштабов для быстрой их визуализации в MapInfo.

MapProject так же позволяет выравнивать растры, обрабатывать аэрофотоснимки, космические снимки с известными и неизвестными параметрами фотографирования и снимки, сделанные непрофессиональными камерами с любого разумного расстояния. Обработка снимков и выравнивание растров связана с актуализацией топографических планов для целей проектирования, созданием опорных планов, служащих основой для создания генпланов городов и поселков.

Все это основано на динамической инженерной модели. Поверхности, профили, пояснения и другие элементы модели находятся в динамической взаимосвязи. Это дает возможность автоматически обновлять их и избегать проектных ошибок. Можно подбирать альтернативные варианты, принимать обоснованные решения и выводить обновленные планы, профили и другие графические документы на печать с минимальным ручным редактированием. Отдельных понятий «проектирование» и «вычерчивание» больше нет. Данный продукт функционирует в среде MapInfo, которая сама по себе является мощнейшим инструментом настольной картографии и геоинформационной системы.

Концепция проектирования в MapProject заключается в том, что при решении всех выше перечисленных задач инженер-проектировщик излагает свое решение не в виде готового чертежа с учетом всех требований по его оформлению и содержанию и который он создает шаг за шагом, используя графические примитивы, а в виде объектов MapInfo (точечный, линейный, площадной и текстовый, при этом, цвет и толщина этих объектов, как правило, не играют никакого значения), которые сообщают MapProject, что нужно сделать. Чертежи и необходимые к ним расчеты формируются автоматически по инженерной модели, связанной с конкретной задачей; внесение изменений в модель приводит к изменению рабочей документации, в том числе обозначений и таблиц. Данный подход позволяет инженеру-проектировщику исследовать альтернативные варианты и находить оптимальные решения с учетом всех факторов в сжатые сроки. Документация в окончательном виде

подготавливается в общепринятых стандартах и требует незначительных корректировок для окончательного представления.

Для передачи смысловой и количественной информации точечным, линейным и площадным объектам используются текстовые объекты, образующие информационные слова и предложения. Все информационные слова, входящие в одно информационное предложение, отделяются друг от друга символом «;». Каждое информационное слово может состоять из сокращенного понятия, которое максимально приближено к теме (задаче) проектирования, за которым может следовать или не следовать дополнительная буквенная и/или числовая информация, разделенная знаками препинания, отличными от символа «;». Кроме информационных слов и предложений, исходная информация для проектирования может поступать из таблиц MapInfo.

Информационные слова или предложения с определенной точностью прикрепляются к точечным, линейным или площадным объектам MapInfo, при этом точность их позиционирования зависит от конкретной задачи и самой информации, так например: температура теплоносителя может быть задана в любом месте проектируемой теплотрассы, диаметр трубы может быть задан между колодцами в любом месте, точечная нагрузка, тип колодца, отметка должны быть прикреплены к узлу snappingом или пододвинуты к заданному месту как можно ближе. Количество информационных слов или предложений, прикрепленных к одному месту, не ограничено. Поворот текста, его размер и цвет не имеет значения за исключением тех задач, где эта функция будет уточнена. Информационное слово или предложение можно вращать вокруг верхнего левого маркера, при этом оно свое местоположение не меняет. Все информационные слова и все слова, входящие в информационное предложение, будут иметь прямоугольные координаты верхнего левого маркера текстового объекта, в который они входят. Дополняя информационные слова и предложения линейными, площадными, точечными объектами и при необходимости моделями ЦМР- земля и ЦМР- проект, описанием подземных коммуникаций, для которых существует свой язык сокращений, получаем инженерную модель. Все проектирование во всех вариациях инженер-проектировщик выполняет на этой инженерной модели. Конечный результат, оформленный по ГОСТ, получается после выделения инженерной модели и запуска задачи из меню MapProject, соответствующей данному набору данных.

Изменяя инженерную модель, мы изменяем конечный результат!

В процессе решения задач создаются слои с зарезервированными именами, которые содержат результаты проектирования в форматах mid, mif, tab, и txt:

- ЦМР_регулярная_сетка.mif – слой, содержащий цифровую модель рельефа земли в виде регулярной сетки.

- ЦМР_регулярная_сетка.mid- слой отметок в узлах регулярной сетки, содержащейся в ЦМР_регулярная_сетка.mif.

- ЦМРП_регулярная_сетка.mif – слой, содержащий цифровую модель рельефа проектной земли в виде регулярной сетки.

- ЦМРП_регулярная_сетка.mid- слой отметок в узлах регулярной сетки, содержащейся в ЦМР_регулярная_сетка.mif.

- Горизонтالي.tab- слой шаблон, предназначенный для описания рельефа в виде отвектаризованных горизонталей, отдельных отметок, откосов и структурных линий.
- Проект.tab- слой шаблон, предназначенный для проектирования и содержащий инженерную модель; кроме этого слоя для проектирования можно открывать слой с произвольным именем средствами MapInfo.
- trassa.tab - слой, содержащий результат трассирования линейных объектов.
- Откосы.tab-слой, содержащий построенные откосы в строгом соответствии с их графическим представлением на плане.
- План_трассы.tab- слой, содержащий оформленный по ГОСТ план трассы (трасса- любая проектируемая инженерная сеть, в том числе и дороги).
- Профиль.tab - слой, содержащий оформленный по ГОСТ продольный профиль для любой трассы.
- Поперечный_профиль.tab- слой, содержащий оформленный по ГОСТ поперечный профиль для любой трассы.
- Сетка.tab- слой, содержащий построенную сетку, которая, как правило, служит исходной информацией для других задач, например, картограммы земляных масс. Как самостоятельное решение, это может быть строительная сетка, разбивочная сетка, сетка планшетов, плиточная сетка, заштриховка и т. д.
- План_земляных_масс.tab- слой, содержащий план земляных масс и ведомость объемов земляных масс, оформленный по правилам выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов.
- Геологический_разрез.tab- слой, содержащий геологический профиль, проходящий через указанные скважины, с выделением на нем всех инженерно-геологических слоев, состоянием грунтов, физико-механических свойств грунтов и уровнем грунтовых вод и т. д.
- штамп.tab- слой, содержащий штамп для любого формата бумаги и любого масштаба, оформленный по ГОСТ.
- Каталог.tab- слой, содержащий вектор, установленной красной линией, с номерами вершин.
- Объемы_земляных_работ.txt- текстовый документ, содержащий ведомость объемов для трассы.
- Отчет.txt- текстовый документ, содержащий для каждой задачи свою информацию, например: для задачи «каталог» – каталог координат для установленных красных линий, оформленный по ГОСТ, для других задач – просто служебную информацию.

Данные слои размещаются в каталоге ПО MapProject, если не был открыт проект, или в каталоге открытого проекта.

Все идеи и технические решения, а также сама реализация данного продукта выполнена и разработана к.т.н. Полещенковым В.Н., а практическая проверка к.т.н. Любивой Л.С.

Данный продукт – это собственный взгляд авторов на возможные пути развития процесса автоматизации проектирования (САПР). Реализованный в данном объеме и внедренный в практику проектирования он подтвердил свое право на жизнь.

© *В.Н. Полещенков, Л.С. Любивая, 2008*

УДК 528.4

Л.А. Максименко

СГГА, Новосибирск

А.В. Лубягин, В.А. Ткаченко, С.В. Романенко

ООО ПСК «Фундамент», Новосибирск

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЭКСПЛУАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

L.A. Maksimenko

SSGA, Novosibirsk

A.V. Lubyagin, V.A. Tkachenko, S.V. Romanenko

«Fundament» limited liability company, Novosibirsk

GEODETIC MONITORING OF CONSTRUCTION- PROJECTS IN OPERATION PERIOD

Current civil engineering comprises designing, construction and maintenance of buildings and structures. At all the stages geodetic works are needed which form the basis for scientific-and-practical work for monitoring of buildings and structures. Nowadays there is no uniform methodological- and- instrumental approach to the development of monitoring systems of capital- construction projects, that's why the experience of operating buildings monitoring should be studied, to improve designing, construction and maintenance of the projects under construction.

Обоснованием для проведения геодезического мониторинга, т. е. наблюдения за осадками зданий (сооружений) высокоточным нивелированием, являются нормативные документы. Так, например, согласно действующим нормативным документам (СНиП 3.01.03-84, пункт 1.2), в состав геодезических работ, выполняемых на строительной площадке, входят геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора. Методы и требования к точности геодезических измерений деформаций оснований зданий (сооружений) принимаются по ГОСТ 24846-84. Создание геодезической разбивочной основы для строительства и геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей в процессе строительства являются обязанностью заказчика. Производство геодезических работ, в процессе строительства, геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки входят в обязанности подрядчика. Такие исследования выполняются по специальному техническому заданию, которое составляется проектной организацией исходя из особенностей конструкций здания (сооружения).

Измерения деформаций оснований фундаментов строящихся зданий и сооружений проводят в течение всего периода строительства и в период эксплуатации до достижения условной стабилизации деформаций, устанавливаемой проектной или эксплуатирующей организацией. Измерения деформаций оснований фундаментов зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации проводят в случае появления недопустимых трещин, раскрытия швов, а также резкого изменения условий работы здания или сооружения. По ГОСТ 24846-84 (пункт 1.6, таблица 1, строка 2) погрешность измерений не должна превышать 2 мм, что соответствует второму классу точности измерений (таблица 2, строка 2). Для обеспечения точности измерений устанавливают три глубинных репера, которые размещают вне зоны распространения давления от здания или сооружения. Деформационные марки для определения вертикальных перемещений устанавливаются в нижней части несущих конструкций по всему периметру здания (сооружения). При необходимости марки размещают внутри здания, в том числе на углах, на стыках строительных блоков, по обе стороны осадочного или температурного шва, в местах примыкания продольных и поперечных стен, на поперечных стенах в местах пересечения их с продольной осью, на несущих колоннах, вокруг зон с большими динамическими нагрузками. Точки наблюдения (осадочные марки) закладываются в процессе строительства, и составляется программа измерения.

В ООО ПСК «Фундамент» (г. Новосибирск) накоплен достаточно большой опыт измерения осадок строящихся и существующих зданий (более двадцати объектов), разработаны методики размещения марок, производства геодезических работ и обработки полученных результатов измерений. Характерные примеры графиков наблюдения за осадками приведены на рис. 1 и 2.

Геодезические наблюдения за строящимися и существующими зданиями были организованы с 2004 и ведутся по настоящее время. В качестве осадочных марок используются стальные дюбели.

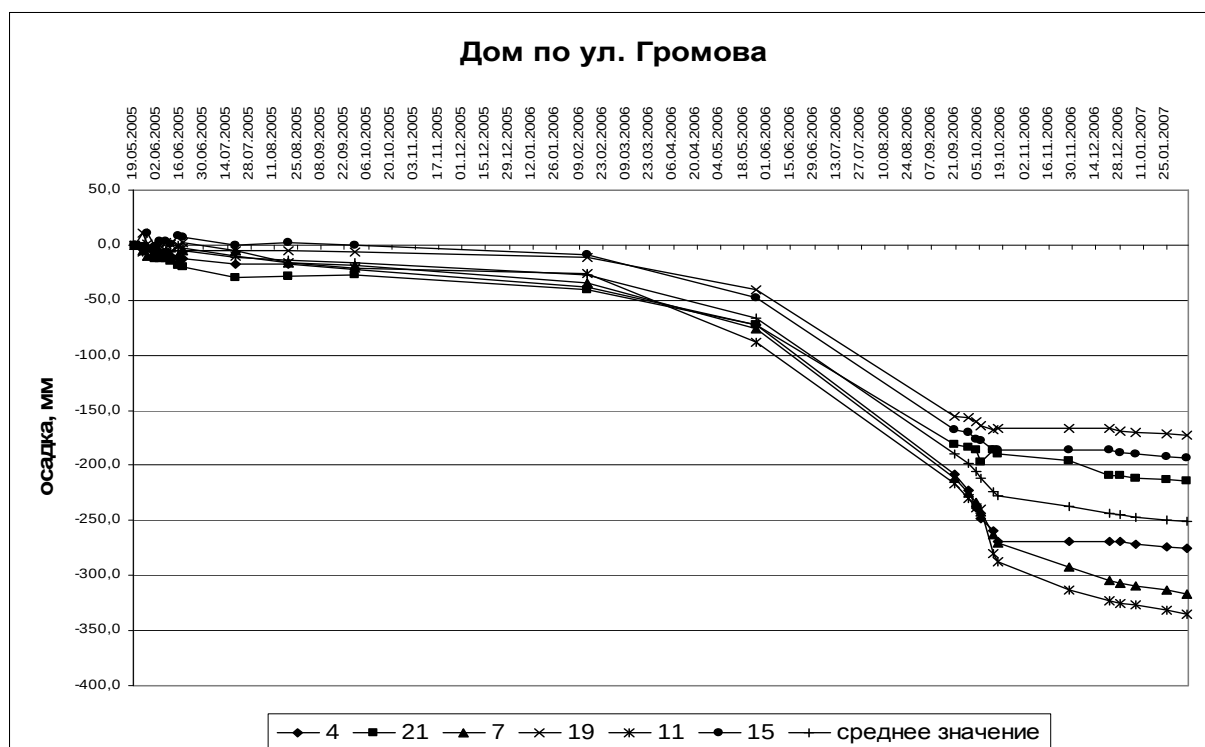


Рис. 1. Графики изменения осадки здания по ул. Громова

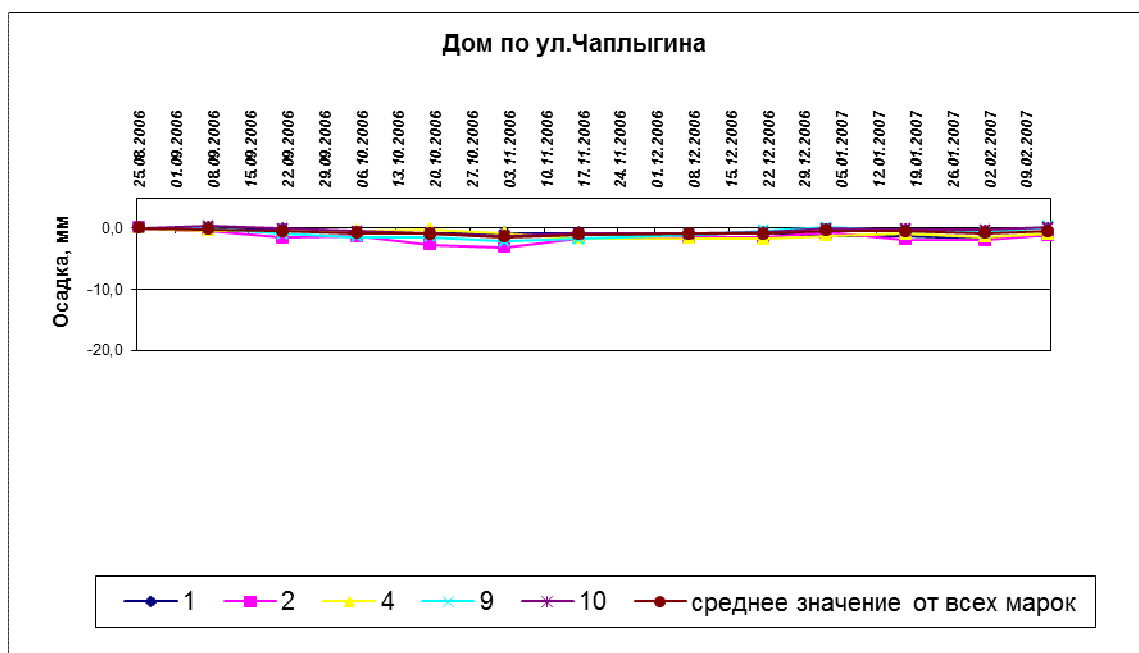


Рис. 2. Графики изменения осадки здания по ул. Чаплыгина

Данные о результатах инструментальных наблюдений за осадками необходимы не только в период строительства, эксплуатации или переустройства зданий (сооружений). Такие сведения нужны при оценке их технического состояния, т.к. эти результаты являются одной из важнейших составляющих инженерного кадастра и мониторинга здания (сооружения).

Инженерный мониторинг зданий (сооружений) должен включать в себя комплексную систему наблюдений за состоянием строящегося объекта, оценку результатов наблюдений и разработку прогноза изменений состояния объекта и окружающих его строений как после завершения строительства, так и на весь последующий период его эксплуатации.

© Л.А. Максименко, А.В. Лубягин,
В.А. Ткаченко, С.В. Романенко, 2008

УДК 528.48:5.011

Л.Ю. Гладун, В.Ф. Ловягин

СГГА, Новосибирск

РЕШЕНИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МНОВОВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

L.Y. Gladun, V.F. Lovyagin

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

SOLUTION OF METHODOLOGICAL PROBLEM ON ENGINEERING SURVEYS DATAWARE FOR MULTIVARIANT DESIGNING OF LINEAR CONSTRUCTIONS

The authors put forward a variant of the vital problem solution. It is connected with engineering surveys dataware for multivariant designing of linear constructions by means of system-structural and object-oriented approaches to collecting, processing and interpretation of information on the conditions of the area to be developed.

Усиление динамических процессов в различных сферах Земли усложняет установление и оценку их взаимной связи с конструктивными параметрами проектируемого инженерного сооружения. Поэтому проблема оптимизации трасс в аспекте экономической эффективности проектируемого инженерного сооружения, оставаясь нерешенной, породила во второй половине XX в. множество разработок как у нас в стране, так и за рубежом. Характерным для всех известных работ является то, что эту проблему пытались решить в пределах одной процедуры: путем модернизации существующей технологии инженерных изысканий трасс с использованием традиционной методологической базы решения задачи оптимизации. Практически все известные разработки (например, система Cгес10 или Trassopti) ориентированы на решение проблем автоматизации сбора и обработки информации в рамках традиционной парадигмы инженерных изысканий трасс. Такой подход к решению проблемы оптимального проектирования не способствует разрешению противоречий традиционной технологии.

Если эффективность традиционных методов принятия решений построена в основном на интуиции и прошлом опыте специалиста-изыскателя [1], то теперь на передний план выдвинулась задача теоретического обоснования, планирования и моделирования программы эксперимента.

Таким образом, для предотвращения негативных явлений в использовании различных ресурсов при проектировании и строительстве необходимо осуществлять многовариантное моделирование и оптимизацию компоновочных

решений по пространственному размещению проектируемого объекта на местности с оценкой вариантов по критерию минимизации затрат на его строительство. Решение поставленной проблемы тесно связано с процессом познания закономерностей влияния свойств ПИОМ на экономическую эффективность нового строительства.

Математическое моделирование оптимизационных процессов в инженерном деле опирается, прежде всего на данные о строении, составе и физических свойствах как природных объектов, относящихся к геосферам Земли (литосфере, атмосфере, гидросфере и др.), так и объектов, относящихся к искусственной среде, созданной человеком. Геодезические и геолого-геофизические наблюдения свойств ПИОМ ведутся методами физической геодезии, космической геодезии, методами аэро-, фото- и космической съемки. Поэтому процесс сбора, обработки и интерпретации разнородных геодезических и геолого-геофизических наблюдений в теории систем рассматривается как динамическая ГИС, направленная на решение прикладных задач, в том числе проектирования инженерных сооружений [5]. Прикладные ГИС относятся к стационарным (не зависящим от параметра времени) системам и входят в структуру вышестоящей САПР определенного класса инженерных сооружений в качестве подсистем.

Методологическая основа решения рассматриваемой проблемы такова. Система геодезических, геофизических и других наблюдений, их обработки, интерпретации и принятия решений является системой с распределенными природными компонентами. Природными компонентами (объектами) являются как физическая поверхность Земли, так и геофизическая среда (литосфера, гидросфера, атмосфера и т. д.). Сложность системы с природными компонентами определяется сложностью проблемы, сложностью управления процессом разработки, сложностью обеспечения гибкости конечного информационного продукта и сложностью описания отдельных подсистем [2]. Эти характерные особенности сложных систем с природными компонентами обуславливают сложность решения проблемы оптимизационного проектирования технических систем, в частности ГИС-оптимизации трасс линейных инженерных сооружений. Из существующих методов, которые направлены на решение растущей сложности систем (метод структурного проектирования или метод организации потоков данных и т. д.), метод объектно-ориентированного проектирования (ООП) наиболее полно отвечает решению проблемы оптимизации трасс инженерных сооружений. Организованная таким образом система рассматривается как упорядоченная совокупность объектов на различных иерархических уровнях, которые в процессе взаимодействия друг с другом обеспечивают функционирование системы как единого целого. Поскольку проектирование осуществляется в пространстве регулируемых параметров системы $X(x, y, g)$, то управление процессом заключается в многошаговом целенаправленном изменении состояния системы в некоторых дискретных точках этого пространства.

Поскольку необходимо исследовать местность на больших пространствах, структура ГИС-технологии пространственной оптимизации трасс

представляется в виде иерархических уровней, определяющих последовательность процессов сбора, обработки и интерпретации геодезических и геолого-геофизических данных о свойствах ПИОМ. Разделение на иерархические уровни технологического процесса осуществляется на основе методологии объектно-ориентированного подхода по критерию степени детализации информации о свойствах природных и искусственных объектов местности[4].

В теории сложных систем количество взаимозависимых подсистем и выбор низшего уровня формализации трактуется как произвольная задача и определяется разработчиком [6]. Анализ производственных материалов технологического процесса инженерных изысканий трасс позволил обосновать структуру этого геоинформационного процесса (гипотезу состояния исследуемого объекта), определив ее как геоинформационную трехуровневую иерархическую систему оптимизации трасс [2, 5].

На первом уровне моделирование системы целесообразно осуществлять по данным о свойствах ПИОМ, почерпнутых, в основном, из фондовых, справочных и других материалов исследования территории, где намечено строительство. Интерпретируя собранную информацию, построим экономико-цифровую модель местности (ЭЦММ) в пределах ОП. Поскольку информация, собираемая о районе, где намечено строительство, представляет собой множество сведений разной достоверности, процесс оптимизации трасс на первом иерархическом уровне ориентирован не на поиск собственно трассы, а на поиск неких «перспективных зон» (ПЗ), пространственное положение которых представляется множеством сравнительно узких полос внутри ОП. Оценка вариантов ПЗ осуществляется по экономическому критерию

$$\min F(R),$$

$$R \in RD$$

$$RD = \{R \mid f(R) \geq 0, g(R) = 0\},$$

где $F(R)$ – целевая функция или сумма капитальных затрат (R); RD – область ограничения значений параметра R .

Это выражение означает, что нужно найти минимум функции $F(R)$ в пределах области RD пространства управляемых пространственных параметров заданной ограничениями типа неравенств $f(R) \geq 0$ и равенств $g(R) = 0$.

Второй уровень функционирования системы связан с оптимизацией параметров пространственной модели, сформированной уже на основе проведенной детализации информации о свойствах ПИОМ в пределах ПЗ. Уточненные данные о свойствах ПИОМ позволяют формировать в плоском пространстве ПЗ такую модель местности, которая способствует проведению процедуры генерации ограниченного множества вариантов «трассировочных полос» (ТП) с последующей оптимизацией альтернативных вариантов ТП по критерию минимизации линейного параметра

$$L_{\text{ОПТ}} = \min L_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$L_i \in (w)$$

Заметим, что процедура параметрической оптимизации ТП по линейному параметру на втором иерархическом уровне приводит к дальнейшей локализации пространства поиска оптимальной трассы по сравнению с ПЗ. Это обстоятельство создаст благоприятные предпосылки для реализации третьего уровня технологического процесса – формирования трехмерной ЦММ с соответствующей БД.

Целью третьего уровня геоинформационного технологического процесса является создание в пределах оптимальной ТП прикладной трехмерной ЦММ по данным топографической съемки и данным геолого-геофизических исследований местности. ЦММ позволяет в интерактивном режиме осуществлять проектирование множества альтернативных вариантов пространственного расположения на местности инженерного объекта. Например, вести по модели местности расстановку опор с использованием полных расчетных пролетов ВЛ, что ведет к оптимизации использования различных ресурсов при строительстве. Эта процедура является недоступной при традиционной технологии проектирования.

Результаты проведенных исследований существующего технологического процесса инженерных изысканий трасс на новой методологической основе системно-структурного и объектно-ориентированного подходов легли в основу разработки концепции геоинформационной системы оптимизации трасс инженерных сооружений по геодезическим и геолого-геофизическим данным о свойствах ПИОМ [1, 5]. Концепция направлена на оптимальное решение проблемы поиска в исходном пространстве ОП предельно узкой трассировочной полосы местности между начальной и конечной точками трассы с оптимальным сочетанием свойств ПИОМ (в аспекте минимизации влияния их на стоимость сооружения проектируемого объекта). Формирование в пределах ТП прикладной трехмерной ЦММ по геодезическим и геолого-геофизическим данным о свойствах ПИОМ создает условия для осуществления в интерактивном режиме (методами и средствами САПР проектирования инженерного объекта многовариантной компоновки с последующей оптимизацией решения по экономическому критерию. Концепция процесса оптимизации трасс направлена на преодоление противоречия традиционной технологии линейных инженерных изысканий путем реализации технологической формулы сбор ч обработка информации о местности—моделирование—оптимизация параметров трассы—разработка проекта—вынос трассы в натуру. При этом создаются условия организации управления технологическим процессом с полномерным использованием цепи обратной связи с непосредственной оценкой качества геодезических и геолого-геофизических работ в аспекте эффективной реализации проектируемого инженерного сооружения.

Таким образом, процесс инженерных изысканий трасс эволюционирует в направлении создания геоинформационной среды для решения задач многовариантного проектирования инженерных сооружений в автоматизированном режиме. При этом процесс сбора, обработки и

интерпретации информации о свойствах ПИОМ рассматривается как сложная, иерархически организованная геоинформационная система.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра. – 1981. – 440 с.
2. Ловягин, В.Ф. Концептуальные положения моделирования ГИС-технологии процесса оптимизации трасс инженерных сооружений по данным геодезических и геолого-геофизических наблюдений // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2005. – № 2. – С. 27–41.
3. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. М.: Мир, 1969. – 440 с.
4. Гарди Буч. Объектно-ориентированное проектирование с примером применения на С++. – М.: «Издательство Бином», СПб.: «Невский диалог», 1998. – 560 с.
5. Ловягин В.Ф. Альтернатива развития инженерных изысканий – структурная оптимизация технологического процесса // Геодезия и Картография. – 2006. – С. 30–35.
6. Ван Гиг. Дж. Прикладная общая теория систем: в 2 кн. / Дж. ван Гиг. – М.: Мир, 1981. – 734 с.

© Л.Ю. Гладун, В.Ф. Ловягин, 2008

УДК 528.48

Д.Б. Новоселов

НГАСУ, Новосибирск

СЪЕМКА ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА И ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА CREDO-DAT

D.B. Novosyolov

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

SURVEYING OF CRANE TRACKS WITH TOTAL STATIONS AND CREDO-DAT PROGRAM PRODUCT

A new approach is demonstrated as concerns surveying of crane tracks with a total station and automated processing of materials (Creo-dat program) in order to receive horizontal and vertical position of crane tracks. While processing the materials of the admissible deviations from the planned range–line the crane tracks can be displayed so that X-coordinates between outer columns are equal up to 1mm.

Съемка подкрановых путей производится с применением традиционных методов. Например, боковое нивелирование головок рельсов с несколькими косыми створами, веерообразное нивелирование головок рельсов и измерение расстояний между осями рельсов очень трудоемка и продолжительна по времени. Предлагается применить новый подход съемки подкрановых путей с применением тахеометра и обработке материалов на компьютере в современных программах.

Для равномерного распределения нагрузки от массы кранов и поднимаемых ими грузов на подкрановые конструкции, подкрановые пути должны соответствовать следующим требованиям:

1. Подкрановые балки должны быть горизонтальны и взаимно параллельны.
2. Рельсы должны быть горизонтальны, прямолинейны, параллельны и лежать в одной горизонтальной плоскости.
3. Расстояние между осями рельсов должны соответствовать номинальным расстояниям между вертикальными осями колес крана.

Допустимые отклонения параметров крановых путей, регламентируемые нормативными документами [1, 2, 3], приведены в табл. 1.

Съемка подкрановых путей была произведена в главном корпусе Кузнецкой ТЭЦ г. Новокузнецка. Трудность измерений состояла в протяженности путей (320 м) и отсутствии прохода по подкрановым балкам.

При геодезической съемке подкрановых путей применена следующая программа работ:

1. Рекогносцировка и технический осмотр подкрановых путей;
2. Закрепление (точная маркировка центров головки рельса) четырех опорных пунктов;
3. Геодезическая съемка подкрановых путей.

Перед началом полевых работ была выполнена рекогносцировка и технический осмотр путей. Были определены места установки инструмента на кранах, выбрано наиболее удобное положение для ведения работ, выполнены зарисовки кранового пути, местоположения кранов и колонн.

Таблица 1. Допустимые отклонение параметров крановых путей

№ п/п	Наименование допуска	Допустимое значение для мостовых кранов, мм
1	Разность отметок головок в одном поперечном сечении: на опорах	40
2	Разность отметок крановых рельсов на соседних колоннах при расстоянии между колоннами: менее 10 м свыше 10 м	15 20
3	Отклонение в расстояниях между осями крановых рельсов	15
4	Отклонение рельса от прямой линии на участке 40 м	20

Геодезическая съемка путей была выполнена электронным тахеометром (Nikon NPL-632, точность угловых измерений 2 сек., линейных измерений по призме - $(3+2 \text{ ppm} \cdot D) \text{ мм}$), в шаблоне измерений угловых и линейных величин.

Отражатели были установлены точно на центр рельса с помощью специально выполненного приспособления, обеспечивающего принудительную установку отражателя на центр рельса.

Съемка выполнялась с крана т1 (рис. 1), на втором кране двое замерщиков устанавливали отражатели на головку рельса напротив опор и на опорных пунктах. Затем съемка выполнялась со второго крана т2 (рис. 1). Зона перекрытия (двойные измерения) составила 70 процентов от длины всего пролета (рис. 1).

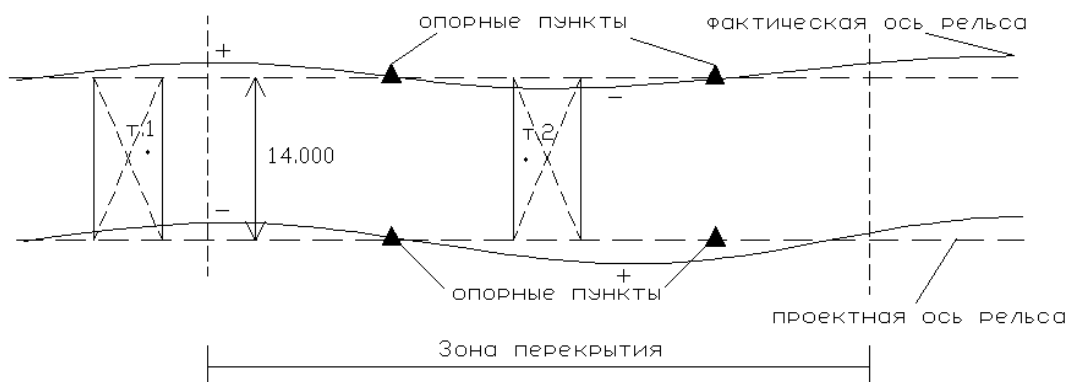


Рис. 1. Схема подкрановых путей

Съемка на каждой колонне (в зоне перекрытия) была выполнена дважды, и затем результаты измерений усреднялись.

Вся обработка результатов измерений была выполнена в программе Credo-dat. Исходными для вычислений координат послужили четыре опорных пункта.

Для удобства вычислений плановых отклонений от проектного створа в программе Credo-dat развернули подкрановые пути, чтобы координаты по оси X между крайними колоннами были равны друг другу до мм. Проектные координаты концов второго рельса вычислялись путем отнимания проектного расстояния от конца первого рельса, затем вычислялись отклонения от створа.

Смещению рельса в плане был присвоен знак "+", если рельс уклонился на внешнюю сторону пролета и "-", если рельс уклонился внутрь кранового пути.

Продольные профили по каждому рельсу были выполнены в программе Microstation в горизонтальном масштабе 1:200 и вертикальном – 1:2.

Предложенная методика съемки подкрановых путей с помощью тахеометра экономически выгоднее и затрачиваемое время на выполнение измерений меньше чем при применении традиционных методов съемки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Минстрой России). – М.,- 1997. – 44с.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. -70с.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, ПБ 10-382-00. – М.: ПИО ОБТ, 2000.
4. Жуков, Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий. Министерство образования Российской федерации. Новосибирск: СГГА, 2003.
5. Жуков, Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. Министерство образования Российской федерации: Новосибирск: СГГА, 2003.

УДК 528.475

Г.А. Гринь

ПТФ «Возрождение», Сургут

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

G.A. Grin

«Vozrozhdenie», Underwater Engineering Company, Surgut, Russian Federation

P.P. Mursinzev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plahotnogo St/Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GEODETIC MONITORING OF OIL-AND-GAS PIPELINES IN WEST SIBERIA

In article problems on diagnostics of a technical condition of underwater transitions are defined. One-beam and multibeam recommendations about application are developed for the rivers of Western Siberia.

На территории Российской Федерации действует уникальная по протяжённости, сложности и производительности система трубопроводов для транспортировки природного газа, нефти и нефтепродуктов.

Эта система является одним из самых крупных инженерных сооружений XX века.

Трубопроводный транспорт по своей физической сущности и инженерным решениям наиболее безопасный способ доставки пожаровзрывоопасных жидких и газообразных углеводородов. Однако эта безопасность обеспечивается при выполнении целого ряда обязательных условий, в числе которых такие, как: соблюдение всех нормативных требований при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводных систем, использовании при проектировании и строительстве современных методов, использовании современных средств диагностики и мониторинга трубопроводных систем и т.д.

В системе обеспечения надёжности и безопасности трубопроводного транспорта наибольшую сложность представляют пересечения газопроводами и нефтепроводами рек, каналов, озёр и водохранилищ – подводные переходы или дюкеры.

Только на магистральных газопроводах ОАО «Газпром» эксплуатируется 1620 переходов (2529 ниток общей протяжённостью в русловой части 1445 км), из них 253 перехода (483 нитки) через судоходные реки. На магистральных

нефтепроводах насчитывается около 2 тыс. переходов через водные преграды. Ещё большее число подводных переходов на промысловых и распределительных трубопроводах.

С точки зрения взаимодействия с окружающей средой дюкеры через водные преграды являются наиболее уязвимыми и подверженными отрицательному воздействию со стороны природных факторов, участки трубопроводов. На каждом из этих участков при их строительстве всегда нарушается естественный природный процесс, а трубопроводы, в свою очередь, подвержены определённым специфическим воздействиям, зачастую труднопрогнозируемым.

Подавляющее большинство подводных переходов построено траншейным способом непосредственно в руслах рек и в водоёмах. Несмотря на достигнутые успехи в прокладке дюкеров таким способом, самому методу присущи недостатки, которые снижают уровень долговременной надёжности подводных переходов.

Участки подводных переходов, по указанным причинам являются постоянными зонами риска.

Аварии на подводных переходах наносят огромный экономический ущерб, а ликвидация аварий неизмеримо более трудоёмкий и долговременный процесс, чем на сухопутной линейной части.

Для безопасной работы подводных переходов трубопроводов необходимо выполнение качественного контроля при строительстве, а также производство регулярных обследований с применением самых передовых технологий.

Руководящим документом при мониторинге подводных переходов ОАО «Газпром» на данный момент является РД 51-3-96 «Регламент по техническому обслуживанию подводных переходов магистральных газопроводов через водные преграды».

В спектр задач по диагностике технического состояния подводного перехода входят следующие задачи:

1. Геодезический контроль планово-высотного положения трубопровода на сухопутных (береговых) участках подводного перехода, включающий в себя также топографическую съёмку рельефа, ситуации в пределах охранной зоны трубопровода.

2. Геодезический контроль планово-высотного положения трубопровода на подводных (русовых) участках подводного перехода.

3. Съёмка дна водной преграды (не только в пределах охранной зоны).

4. Обнаружение и предварительная оценка линейных размеров оголённых и провисающих участков подводного трубопровода и наличия посторонних предметов на дне.

5. Производство водолазных спусков с применением подводной видеоаппаратуры, для уточнения и детализации полученных данных.

На нашем предприятии внедрён и успешно используется приборный комплекс для геодезического контроля строительства и мониторинга технического состояния подводных переходов, для объектов любой сложности и протяжённости. Состав приборного комплекса не является жёсткой замкнутой

структурой, он представляет собой набор компонентов, решающих определённый перечень задач. Компоненты составляются исходя из методики обследования, особенностей объекта и сезона проведения работ. Некоторые компоненты подобраны таким образом, чтобы производился взаимный контроль данных, полученных различными приборами и методами сбора информации.

После окончания этапа сбора данных осуществляется интегрированный процесс анализа и комплексной обработки, по завершению которого формируются необходимые отчётные материалы.

В качестве примера рассмотрим вариант комплекса для обследования подводных переходов через водные преграды в летний период времени.

В решении задач по геодезическому контролю планово-высотного положения трубопровода на береговых участках подводного перехода целесообразно использовать ручную трассопоисковую систему с генератором сигнала, подключаемым к трубопроводу.

Для топографической съёмки рельефа и ситуации, наиболее эффективно применение геодезической GPS аппаратуры, электронных тахеометров.

На некоторых объектах, с развитой надземной системой коммуникаций и сооружений, относящейся к трубопроводу, возможно применение безотражательных электронных тахеометров или цифровых лазерных сканеров.

При съёмке рельефа и ситуации подводной части перехода могут применяться промерные эхолоты – однолучевые (с разновидностями в виде эхотралов) и многолучевые.

При съёмочных работах с использованием однолучевых эхолотов проектируется сетка промерных галсов, по которым необходимо пройти промерному судну. В результате, по окончании работы мы получаем набор дискретных профилей глубин, по которым то или иное программное обеспечение моделирует подводный рельеф (рис. 1).

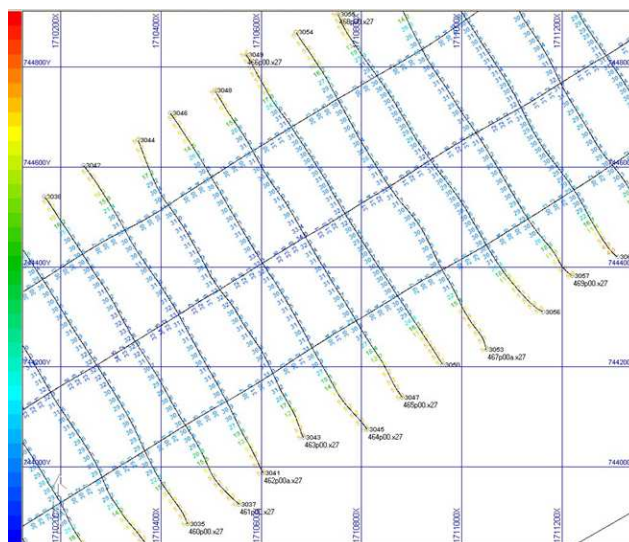


Рис. 1. Сетка промерных галсов в ПО «Нураск»

Однолучевые промерные эхолоты при работах по обследованию подводных переходов целесообразно использовать:

- При работах с малого плавсредства.
- На участках с экстремально малыми (менее 2 м) глубинами.
- На участках, не требующих 100% площадной съёмки.
- На участках с пологим подводным рельефом.
- Для получения более полной картины необходимо использовать совместно с гидролокатором бокового обзора (ГБО).

При работах с многолучевыми эхолотами обеспечивается площадная (100-процентная) съёмка акватории с большой плотностью данных, сравнимых по объёму с результатами наземных съёмок цифровым лазерным сканером (рис. 2). По сравнению с однолучевыми системами имеют большее преимущество на участках со сложным подводным рельефом и в некоторых случаях заменяют гидролокатор бокового обзора, например, при использовании функции backscatter – представления данных в виде разности интенсивности отражённого сигнала.

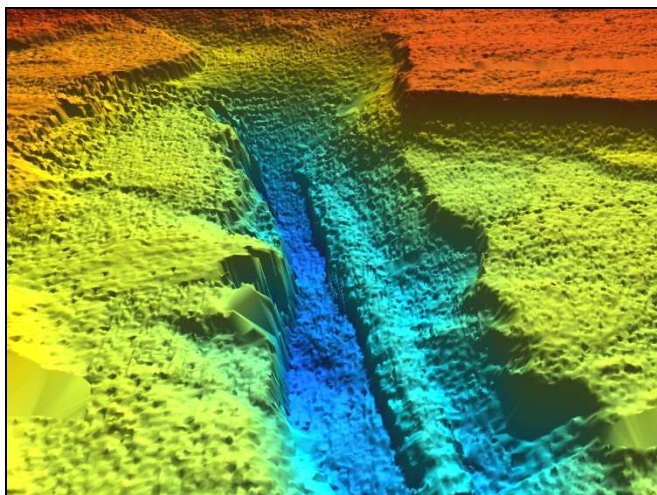


Рис. 2. Фрагмент съёмки участка акватории подводного перехода многолучевым эхолотом

Многолучевые эхолоты целесообразно использовать:

- При больших объёмах промерных работ.
- На участках со сложным подводным рельефом,
- На участках, требующих 100% площадной съёмки.
- Совместно с буксируемым ГБО, для детализации оголённых и провисающих участков.

Обнаружение оголённых и провисающих участков и поиск посторонних предметов на дне подводного перехода производится гидролокатором бокового обзора. В случае, если ГБО имеет буксируемый блок антенн, то качество гидролокационного снимка будет близко к фотографическому, так как

буксируемое устройство можно пилотировать в непосредственной близости от объекта (рис. 3). К тому же, на буксируемое устройство не распространяются вибрации и динамические перемещения промерного судна, что положительно влияет на чёткость получаемых снимков.

При выполнении промерных работ однолучевым эхолотом использование ГБО – необходимо и обязательно. При работах с многолучевым эхолотом буксируемый ГБО рекомендуется как средство дополнительного контроля и детализации данных.

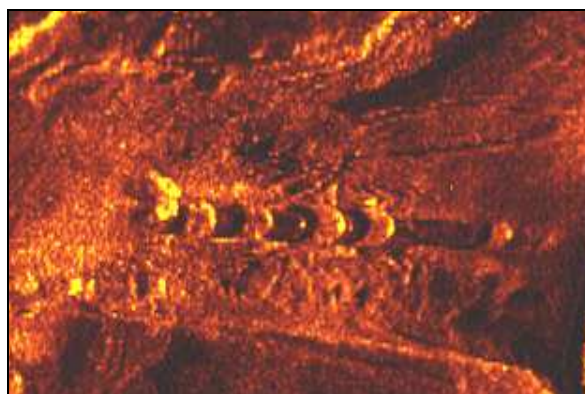


Рис. 3. Гидролокационный снимок оголённого участка трубопровода

Геодезический контроль планово-высотного положения трубопровода на подводных (русловых) участках подводного перехода может выполняться несколькими методами, имеющими возможность взаимного контроля.

В качестве основного метода рекомендуется использовать трассопоисковую систему с генератором сигнала, подключаемым к трубопроводу.

На подводных переходах большой протяжённости требуется повышенная мощность генератора сигнала.

Трассопоисковая система, применяемая на русловых участках подводных переходов, в отличие от наземной, производящей измерения вертикальной составляющей в статике, должна собирать данные в режиме непрерывного движения, так как установлена на судне,двигающемся по съёмочным галсам, ориентированным поперёк трубопровода.

Окончательное вычисление планово-высотного положения оси трубопровода осуществляется в режиме пост-обработки.

Существует прямая зависимость точности определения положения трубопровода от глубины до его оси. В целях повышения достоверности измерений следует увеличивать количество съёмочных галсов, создавая избыточные измерения, дублировать измерения в разных частотных диапазонах (например, на 100 Гц, затем на 1кГц), и использовать независимый метод контроля.

Независимым методом контроля данных электромагнитного трассоискателя на русловых участках является метод акустического профилирования. Он имеет свои недостатки, но на участках со средней и

большой глубиной воды (10-20 м) и небольшим (1-3 м) заглублением трубопровода под поверхностью дна водоёма показал положительные результаты (рис. 4). К недостаткам акустического метода можно отнести уменьшение проникновения сигнала с ростом толщины грунта над трубопроводом, громоздкость аппаратуры, относительная сложность в настройках и управлении. Положительное качество – возможность в режиме реального времени наблюдать величину слоя грунта над верхом замкнутого трубопровода.

Совместное использование этих методов позволяет уменьшить погрешности каждого метода в отдельности.

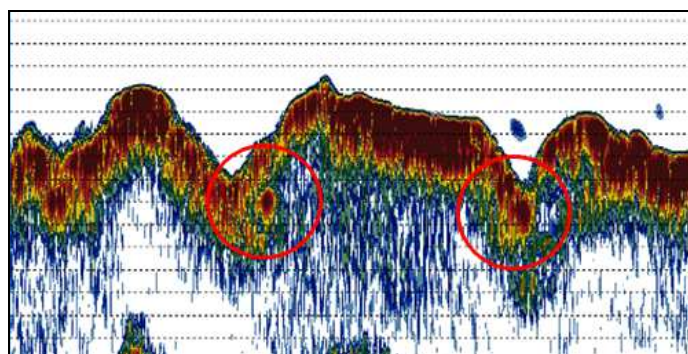


Рис. 4. Акустический снимок участка подводного перехода с трубопроводами, расположенными на дне недостаточно засыпанных траншей

Точное координирование промерного судна осуществляется в реальном времени с помощью геодезических GPS- приёмников, использующих технологию DGPS или RTK.

Опорная базовая станция, установленная на берегу находится на пункте с известными координатами и по радиоканалу транслирует дифференциальную коррекцию для приёмника, находящегося на судне.

При невозможности использования этой технологии в связи с большими (более 15-20 км) размерами подводного перехода используется система дифференциального сервиса глобального действия C-Nav или Omnistar XP.

Расстояния (офсеты) между всеми ключевыми точками промерного судна - датчиком динамических перемещений судна и антеннами устройств, должны быть тщательно измерены и учтены в системе координат судна (рис. 5).

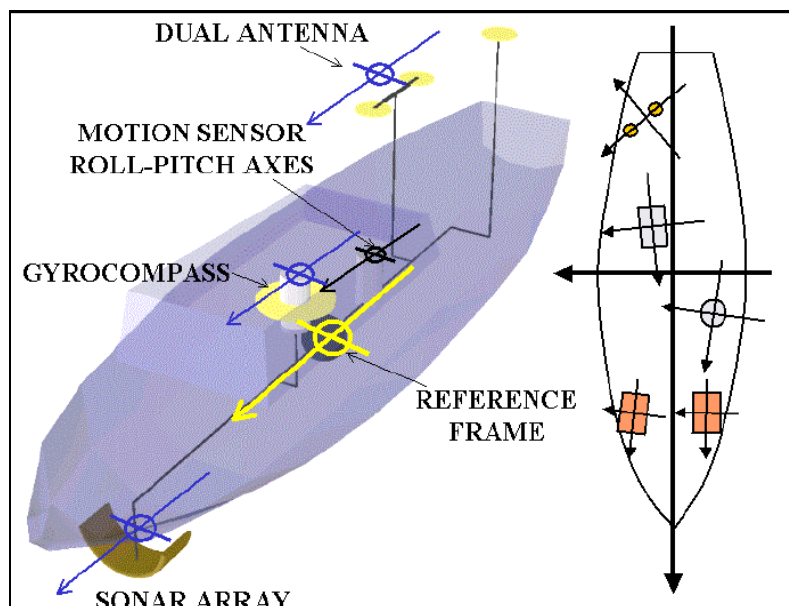


Рис. 5. Система координат судна и взаимное расположение устройств

Набор данных, полученный от данных устройств, является достаточным для формирования отчётной документации о техническом состоянии подводного перехода.

При необходимости расширения объёма получаемой информации, к примеру, геологической или гидрологической, приборный комплекс может быть снабжен дополнительными устройствами, решающими круг задач более широкий, чем геодезический контроль за строительством и мониторинг технического состояния подводных переходов трубопроводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД-51-3-96 «Регламент по техническому обслуживанию подводных переходов магистральных газопроводов через водные преграды», Москва, 1996.
2. РД-51-2-95 «Регламент выполнения экологических требований при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации подводных переходов магистральных газопроводов», Москва, 1996.
3. СП 11-104-97. Часть III. Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства
4. СНиП III-42-80 Магистральные трубопроводы. Москва 1981.
5. ВСН 012-88 Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Москва. 1989.
6. Положение о порядке проведения технического надзора за качеством скрытых подводно-технических работ при реконструкции, аварийно-восстановительном, капитальном ремонте и берегоукреплении подводных переходов газопроводов. Москва. 2001.
7. РД 31.84.01-90 Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Москва. 1990.

8. Правила гидрографической службы №4 ГУ О МО. Съёмка рельефа дна. 1984.
9. IHO Standards for Hydrographic Survey. Special Publication SP-44. Monaco. 1998.
10. John E. Huges Clarke. A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning? US Hydrographic Conference. 2003.
11. Фирсов Ю.Г. Геодезические аспекты гидрографического использования приёмной спутниковой аппаратуры С-Nav. Навигация и гидрография .2007.
12. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. Москва. ИЦ «Елима». 2004.

© Г.А. Гринь, П.П. Мурзинцев, 2008

УДК 528.8.042+[528.48:624.19]

Е.И. Горохова

СГГА, Новосибирск

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТОННЕЛЕЙ

Ye. I. Gorokhova

SSGA, Novosibirsk

GROUND-BASED LASER SCANNING APPLICATION FOR TUNNELS ENGINEERING SURVEYS DATAWARE

Ground-based laser scanning application is considered as possible for tunnels engineering surveys dataware. Main criteria are derived which prove this technology to be efficient for tunnel construction. The factors affecting measurements accuracy are pointed out. The author gives a review of scanners main characteristics in the context of their application for tunnels engineering surveys dataware. The fields of application of ground-based laser scanning and traditional methods are determined. Also shown are the improvements in this sphere due to the technology introduction.

Темпы современного строительства, в том числе и уникальных сооружений, таких как тоннели, предъявляют особые требования к оперативности, точности, надежности получения геопространственных данных, на основе которых можно получить необходимые характеристики и параметры объектов. Традиционные методы, применяемые в тоннелестроении, не способны обеспечить все вышеперечисленные условия. На мой взгляд для этой цели большие перспективы раскрывает метод наземного лазерного сканирования. Данная технология позволяет перейти на качественно новый уровень сбора трехмерной метрической информации об объектах.

Но при этом нужно сказать, что не следует полностью отказываться от традиционных методов геодезического обеспечения, т.к. оно продолжает играть огромную роль на протяжении всего периода строительства тоннеля – от изысканий и до сдачи его в эксплуатацию. Обычно выполняются следующие виды топографо-геодезических работ [1]:

- Создание планового и высотного геодезического обоснования тоннеля на поверхности;
- Создание подземного маркшейдерского планово-высотного обоснования;
- Создание системы исходных и осадочных реперов для определения осадок и деформаций зданий и сооружений (на поверхности и под землей);
- Проведение циклов наблюдений за осадками и деформациями наземных и подземных сооружений;

- Проведение геодезических измерений для определения объемов выполненных основных строительных работ;
- Топографические съемки различных масштабов (от 1:25000 до 1:200);
- Различные разбивочные геодезические работы;
- Ориентировка подземных выработок;
- Съемка различных подземных коммуникаций;
- Составление и ведение исполнительных чертежей и другой графической документации и т. д.

Возможности применения любой новой технологии определяются в первую очередь точностью измерений. Понятно, что погрешности измерений должны быть меньше или сопоставимы с погрешностями, получаемыми при традиционных методах. В противном случае применение новой технологии просто бессмысленно.

При использовании наземного лазерного сканирования пространственные координаты точек объекта вычисляются [2]:

$$\left. \begin{aligned} X &= r \times \cos \varphi \times \sin \theta \\ Y &= r \times \sin \varphi \times \sin \theta \\ Z &= r \times \cos \theta \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные координаты в системе координат сканера;

r – измеренная дальность от точки стояния сканера до объекта;

φ – горизонтальный угол измеренного направления;

θ – вертикальный угол измеренного направления отсчитываемый от оси Z до вектора направления (зенитное расстояние измеренного направления).

Из приведенной формулы видно, что точность измерения координат зависит от следующих факторов:

- Точности измерения расстояний;
- Точности измерения углов направления распространения лазерного луча;
- Величины расходимости лазерного излучения.

Кроме этого на точность измерения координат оказывают влияние следующие параметры [3]:

- Влияние отражающей способности различных поверхностей (белые поверхности дают более сильный отраженный сигнал, чем темные. Сила сигнала, отраженного от цветных поверхностей зависит от спектральных характеристик лазера в зеленом, красном и ближнем инфракрасном диапазоне);
- Влияние атмосферы на прохождение лазерного излучения (рефракция и рассеяние лазерного излучения в атмосфере);
- Ошибки привязки точечной модели к внешней системе координат (они зависят от точности определения координат опорных точек сканером, ошибки координирования марок при помощи тахеометра, детальности областей

перекрытий у двух точечных моделей и реализации алгоритма трансформации точечных моделей по перекрытиям или опорным точкам);

- Ошибки, вызванные степенью прогрева лазерного источника (могут в несколько раз превосходить заявленную точность измерений);

- Стабильность положения сканера в процессе работы (важно, чтобы лазерный сканер не подвергался никаким внешним механическим воздействиям, таким как вибрация, сдвиг штатива и т. д., т. к. влияние таких воздействий может понизить точность полученных результатов и его очень трудно или практически невозможно учесть в полученных результатах).

В настоящее время точность определения координат в зависимости от модели сканера варьируется от десятых долей миллиметра (у сканеров, работающих по принципу оптической триангуляции) до 25 миллиметров. Точность измерения расстояний зависит от способа измерения расстояний и конструкции дальномера. У сканеров, работающих в фазовом режиме, она несколько выше, чем у сканеров, работающих в импульсном режиме. Большинство сканеров в настоящее время измеряют расстояния с точностью нескольких миллиметров на первых десятках метров. Точность измерения углов составляет порядка 3" - 10". Большое влияние на точность оказывает величина расходимости лазерного излучения: чем больше размер лазерного пятна, тем менее точный получается результат при измерении расстояний до поверхности [3].

Из вышесказанного следует, что для геодезического обеспечения тоннелей наиболее оптимальным является использование импульсных сканеров с большим углом поля зрения. Например, сканер Mensi GS200, Faro 880.

Весомым аргументом в пользу применения метода наземного лазерного сканирования в тоннелестроении является большой объем измерений и возможность построения по ним трехмерных моделей объектов. Точечная модель, получаемая в процессе сканирования, изначально не является векторной, но по ней можно выполнять пространственные измерения: вычислять объемы насыпи и выемки, расстояния между точками, нормальные расстояния от точки до поверхности, между поверхностями и осями и отдельными составляющими модели. Стоимость такой точечной модели относительно невысокая. Поэтому необходимо четко оценивать целесообразность векторизации изображения, поскольку в некоторых случаях (например, для контроля формы в процессе строительства, вычисления объемов, поведения измерения на недоступных участках и т. д.) вполне достаточно и необходимо по временным и материальным затратам иметь растровую модель.

Анализ выполняемых топографо-геодезических работ в тоннелестроении и возможностей метода наземного лазерного сканирования позволяет определить основные виды работ:

- Наземная и подземная топосъемки, производимые до начала, во время и по окончании строительных работ;

- Анализ отклонений от проектных значений;

- Наблюдение за деформациями, как самого сооружаемого тоннеля, так и различных наземных и подземных зданий и сооружений, находящихся вблизи района работ;
- Оперативное определение объёмов вывезенного грунта;
- Расчет фактического объёма земляных работ;
- Отслеживание состояния объектов в реальном времени;
- Создание трехмерной модели тоннеля и прилегающих сооружений.

Наиболее важным является обеспечение требуемой точности сопряжения сооружений между собой, соблюдение запроектированных геометрических форм и точность ориентировки подземных выработок, а также наблюдение и изучение деформаций.

Для успешного решения данных задач необходима интеграция новых технологий с уже существующими. Основная задача традиционной геодезии в этом случае - координирование опорных точек, по которым данные сканирования «связываются» друг с другом и с опорными пунктами планово-высотного обоснования и трансформируются в требуемую систему координат.

Технология наземного лазерного сканирования появилась недавно и в настоящее время находится в стадии активного развития. Это означает, что круг задач, решаемых в тоннелестроении с ее помощью будет расширяться. Технология наземного лазерного сканирования позволяет получать наиболее полную и точную информацию об объекте в кратчайшие сроки. Большим плюсом является то, что вся отчетная горно- графическая документация ведется в электронном виде, что повышает оперативность принятия управленческих решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черемисин, М.С. Геодезическо-маркшейдерская разбивочная основа при строительстве подземных сооружений / М.С. Черемисин, А.В. Воробьев. – М.: Недра, 1982. – 262 с.
2. Комиссаров, А.В. Методика исследования метрических характеристик сканов / А.В. Комиссаров // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.0034 – «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия», Новосибирск: СГГА, 2007. – 201 с.
3. Середович, А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазопромыслов средствами наземного лазерного сканирования / А.В. Середович // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.00.32 – «Геодезия», Новосибирск: СГГА, 2007. – 165 с.

УДК 006

А.Н. Теплых

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ИНДИКАТОРОВ ВЕСА ГИВ6-М2

A.N. Teplykh

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF METHODS FOR WEIGHT INDICATORS CALIBRATION

Devices for testing the tension of a fixed drilling-line end while drilling or pulling-out of the hole are vital for oil industry. There are many devices for weight determination with similar parameters and characteristics, but the article deals with weight indicators ГИВ6-М2 and ИВЭ-50, as they are predominant in oil industry.

В данной работе речь пойдет о гидравлических индикаторах ГИВ6-М2 и электронных ИВЭ-50. Гидравлические индикаторы веса постепенно уступают свои лидирующие позиции современным электронным индикаторам веса. В работах [1,2] был проведен анализ погрешностей индикаторов веса ГИВ6-М2 и ИВЭ-50. По его результатам был сделан следующий вывод: индикатор веса электронный ИВЭ-50 при всех своих функциональных возможностях существенно уступает в достоверности результатов, т.к. имеет большую приведенную погрешность в отличие от гидравлического индикатора ГИВ6-М2.

Таким образом, нами было доказано, что индикаторы веса ГИВ6-М2 рановато списывать со счетов, а наоборот необходимо совершенствовать, разрабатывать и развивать новые методы и средства поверки, так как существующая технологическая последовательность поверки индикаторов ГИВ6-М2 устарела. Поэтому мною в статье была поставлена задача по разработке современной методики поверки индикаторов веса ГИВ6-М2.

Настоящая методика устанавливает периодичность, методы и средства поверки индикаторов веса ГИВ6-М2 модификаций ГИВ6-М2-1, ГИВ6-М2-2, ГИВ6-М2-3, ГИВ6-М2-4, ГИВ6-М2-5, ГИВ6-М2-6, ГИВ6-М2-7.

С целью установления пригодности индикаторов веса для эксплуатации, а также после длительного хранения, ремонта и, в необходимых случаях, после транспортировки необходимо производить поверку технического состояния.

Периодическая поверка должна проводиться 1 раз в год.

Поверка производится представителями органов государственной метрологической службы, допущенными в установленном порядке к поверке изделий силоизмерительной техники, знакомых с эксплуатационной документацией индикаторов ГИВ6-М2.

П.1 Операции и средства поверки:

– Внешний осмотр;

– Опробование индикатора веса. Опробование и поверку индикаторов проводят с помощью гидравлической разрывной машины с торсионным силоизмерением МР-500 ГОСТ 7855-84, класс точности 1, предельная нагрузка 500 кН. Также возможно применение аналогичных средств поверки, прошедших метрологическую аттестацию в органах Госстандарта и обеспечивающих требуемую точность и пределы измерений, а также имеющих действующие сроки поверки;

– Необходимо произвести проверку основной приведенной погрешности и пределов измерений.

П.2 Условия поверки и подготовка к ней.

П.2.1 При проведении поверки необходимо соблюдать следующие условия:

- Режим температуры окружающего воздуха - $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- Значение относительной влажности воздуха 30 - 80 %.

П.2.2 Перед поверкой необходимо выполнить следующие виды работ:

– Если индикатор веса находился в условиях, где диапазон температуры отличался от указанной в п.2.1, то перед проведением поверки индикатор необходимо выдерживать в помещении при температуре окружающего воздуха $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ не менее 2 часов;

– Необходимо полностью наполнить рабочей жидкостью гидравлическую систему индикатора (не допускается наличие воздуха в системе).

П.3 Проведение поверки.

П.3.1 При внешнем осмотре проверяется комплектность индикаторов и других сборочных единиц. Также проверяется отсутствие задиров на рабочих поверхностях, соприкасающихся с канатом, и следов подтекания рабочей жидкости. На маркировочной табличке индикатора веса должны быть четко указаны: наименование и (или) товарный знак предприятия-изготовителя, обозначение индикатора, его заводской номер и год выпуска.

П.3.2 Опробование индикаторов производится следующим образом. Закрепить на канате трансформатор давления поверяемого индикатора необходимо так, чтобы пробка трансформатора находилась на уровне или выше блока вторичных приборов. Диаметр каната должен соответствовать тому, под который проводилась градуировка индикатора. Установка поплавка трансформатора давления до совпадения его средней риски с торцом крышки осуществляется при помощи пресс-бачка.

П.3.3 Для определения метрологических характеристик необходимо выполнить следующее:

– Произвести установку на канате зажима и закрепление трансформатора давления таким образом, чтобы его пробка находилась на уровне блока вторичных приборов или выше их;

– После этого закрывается вентиль пресс-бачка и разрывной машиной создается усилие натяжения каната до установки стрелки основной шкалы

указателя на сотом делении шкалы. Если будет иметь место отклонение величины усилия натяжения от заданной при заданном диапазоне, то тогда необходимо изменить угол преломления каната в трансформаторе давления путем перемещения упора в поплавке или путем перемещения мембраны при помощи пресс-бачка.

– По завершению установки угла преломления каната, когда величина предельного усилия натяжения каната при установке стрелки по основной шкале на сотом делении будет соответствовать заданной, необходимо провести проверку основной погрешности и градуировку индикатора.

П.3.4 Необходимо повышать усилие натяжения каната в пределах показаний основного указателя с десятого до сотого деления, производя отсчет показаний разрывной машины и индикатора веса через каждые 10 делений, при градуировке и проверке погрешности индикаторов веса. Результаты измерений заносятся в протокол, форма которого ниже (табл. 1). При этом число снятых показаний с индикаторов веса должно быть не менее 5-7 (в форме протокола поверки приводятся только среднеарифметическое значение).

ГИВ6-М2 № _____

Дата поверки « __ » _____ 2008 г.

Разрывная машина _____

Диаметр каната _____

Предел нагрузки _____

Таблица 1

Деления основного указателя	Показания разрывной машины Р, кН	Среднеарифметическое значение показаний индикатора Р, кН	Погрешность		Максимальная основная приведенная погрешность измерения $\pm$ %
			$\pm$ кН	$\pm$ %	

Дата следующей поверки « __ » _____ 2008 г.

Госповеритель _____

П.3.5 Максимальное отклонение показаний разрывной машины в любой точке отсчета от среднеарифметического значения показаний индикатора в этой

точке, выраженное в процентах от среднеарифметического значения усилия натяжения каната на сотом делении основной шкалы указателя принимают за основную приведенную погрешность и рассчитывают по формуле (1):

$$\gamma_i = \pm \frac{\Delta_i}{P_{100cp}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Δ_i – абсолютная погрешность, кН; P_{100cp} – среднеарифметическое значение усилия натяжения каната на 100-м делении манометра.

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле (2):

$$\Delta_i = \pm (P_{oi} - P_{i\text{cp}}), \quad (2)$$

где P_{oi} – показание разрывной машины МР-500 в i -точке; $P_{i\text{cp}}$ – среднеарифметическое значение показаний индикатора в i -точке.

Если значение погрешности не превышать $\pm 2,5\%$ для модификаций ГИВ6-М2-1, ГИВ6-М2-3, ГИВ6-М2-6 и $\pm 4\%$ для модификаций ГИВ6-М2-2, ГИВ6-М2-4, ГИВ6-М2-5, ГИВ6-М2-7, то индикатор веса ГИВ6-М2 считают годным для эксплуатации. После проведения проверки положение упора трансформатора фиксируется пломбой, а данные градуировки (по средним показателям) заносят в свидетельство о градуировке (по форме, принятой потребителем) или в паспорт.

П.4 Оформление результатов поверки

П.4.1 Положительные результаты поверки заносятся в протокол и заверяются подписью поверителя и оттиском поверительного клейма в соответствующем месте паспорта. Оформляется установленным образом свидетельство о поверке (рис. 1), установленной формы, в котором также указываются заводские номера индикаторов веса ГИВ6-М2.

_____ наименование органа Государственной метрологической службы
СВИДЕТЕЛЬСТВО о поверке № _____ Действительно до " _____ " _____ 200__ г. Средство измерения _____ (наименование, тип)
_____ заводской № _____ принадлежащее _____ (наименование юридического (физического) лица)
_____ поверено на основании результатов первичной (периодич.) поверки признано годным к применению.
Оттиск поверительного клейма или печати (штампа)
_____ (должность руководителя подразделения)
Поверитель
" _____ " _____ 200__ г.

Рис. 1. Свидетельство о поверке

П.4.2 При отрицательных результатах поверки индикатор к эксплуатации не допускаются, свидетельство о поверке аннулируют, и оформляется свидетельство о непригодности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплых, А.Н. Совершенствование методики поверки гидравлического индикатора веса ГИВ6-М2 [Текст] / А.Н. Теплых, И.Н. Косенко // Методы дистанционного зондирования и ГИС-Технологии для оценки состояния окружающей среды, инвентаризация земель и объектов недвижимости: сб. материалов XI междунар. научно-практ. конф. – Португалия, 2007. – С. 75–79.
2. Теплых, А.Н. Анализ погрешности индикаторов веса на разрывной машине МР-500 [Текст] / А.Н. Теплых, С.В. Хатюшин // «ГЕО-Сибирь»: сб. науч. тр. III междунар. науч. конгр. – Новосибирск, 2007. – С.164–167.

© А.Н. Теплых, 2008

ЗАКОНЫ ИСТОРИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ

G.N. Teterin

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

LAWS OF HISTORICAL DEVELOPMENT OF GEODESY

The author puts forward formulae and calculations as concerns changes in the indicators and characteristics of the historical development of geodesy with the change of epochs.

The formulae permit to make long-term forecasts. The constants of development have been determined, which characterize the corresponding laws.

The derived formulae both in general and concrete forms may serve as a basis for further analytical calculations.

Общие законы развития и время оказывают влияние на эволюцию любой системы знаний. Параметры и характеристики этой системы знаний находятся в какой-либо функциональной зависимости от исторического времени. Ранее автором для геодезии был найден ряд формул такого рода зависимостей. Если параметры, показатели, характеристики системы геодезических знаний выразить через Y , а через i – историческое время, то получаем следующие формулы:

$$Y_1 = a_1^{f_1(i)}, \quad (1)$$

$$Y_2 = (f_2(i))^{a_2}, \quad (2)$$

$$Y_3 = (f_3(i))^{f_4(i)}, \quad (3)$$

где i – порядковый номер исторической эпохи:

$i = 1$ – Древнее время (до VII – VI вв. до н.э.);

$i = 2$ – Античность, Средневековье;

$i = 3$ – Новое время;

$i = 4$ – Новейшее время.

Таким образом, $i = 1, 2, 3, 4$.

В общем случае

$$Y_k = F_k(i), \quad (4)$$

где $Y_k = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$, т. е. $k = 1, 2, 3$.

Для каждого Y_k найдены конкретные функциональные зависимости, в частности формулы: (1), (2), (3).

$$Y_1^1 = 10^{-2i} \quad (5)$$

$$Y_2^1 = i; \quad Y_2^{11} = i^2 \quad (6)$$

$$Y_3^1 = (2+i)^i \quad (7)$$

Зависимость (5) определяет точность геодезических измерений в любой исторической эпохе; Y_2^1 – определяет размерность систем координат (СК) в зависимости от эпохи; Y_2^{11} – является показателем числа «начальных дат» в зависимости от времени; наконец, Y_3^1 – определяет возрастание числа используемых СК в зависимости от i .

На основе формул (1)-(3) можно установить сравнительные характеристики геодезического знания с учетом исторического времени.

$$\Delta Y_1 = \frac{F_k(i)}{F_k(i+1)} = C_1, \quad (8)$$

$$\Delta Y_2 = \frac{F_k(i)}{F_{k+1}(i)} = C_2, \quad (9)$$

где C_1, C_2 – константы. Так для Y_1 (точность измерений) получаем

$$\Delta Y_1 = \frac{Y_1(i)}{Y_1(i+1)} = 10^2. \quad (10)$$

Таков закон возрастания точности геодезических измерений (на 2 порядка) при смене исторических эпох.

Для случая (9) получаем закон симметрии, т. е.

$$\Delta Y_2 = \frac{F_1(i)}{F_2(i)} = \frac{T(i)}{S(i)} \Rightarrow 1, \quad (11)$$

где T – точность измерений,

$S(i)$ – производительность (или какая-либо эффективность) работ в эпохе i .

Вполне очевидно, что на основе зависимостей (1)-(3) и (8), (9) возможно получение различного рода характеристик.

© Г.Н. Тетерин, 2008

УДК 528.48

О.В. Лебедев

ЛАЭС

Н.В. Федорова

СГГА, Новосибирск

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ЛАЭС

O.V. Lebedev

N.V. Fyodorova

Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT AND RECONSTRUCTION OF A GEODETIC NETWORK OF LAPP (LENINGRAD ATOMIC POWER PLANT)

The article deals with some features of the development and reconstruction of the geodetic network of LAPP. Recommendations are given on the traverse stations coverage of not only the working area of LAPP, but its whole territory.

Если ранее число типов сооружений, которые требовали индивидуального проектирования специальных геодезических работ, составляли единицы, то в настоящее время оно значительно увеличилось и имеет тенденцию к дальнейшему росту. К таким сооружениям, начало которым положили гидротехнические комплексы, и ускорители заряженных частиц относятся атомные и солнечные электростанции, радиотелескопы, высокотемпературные гелиоустановки, радиоинтерферометры различных типов и другое прецизионное технологическое оборудование.

Территория ЛАЭС относится к промышленным площадкам, и к настоящему времени геодезическая сеть ЛАЭС претерпела несколько стадий: обеспечение топографо-геодезических изысканий, инженерно-геодезическое проектирование, разбивка и строительство сооружений, исполнительная съемка. К моменту завершения строительства большая часть пунктов геодезической сети была утеряна, поэтому в дальнейшем она дополнялась новыми пунктами и выполнялись измерения по программе полигонометрии низших разрядов и теодолитных ходов. Внутри промышленных корпусов были созданы локальные высокоточные инженерные инженерно-геодезические сети для обеспечения производственного процесса.

В настоящее время плановая геодезическая сеть на территории ЛАЭС представлена следующими пунктами:

- Пункты полигонометрии, проложенные во время изыскания площадки под строительство ЛАЭС; в разрозненном виде они сохранились за пределами рабочей зоны;

– Пункты строительной сетки со стороной квадрата 100м; степень сохранности этих пунктов также не высока – несколько десятков за пределами рабочей зоны;

– Пункты полигонометрии первого разряда, проложенной несколько лет назад на территории рабочей зоны для решения текущих задач; количество этих пунктов – около 70; тип центра 2 г.р.

Ходы первого разряда образуют систему ходов с 12 узловыми точками. Система координат местная, условная, она задана координатами одного исходного пункта 01 (рис. 1) и значением дирекционного угла первой стороны хода, начинающегося на исходном пункте.

Если принять за исходное два пункта 01 и 02, находящихся на краях полигонометрической сети, то можно уравнивать сеть в режиме предрасчета точности по программе SELIUG для двух вариантов с полной угловой привязкой и с координатной привязкой [2, 5]. Ошибка положения пунктов в самом слабом месте сети оказалась равной: для варианта с полной угловой привязкой 5,4 см (пункты 1329, 1330, 1291, 1292), для варианта с координатной привязкой 7,0 (пункты 1323, 1324); многие другие пункты имеют ошибку положения больше 6,0 см. Для топографической съемки в масштабе 1:500 средняя квадратическая ошибка положения пунктов съемочного обоснования не должна превышать 5 см; таким образом сеть полигонометрии первого разряда уже не имеет никакого запаса точности даже для съемочного обоснования топографической съемки в масштабе 1:500. Если же на территории ЛАЭС потребуется провести съёмку в более крупном масштабе, например, кадастровую съёмку масштаба 1:200, то следует повысить точность плановой сети примерно в три раза. Наиболее слабым местом плановой сети ЛАЭС является её юго-западная часть, поэтому при проектировании реконструкции сети нужно, во-первых, предусмотреть один-два дополнительных исходных пункта в юго-западной части сети; во-вторых, измерения углов и сторон в реконструируемой полигонометрической сети следует выполнять на уровне точности 4 класса ($m\beta \leq 2''$; $m_s/S \leq 1/25000$).

В процессе реконструкции плановой сети ЛАЭС в неё необходимо включить в качестве исходных несколько пунктов не ниже 3 класса полигонометрии или триангуляции, координаты которых заданы в общегосударственной системе. По результатам последнего уравнивания астрономо-геодезической сети России координаты пунктов этой сети получены в новой высокоточной референцной системе СК-95; этим завершилось создание АГС России [1]. Однако, на территории ЛАЭС и вблизи неё нет пунктов, включённых в новые каталоги АГС России, поэтому такой вариант реконструкции сети ЛАЭС нереален.

В геодезической литературе имеется достаточно много публикаций об опыте применения GPS-аппаратуры при сгущении плановых сетей, при развитии городской полигонометрии [1], при восстановлении точной плановой сети на уникальных инженерных сооружениях и в других случаях [2], [5].

Согласно [1] на территории России с 2001 года основным методом создания государственной геодезической сети является метод GPS-измерений. Три класса точных геодезических сетей ФАГС, ВГС и СГС-1 создаются по принципу «от общего к частному» с помощью GPS-аппаратуры. Дальнейшее сгущение сети разрешается выполнять либо с помощью GPS-систем, либо традиционными способами (полигонометрия, триангуляция, геометрическое нивелирование).

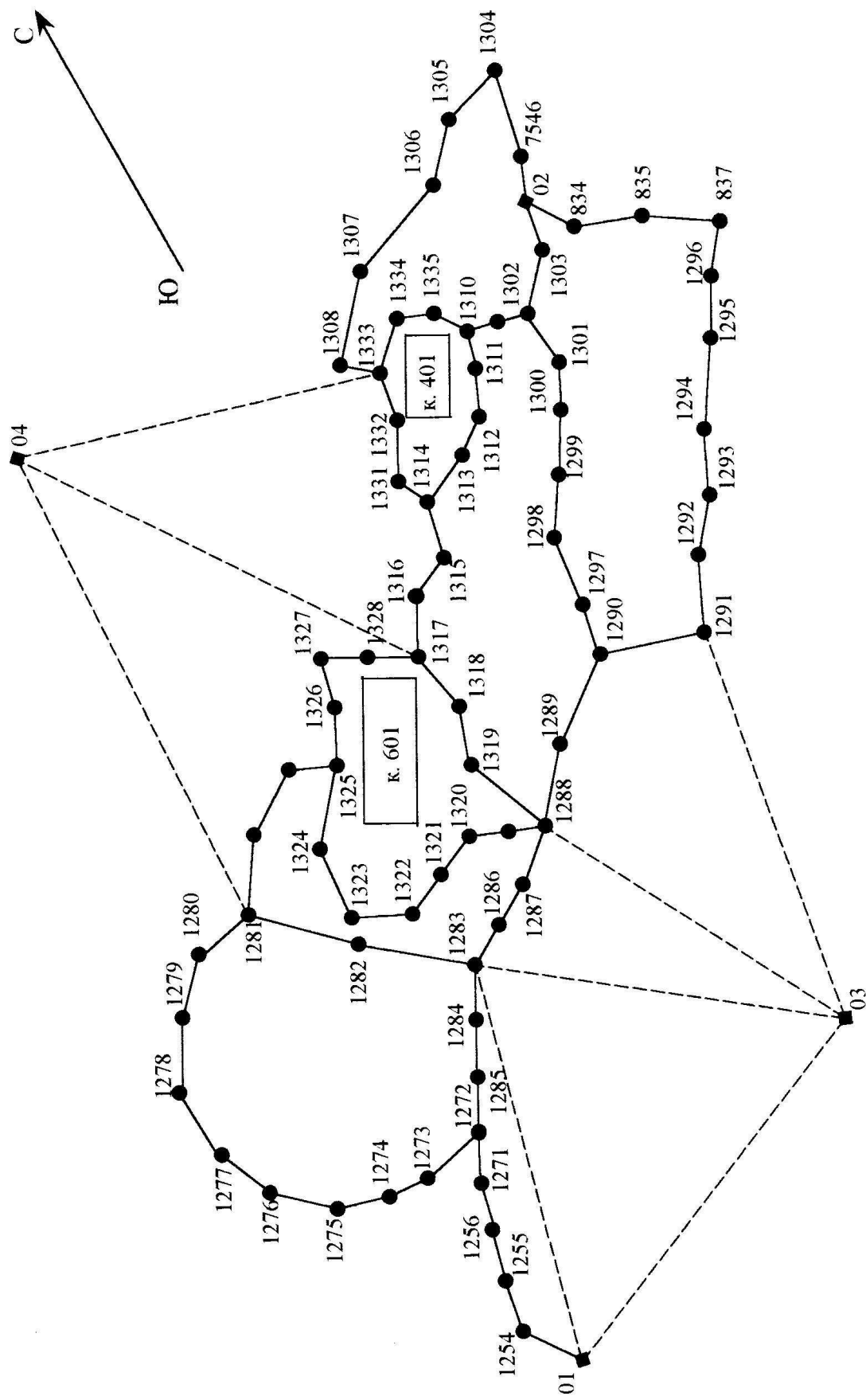


Рис. 2. Схема перспективной полигонометрической сети 4 класса на территории ЛАЭС – проектируемые ходы 1 рода от пунктов GPS

Применительно к геодезической сети ЛАЭС рекомендации [1] можно конкретизировать следующим образом. От трёх пунктов СГС-1 (ФАГС или ВГС), расположенных в 10–15 км от ЛАЭС и используемых в качестве исходных, необходимо с помощью GPS-приёмников передать координаты на четыре полигонометрических пункта – это пункты 01, 02 и два пункта внутри системы; желательно, чтобы эти два пункта были узловыми точками, например, 1325 и 1314 (рис. 2); примычные углы отсутствуют. Это – вариант-минимум, и в нём ошибки положения пунктов сети в наиболее слабом месте равны 5,0 см (пункты 1292, 1293), а у многих пунктов ошибка положения превышает 4,0 см. Для той же полигонометрической сети, переведённой в 4 класс точности, ошибки положения пунктов 1292 и 1293 уменьшились и стали равными 2,0 см.

Во втором варианте реконструкции, варианте-максимуме, предполагается использовать в качестве исходных ещё несколько пунктов за пределами рабочей зоны, координаты которых нужно определить с помощью GPS-измерений (рис. 2). В этом случае к сети добавляются несколько полигонометрических ходов 1 рода (по 2 или 3 хода от каждого дополнительного исходного пункта до узловых точек системы). В этой схеме решается задача обеспечения пунктами полигонометрии всей территории ЛАЭС, а не только её рабочей зоны; ошибка положения пунктов в самом слабом месте сети при точности измерений 4 класса не превысит 1,5 см.

Ленинградская АЭС расположена всего лишь в 70 км от Пулковской обсерватории, где находится начальный пункт геодезической сети России и где функционирует один из первых постоянно действующих пунктов ФАГС. Это обстоятельство даёт возможность использовать передвижные дифференциальные станции GPS для непосредственного измерения приращений координат между пунктом Пулково и пунктами GPS в районе ЛАЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агафонов Ю.Н., Маслов А.А., Насретдинов К.К. и др. Результаты работ по совместному использованию аппаратуры GPS и традиционных геодезических средств. Геодезия и картография. – 1995 г., № 5. – С. 14.
2. Дьяков Б.Н., Лесных И.В. Уравнивание и оценка точности нестандартного полигонометрического хода. Межвузовский сборник «Исследование по совершенствованию инженерно-геодезических работ». – Новосибирск, 1988.
3. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975.
4. Рунов, И.В. Анализ устойчивости реперов исходной основы. Геодезия и картография, 1976 г., № 7. – С. 66–73.
5. Федорова, Н.В. Системы линейно-узловых ходов с координатной привязкой – СГГА, Новосибирск. – 2001 г. – деп. в ОНИПР ЦНИИГАиК. – № 734 гд 2001.

УДК 528.8.042+[528.48:624.19]

Е.И. Горохова

СГГА, Новосибирск

СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДЕФОРМАЦИЙ ТОННЕЛЕЙ

Ye.I. Gorokhova

SSGA, Novosibirsk

A COMPARISON BETWEEN THE TRADITIONAL METHOD AND THAT OF LASER SCANNING TO BE USED FOR TUNNEL DEFORMATION MONITORING

The author enumerates the main types of structures which are to be under permanent deformation monitoring (existing ground structures and objects, located in the zones of possible surface deformation; ground and underground projects; operating underground structures, situated in the zone of underground construction).

Traditional methods of tunnel- deformation monitoring are discussed. The technology of a land-based laser scanning is compared with traditional ones. Advantages and new opportunities for deformation monitoring are revealed.

В процессе строительства и эксплуатации тоннелей под воздействием различного рода нагрузок возникают деформации. Причем они могут быть настолько большими, что происходит разрушение уже сооруженных конструкций. Поэтому возникает необходимость тщательных наблюдений деформаций подземных сооружений на всех стадиях строительства и эксплуатации.

В соответствии со СНиП 3-44-77 [1] в процессе строительства подземных сооружений должны осуществляться наблюдения за деформациями земной поверхности и наблюдения за перемещениями, сдвигами и кренами:

- Существующих наземных сооружений и объектов, расположенных в зоне возможных деформаций поверхности;
- Строящихся подземных и наземных объектов и сооружений;
- Существующих эксплуатируемых подземных сооружений, расположенных в зоне подземного строительства (по согласованию с эксплуатирующей организацией).

Исходными данными для наблюдений за осадками подземных сооружений служат пункты высотного подземного обоснования. Так как маркшейдерская плано-высотная разбивочная основа располагаются непосредственно в строящихся тоннелях, возможна ее деформация, т.е. смещение центров знаков в

плане и профиле. Поэтому возникает необходимость своевременного определения её деформаций и исключения их влияния на перспективное развитие сети [2, 3].

В практике строительства тоннелей для изучения их деформаций в зависимости от конкретных условий применяются следующие методы [4]:

- Линейные измерения (с помощью жезла);
- Линейно-угловой метод (определение полярных координат);
- Тахеометр;
- Фотограмметрический метод съёмки внутреннего очертания подземных сооружений;
- Нивелирование;
- Створный метод.

Помимо традиционных методов геодезических наблюдений деформаций существует новейшая технология наземного лазерного сканирования. Она позволяет определить любые виды геометрических деформационных характеристик. Лазерный сканер предоставляет большой объем данных, по сравнению с традиционными технологиями. Так традиционная съёмка профиля выполняется через 5 метров, при этом данные сгруппированы в узкие полосы с небольшим количеством точек в каждом сечении. Сканер измеряет несколько миллионов точек. Полученная трехмерная модель сооружения содержит множество точек, каждая из которых имеет свои координаты. Это означает, что можно определять деформации по трем направлениям всех трех координат в любой точке тоннеля.

Обработка данных, полученных традиционным методом, состоит из нескольких этапов: загрузка данных из тахеометра в компьютер, присвоение измеренных точек каждому профилю, рисование профиля и сравнение его с проектным сечением. В участках между сечениями выполнить сравнение просто невозможно. При использовании наземного лазерного сканирования полевые данные сразу передаются в специализированное ПО для предварительной обработки. В нём можно получать профили тоннеля из множества точек на определенных (заданных пользователем) расстояниях между выбранными точками, отвечающим определенным критериям, либо можно экспортировать часть или всё облако точек в более мощные программные продукты для инженерных расчётов. Также данные могут быть переданы в специализированные программы для получения трёхмерных моделей тоннеля. Просматривая данные сканирования и проектную 3D-модель тоннеля, можно провести анализ его поверхности и выявить области поверхности тоннеля, сделанные с нарушением проектного задания. Величина и направление деформаций вычисляются путём наложения моделей объекта для каждого цикла измерений [5, 6].

С точки зрения скорости, измерения с помощью тахеометра требуют больше времени. Это связано с тем, что прибор необходимо переставлять. К тому же, движение транспорта в тоннеле создает помехи и не позволяет

полностью автоматизировать процесс. Измерения профилей тахеометром выполняются через каждые 5 м, поэтому определить нарушения в выработке можно только в областях, близких к этим профилям задания, что существенно ограничивает возможности проверки всей поверхности тоннеля. Увеличение же числа измерений неизбежно приводит к значительному увеличению полевых и камеральных работ, а также временных и стоимостных ресурсов.

Метод лазерного сканирования не требует дополнительной съемки, обеспечивая при этом 100% покрытие поверхности тоннеля, и позволяет выявить все отклонения от проекта и прочие недоработки. Весь процесс, начиная с измерений и заканчивая обработкой, занимает считанные дни, а первые данные для визуального анализа геометрии тоннеля могут быть получены уже в первые часы измерений.

При наблюдении за деформациями методом наземного лазерного сканирования целесообразно применять сканеры, работающие по принципу оптической триангуляции или фазовому принципу, т.к. они позволяют получить измерения с высокой (субмиллиметровой) точностью. В таблице приведены возможности применения традиционных методов и наземного лазерного сканирования для изучения деформаций тоннелей.

Таблица. Возможности применения традиционных методов и наземного лазерного сканирования для изучения деформаций тоннелей

№ п/п	Характеристика	Традиционные методы	Наземное лазерное сканирование
1	Точность получения координат	1 мм	0,4 – 1 мм
2	Достоверность измерений	Все применяемые формулы дают примерно одинаковые по своей достоверности результаты, но при расчете конечных осадок в отдельных случаях могут быть значительные ошибки, искажающие результаты в 2 – 3 раза и более. Причины наблюдающихся расхождений связаны главным образом с трудностью получения достаточно точных и надежных расчетных характеристик многих свойств горных пород, используемых в расчетах	Зависит от точности прибора и ошибок при обработке
3	Возможность получения цифровой модели тоннеля	Производится набор пикетов (равномерно, без пропусков по всей территории съемки), затем получают пространственные координаты и по ним создается ЦМ тоннеля. Получение цифровой модели связано с большими объемами полевых работ, значительными трудозатратами при наборе необходимого количества точек для адекватного описания объекта, переизмерением отдельных точек и выполнением контрольных измерений	Цифровая модель получается на основании данных наземного лазерного сканирования. Полученных измерений достаточно для полного, точного и адекватного описания объекта
4	Возможность получения непрерывной 3D модели изучаемого деформационного пространства	Такой возможности нет	Такая возможность есть
5	Возможность определения деформационных характеристик тоннеля	Деформационные характеристики определяются из наблюдений за смещениями закрепленных пунктов	Деформационные характеристики могут определяться на основе сравнения цифровых моделей тоннеля, полученных в разные промежутки времени

В настоящее время существенно повысились требования к надежности и долговечности работы тоннелей, стабильности их форм. В связи с этим возникает необходимость учета комплекса факторов, влияющих на несущую способность тоннелей. Существующие традиционные методы не дают

однозначного решения этого вопроса и не позволяют в полном объеме характеризовать деформативность тоннелей. Поэтому разработка и внедрение новых прогрессивных технологических процессов, связанных с комплексным изучением деформаций тоннелей, является актуальной проблемой. Технология наземного лазерного сканирования позволяет взглянуть на решение данной проблемы по-новому. Возникает необходимость в проведении исследований и разработке методики наблюдения за деформациями тоннелей в помощью наземного лазерного сканирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП III-44-77 «Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены». – М.: Государственный комитет совета министров СССР по делам строительства, 1977.
2. Левчук, Г.П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
3. Курс инженерной геодезии / Под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
4. Карпик, А.П. Разработка и исследование методов изучения деформаций тоннелей кругового поперечного сечения. / А.П.Карпик //Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.24.01 – «Геодезия», Новосибирск: СГГА, 1986. – 132 с.
5. Комиссаров, А.В. Методика исследования метрических характеристик сканов [Текст] / А.В. Комиссаров // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.0034 – «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия», Новосибирск: СГГА, 2007. – 201 с.
6. Середович, А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазопромыслов средствами наземного лазерного сканирования [Текст] / А.В. Середович // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.00.32 – «Геодезия», Новосибирск: СГГА, 2007. – 165 с.

© *Е.И. Горохова*, 2008

УДК 528.41.001.76.629.783

А.П. Карев, А.И. Павлова

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫМИ ЗАСЕЧКАМИ

A.P. Karev, A.I. Pavlova

SSGA, Novosibirsk

THE PROBLEM OF POSITIONAL ACCURACY ESTIMATION WITH GEODETIC POINTS DETERMINED BY LINEAR-ANGULAR INTERSECTIONS

The article analyses traditional methods of geodetic intersection and formulae for their estimation. The definition of linear-angular intersections and their classifications are presented.

В России, начиная с 90-х годов XX столетия, наибольший объем топографо-геодезических работ выполняется при инвентаризации и межевании земель, для решения задач землеустройства и ведения государственного земельного кадастра.

Выполняемые для геодезического обеспечения земельно-кадастровых работ измерения при создании, сгущении исходной геодезической основы, координировании межевых знаков и в других случаях в настоящее время производятся в основном с применением электронных тахеометров и различных способов спутниковых технологий.

При использовании электронных тахеометров одним из эффективных способов определения координат межевых знаков, решения других задач землеустройства стали различного вида линейно-угловые засечки.

Геодезическими засечками согласно ГОСТу 22268-76 называют определение координат точки по элементам, измеренным на ней или на исходных пунктах. Геодезические засечки, в которых измерения элементов производится с исходных пунктов, называются прямыми засечками. При измерении необходимых элементов на определяемой точке схему определения называют обратной засечкой.

Схему засечки с измерениями необходимых элементов на определяемой точке и с исходных пунктов называют комбинированной засечкой. В зависимости от характера измеряемых элементов (горизонтальные углы, расстояния) перечисленные виды засечек могут быть угловыми, линейными и линейно-угловыми засечками. На рис. 1–5 приведены схемы засечек разных видов.

– Прямая угловая засечка

На рис. 1, 2 изображены схемы вариантов прямой угловой засечки:

Исходные пункты: А, В

Измеряемые элементы: β_1, β_2

Неизвестные элементы: X_P, Y_P

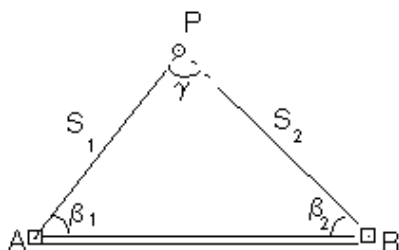


Рис. 1

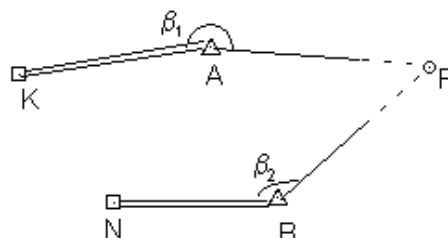


Рис. 2

Средняя квадратическая ошибка (ско) положения точки Р определяется по формуле

$$M_P = \frac{m''_{\beta}}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (1)$$

где m_{β} – средняя квадратическая ошибка измеренных углов,
 γ – угол при определяемой точке.

– Линейная засечка (рис. 3).

Исходные пункты: А, В.

Измеряемые элементы: S_1, S_2

Неизвестные элементы: X_P, Y_P

ско положения точки Р определяется по формуле

$$M_P = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2}, \quad (2)$$

где m_{S_1} и m_{S_2} – средние квадратические ошибки измерения соответственно сторон S_1, S_2 .

– Обратная угловая засечка (рис. 4).

Исходные пункты: А, В, С.

Измеряемые элементы: β_1, β_2

Неизвестные элементы: X_P, Y_P

ско положения точки Р определяется по формуле

$$M_P = \frac{m''_{\beta}}{\rho''(\beta_1 + \beta_2 + \gamma)} \sqrt{\left(\frac{S_1 \cdot S_2}{b_1}\right)^2 + \left(\frac{S_2 \cdot S_3}{b_2}\right)^2}, \quad (3)$$

где b_1, b_2 – значения исходных сторон,
 γ – угол между исходными сторонами.

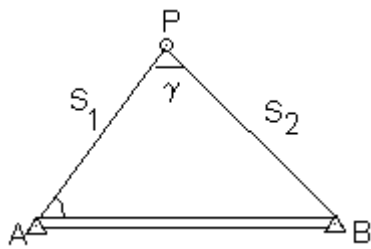


Рис. 3

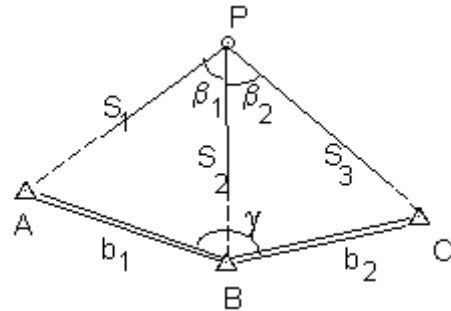


Рис. 4

– Полярный способ (рис. 5). Схема полярного способа является простейшим линейно-угловым построением, называемой часто полярной засечкой.

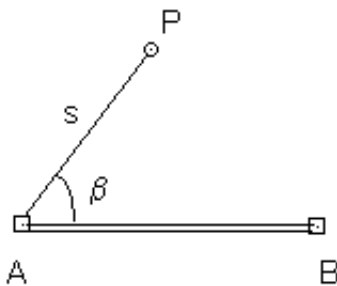


Рис. 5

Исходные пункты: А, В.

Измеряемые элементы: β , S.

Неизвестные элементы: X_p , Y_p

ско положения пункта Р определяется по формуле

$$M_p^2 = m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2, \quad (4)$$

– Линейно-угловые засечки

Линейно-угловыми называют геодезические засечки, в которых измеряются углы и расстояния в различных комбинациях. В зависимости от сочетания угловых и линейных измерений различают прямую, обратную и комбинированные линейно-угловые засечки.

а) Прямая линейно-угловая засечка (рис. 6).

Исходные пункты: А, В.

Измеряемые элементы: $\beta_1, \beta_2, S_1, S_2$

Неизвестные элементы: X_p, Y_p

б) Комбинированная линейно-угловая засечка (рис. 7).

Исходные пункты: А, В.

Измеряемые элементы: β_1, β_2, S

Неизвестные элементы: X_p, Y_p

в) Обратная линейно-угловая засечка (рис. 8).

Исходные пункты: А, В.

Измеряемые элементы: β, S_1, S_2

Неизвестные элементы: X_p, Y_p

Способ обратной линейно-угловой засечки для определения координат точек получил широкое распространение при измерении углов и расстояний с помощью электронных тахеометров.

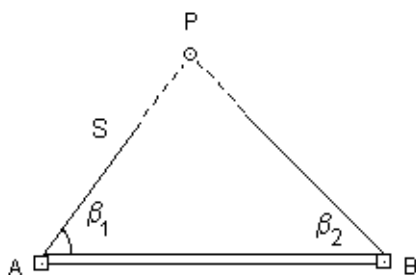


Рис. 6

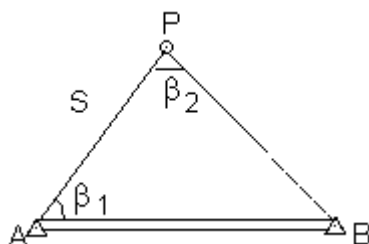


Рис. 7

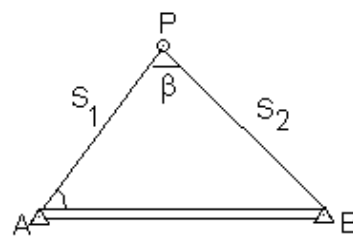


Рис. 8

При земельно-кадастровых работах схему определения координат межевых знаков на основе обратной линейно-угловой засечки называют методом свободного выбора станции.

При обратной линейно-угловой засечке для определения координат точки P на ней центрируется электронный тахеометр и производятся измерения расстояний S_1 , S_2 до исходных пунктов A и B, угла между ними β , значение которого должно быть не менее 30° и не более 150° .

Схемы линейно-угловых засечек различного вида в геометрическом отношении представляют собой треугольник, в котором одна из сторон является исходной, координаты третьей вершины определяются из измерений углов и сторон в разных комбинациях.

Для оценки точности положения пункта, определяемого из разных вариантов линейно-угловых засечек получены формулы средних квадратических ошибок Л.В. Вороновым [1], П.А. Каревым [2]. На основании анализа полученных формул в работе [2] показано, что точность положения пункта, определяемого построением треугольника с измеренными сторонами и углами, выше точности определения этого пункта по результатам только угловых или только линейных измерений.

В данной статье излагается концептуально новый подход к оценке точности линейно-угловых засечек с выводом менее сложных, математически строгих формул средних квадратических ошибок положения определяемых пунктов.

Предлагается для оценки точности линейно-угловой засечки первоначально в треугольнике с измеренными сторонами и углами выделить элементы прямой угловой засечки с измеренными углами, элементы линейной засечки с измеренными расстояниями и элементы полярного способа (засечки) с измеренной стороной и углом на исходном пункте.

Для установленных раздельных засечек по известным формулам (1), (2), (4) вычисляются соответствующие ско:

- Для прямой угловой засечки – $M_{у.з.}$,
- Для линейной засечки – $M_{л.з.}$,
- Для полярного способа – $M_{п.з.}$.

Значение $M_{л-у.з}$ – ско положения пункта, определяемого данной линейно-угловой засечкой, находится как среднее весовое из средних квадратических ошибок отдельных засечек.

С принятыми обозначениями среднее весовое ско прямой линейно-угловой засечки $M_{л-у.з}$ определяется по формуле

$$M_{л-у.з} = \frac{M_{у.з} \cdot M_{л.з}}{\sqrt{M_{у.з}^2 + M_{л.з}^2}}, \quad (5)$$

$$\text{где } \dot{I}_{\delta} = \frac{m''_{\beta}}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad M_p = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{m_{s1}^2 + m_{s2}^2}.$$

Для одного из вариантов комбинированной линейно-угловой засечки

$$M_{л-у.з} = \frac{M_{л.з} \cdot M_{н.з}}{\sqrt{M_{л.з}^2 + M_{н.з}^2}}. \quad (6)$$

Для обратной линейно-угловой засечки (способа свободного выбора станции):

$$M_{\ddot{e}} - \acute{o}. \zeta = \dot{I}_{\ddot{e}}. \zeta.$$

Примечание. Измеряемый в обратной линейно-угловой засечке на определяемом пункте горизонтальный угол γ используется для контроля полевых измерений.

Значение ско определяемого пункта в линейно-угловых засечках зависит от точности измерения расстояний, размеров треугольника засечки и от соотношения точностей угловых и линейных измерений.

В работе [3] установлено, что повышение точности измерения элементов в треугольниках с измеренными сторонами и углами имеет место только при соотношении точностей угловых и линейных измерений, лежащем в интервале

$$\frac{1}{3} \leq \frac{m''_{\beta}}{\rho''} : \frac{m_s}{S} \leq 3,$$

Оптимальным для повышения точности элементов треугольника является соотношение

$$\frac{m''_{\beta}}{\rho''} : \frac{m_s}{S} = 1, \quad (7)$$

при этом

$$m_s = \frac{m''_{\beta}}{\rho''} S. \quad (8)$$

При оптимальном соотношении точностей измерения углов и сторон с учетом равенства (8) формула ско линейной засечки (2) примет вид

$$M_{л.з} = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{m_{s1}^2 + m_{s2}^2} = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{m_{\beta}^2}{\rho''} S_1^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho''} S_2^2}$$

или

$$M_{л.з} = \frac{m''_{\beta}}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}. \quad (9)$$

Полученное при преобразовании выражение (9) для ско $M_{л.з}$ является формулой для ско прямой угловой засечки $M_{у.з}$, что означает равенство ско

$M_{л.з} = M_{у.з}$. В случае оптимального соотношения точностей угловых и линейных измерений при равенстве средних квадратических ошибок угловой и линейной засечек выражение для средней квадратической ошибки линейно-угловой засечки упрощается и принимает вид:

$$M_{л-у.з} \frac{M_{л.з} \cdot M_{у.з}}{\sqrt{M_{л.з}^2 + M_{у.з}^2}} = \frac{M_{л.з}}{\sqrt{2}} = \frac{M_{у.з}}{\sqrt{2}}. \quad (10)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов, Л.В. Линейно-угловые фигуры для привязки аэроснимков / Л.В. Воронов // Геодезия и картография. – № 3. – 1963. – С. 14–21.
2. Карев, П.А. О точности элементов геодезических построений с измеренными сторонами и углами / П.А. Кареев // Материалы юбилейной научно-техн. конф. по вопросам геодезии, оптики и спектроскопии. – Новосибирск: НИГАиК и НОВАГО, 1967. – С. 51–55.
3. Карев, П.А. О соотношении точности угловых и линейных измерений в линейно-угловых построениях / П.А. Кареев // Научные труды НИГАиК. – Т. XIX. – Новосибирск: НИГАиК, 1967. – С. 51–56.

© А.П. Карев, А.И. Павлова, 2008

УДК 528.28

А.С. Глазунов

СГГА, Новосибирск

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

A.S. Glasunov

SSGA, Novosibirsk

MODERN TRENDS IN ASTROGEODESY

Field astronomical fixations have practically disappeared from geodetic practice in our country, though this method is the only one for direct construction of a plumb-line components (УОЛ) ξ and η .

For the field astronomical fixations to come back to geodetic works it is necessary to increase their efficiency alongside with accuracy. This problem can be solved by introducing new engineering solutions and above all charge-coupled devices (CCD matrix) as radiation detectors.

Some European universities (Hannover, Zurich) have already developed a digital zenith camera for prompt УОЛ determination, that allows you to estimate values ξ and η automatically to an accuracy of $\min 0'',1$ within less than an hour observation. In so doing geodetic positions were determined by GPS-receiver. The cameras were used for geoid determination in Alpine zone, while constructing a railroad tunnel through St Gottard mountain chain, for localization of salt deposits in Germany. They are going to use the cameras for gravimetric- satellites GOCE-GRAND data control and for the construction of elementary particles accelerators TESLA in Germany and NLC in the USA.

The Siberian State Academy of Geodesy is working at the problem of astrofixes automation, upgrading astronomic theodolites by replacing the eye-piece micrometer for a CCD one.

Полевые астрономические определения практически исчезли из геодезической практики в нашей стране, хотя этот метод является единственным для непосредственного получения составляющих отвесных линий (УОЛ) ξ и η . Определение составляющих уклонов отвесных линий ξ и η необходимы для связи геоцентрической и референцной систем координат, вывода разницы нормальных и геодезических высот, для обеспечения инженерно-геодезических работ при строительстве крупных гидросооружений, тоннелей, ускорителей элементарных частиц и других уникальных инженерных сооружений [1,2]. Как известно [3], влияние составляющих отвесной линии на измеренное горизонтальное направление записывается

$$V = (\eta \cos A - \xi \sin A) \operatorname{ctg} Z. \quad (1)$$

В табл. 1 приведены значения V при различных значениях выражения $(\eta \cos A - \xi \sin A)$ и зенитного расстояния.

Как следует из результатов табл. 1, поправками в измеренные горизонтальные направления, нельзя пренебрегать даже при небольших углах наклона ($h = 5^\circ$). Учёт этой поправки [4] в направления геодезической сети, проложенной в горном районе Австрии, позволило уменьшить ср. кв. ошибки плановых координат на 30%. При этом средние значения составляющих отвеса ξ и η равнялись $10'' \div 15''$, а астрономические координаты определялись с точностью $0.7'' - 0.8''$.

Таблица 1. Значения поправок в горизонтальное направление

Значения $(\eta \cos A - \xi \sin A)$ в "	Значения V в "			
	$Z = 85^\circ$	$Z = 80^\circ$	$Z = 75^\circ$	$Z = 70^\circ$
5	0.43	0.88	1.34	1.82
10	0.87	1.76	2.66	3.64
15	1.31	2.64	4.02	5.46
20	1.79	3.52	5.36	7.28

Астрономо-геодезический метод определения ξ и η по своей точности и простоте не имеет себе равных. При известных астрономических координатах пункта φ и λ и геодезических B и L составляющие уклонения отвесной линии в данной точке можно получить из выражений

$$\xi = \varphi - B - 0''.171 \times H \times \sin 2B; \quad \eta = (\lambda - L) \times \cos \varphi.$$

Учитывая, что в настоящее время геодезические координаты можно оперативно и с высокой точностью определять из спутниковых наблюдений, возможности астрономо-геодезического метода определения УОЛ заметно возросли.

Главной причиной уменьшения объёмов полевых астрономических определений и даже полного отказа от них являются: значительная зависимость от погоды; длительность наблюдений на полевом пункте; сложная методика наблюдений и обработки результатов, требующая высококвалифицированных специалистов, подготовка которых требует значительных затрат. Эти причины влияли на стоимость астрономических определений и привели к значительному их сокращению.

Для возвращения полевых астроопределений в геодезическое производство необходимо наряду с повышением точности заметно повысить их производительность. Решение этой проблемы возможно при внедрении новых технических решений и, прежде всего, приборов с зарядовой связью (ПЗС-матриц) в качестве приёмников излучения. ПЗС обладает преимуществами как перед фотопластинкой так и перед фотоумножителем. Во-первых, это возможность наблюдения более слабых объектов, во-вторых, цифровое представление материала наблюдения, позволяющее обрабатывать результаты с помощью компьютера в процессе наблюдений. Это повышает в конечном итоге как производительность, так и точность определений. Внедрение таких

приборов в астрометрии позволило повысить в несколько раз точность и более чем на порядок производительность определений [5].

В ряде университетов Европы (Ганновер, Цюрих) в настоящее время созданы зенитные цифровые камеры для оперативного определения УОЛ, которые позволяют в автоматическом режиме получать значения ξ и η с точностью $0'',1$ и лучше менее чем за час наблюдений. Геодезические координаты при этом определялись с помощью GPS-приёмника. В связи с уникальными возможностями этих приборов рассмотрим их более подробно.

Предшественниками цифровых зенитных камер были фотографические зенитные камеры TZK 1,2,3 разработанные в университете Ганновера в 70-ые – 80-ые годы XX века (подобная разработка была выполнена в начале 70-х годов в НИИГАиКе К.М. Антоновичем). Эти камеры позволяли оперативно определять астрономические координаты, но требовали много времени для измерения снимков, что снижало их экономическую эффективность. С появлением дешёвых ПЗС-сенсоров в университетах Ганновера и Цюриха камеры TZK2 и TZK3 были переоборудованы. Вместо фотокамеры установлена ПЗС-матрица. Первую переоборудовали в Ганновере и назвали TZK2-D, вторую в Цюрихе и назвали «Диадема». Общий вид камер представлен на рис. 1.

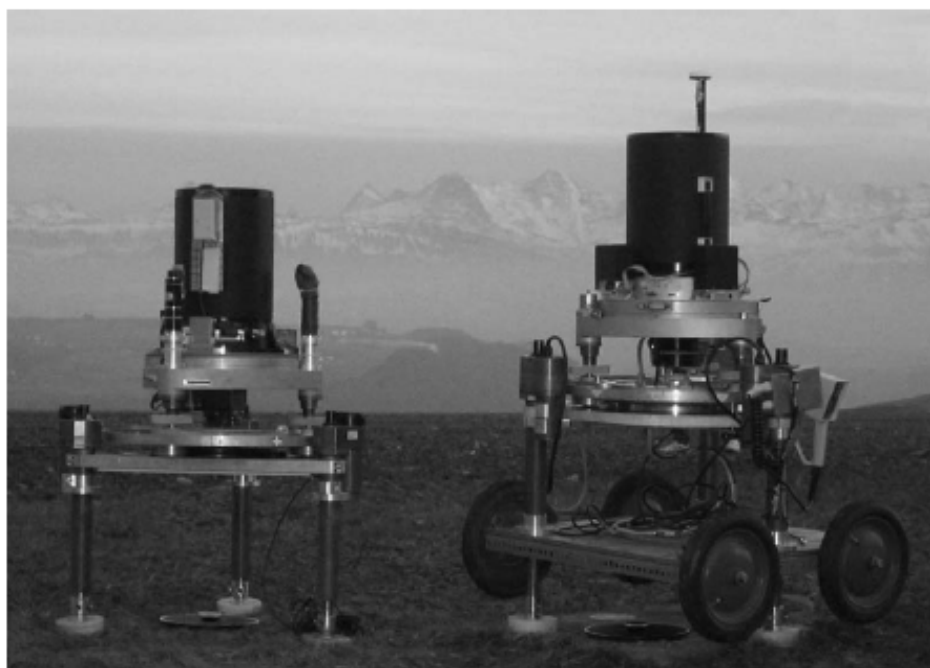


Рис. 1. Зенитные камеры «Диадема» (слева) и TZK2-D (справа) на геодезической станции Циммервальд (Швейцария), 2003 г.

В камерах автоматизирован процесс нивелировки и фокусировки. Для измерения остаточного наклона на камеры установлены электронные уровни типа HRTM фирмы Липман, с точностью измерения наклона $0,05''$. Управление камерами осуществляется с помощью ноутбука по радиоканалу, обработка наблюдений выполняется с помощью специального программным

обеспечением «Auriga». Обработка измерений ведётся в режиме реального времени. Как пишут авторы, для измерений требуется только один клик мыши.

Камеры используются для определения геоида в альпийской зоне. Отмечается, что по сравнению с гравиметрической методикой астрономогеодезические наблюдения представляют независимый набор данных и их выборка может быть признана репрезентативной.

Рабочее место оператора представлено на рис. 2.



Рис. 2. Рабочее место оператора камеры «Диадема»

Для определения геодезических координат и УОЛ на камерах смонтирована антенна GPS-приёмника [6, 7]. Точность определения УОЛ зависит от продолжительности наблюдений. Достигнутые значения точности при различной продолжительности наблюдений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Точность определения координат зенитными цифровыми камерами

Тип наблюдений	Продолжительность наблюдений	Количество наблюдений	Количество звёзд	Уровень точности в "
Единственное наблюдение	30 секунд	1	40-100	0.2-0.3
Полевые определения	20 минут	50	2000-5000	0.08-0.1
Расширенные определения	2 часа	200	10000-20000	0.05
Высокоточные определения	10-20 часов	>1000	>50000	0.02-0.03

Зенитные камеры использованы для определения УОЛ при строительстве 57-и километрового железнодорожного туннеля через горный массив Сент-Готтард (рис. 3).

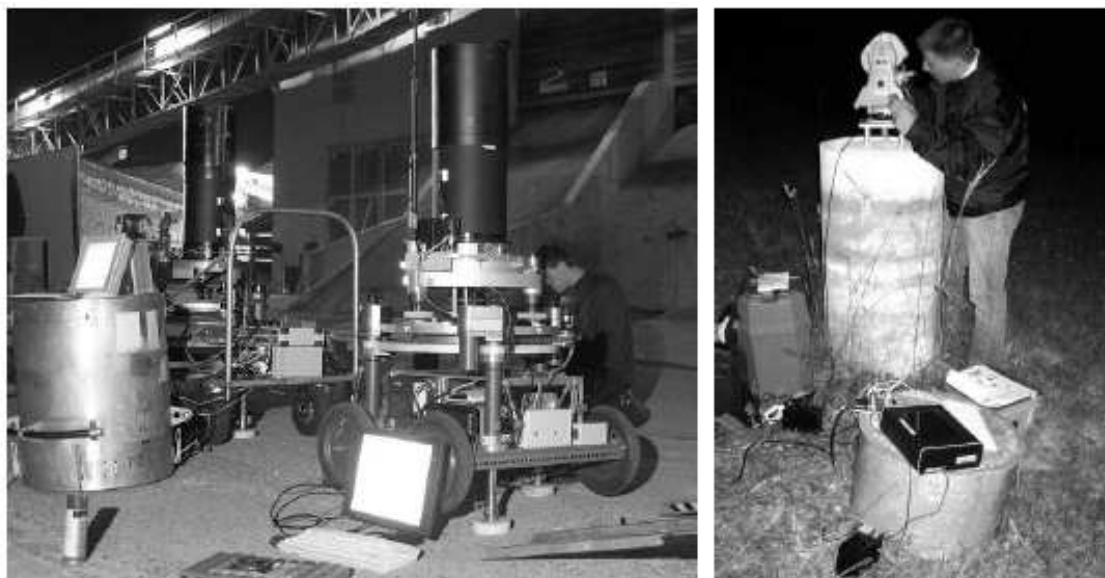


Рис. 3. Системы ДИАДЕМА (слева) и TZK2-D на строительной площадке альпийского транзита. Правое изображение: измерение астрономического азимута в порталном столбе посредством системы ИКАРАС ЕТН Цюрих

Астрономогеодезические УОЛ в сочетании с гравиметрическими аномалиями силы тяжести позволили с максимальной точностью локализовать соляные купола на месторождении в Германии. Эти работы выполнялись в рамках сотрудничества с немецкой соляной компанией K+S GmbH [6, 7].

Определения УОЛ с помощью цифровых зенитных камер также планируется использовать для контроля данных гравиметрических спутников GOCE-GRAND и для обеспечения работ по строительству новых линейных ускорителей TESLA в Германии и NLC в США. Утверждается, что сочетание астрономических определений и гидростатического нивелирования при строительстве линейных ускорителей позволяет определять производную эллипсоидальной разности высот на уровне 0.1 мм на км. В качестве резервной навигационной системы, подобные камеры планируют применять в ВМФ США [7].

В качестве замечаний по этим разработкам можно отметить большие габариты зенитных камер, а следовательно трудности при транспортировке и невозможность использования этих инструментов для определения азимута.

Нами предложен другой вариант автоматизации астрономических определений – модернизация существующих инструментов. Результаты этих разработок изложены в статьях [8-10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машимов, М.М. Высшая геодезия [Текст] / М.М. Машимов. – М.: ВИА, 1991. – 552 с.
2. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии [Текст] / П.С. Закатов. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
3. Пеллинен, Л.П. Высшая геодезия [Текст] / Л.П. Пеллинен. – М.: Недра, 1978. – 264 с.
4. Влияние измеренных и полученных БПФ-методом отклонений отвеса в точной инженерной сети = Effects of measured and FFT – evaluated deflections of the vertical in a precise engeneering network. Grimm-Pitzinger A., Weber R., Weinold Th. *IAG Reg. Symp. Deform. and Crustal Mov. Invest. Using Geod. Techn., Székesfehérvár, Aug. 31 – Sept. 5, 1996: Proc. Székesfehérvár.* – 1996. – С. 127–129.
5. Пинигин, Г.И. Телескопы наземной оптической астрометрии [Текст] / Г.И. Пинигин. – Николаев: Атолл, 2000. – 104 с.
6. Die digitalen Zenitcamerasysteme TZK2-D und DIADEM zur hochpräzisen Geoidbestimmung [Электронный ресурс] / C. Hirt, G. Seeber, B. Bürki., A. Müller. – Режим доступа: <http://www.mplusm.at/ifg/download/hirt-05.pdf>
7. Status of Geodetic Astronomy at the Beginning of the 21st Century [Электронный ресурс] / C. Hirt, B. Bürki. – Режим доступа: http://www.ife.uni-hannover.de/mitarbeiter/seeber/seeber_65/pdf_65/hirt8.pdf
8. Глазунов, А.С. Оперативное определение отклонений отвесных линий из астоопределений на полевом оптоэлектронном астрономическом комплексе [Текст] / А.С. Глазунов, Д.Н. Голдобин // Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное определение. Вторая Всероссийская конференция. – СПб.: ИПА РАН, 2007. – С. 202–204 .
9. Глазунов, А.С. Астрономические определения с применением ПЗС-матрицы [Текст] / А.С. Глазунов, Д.Н. Голдобин, В.В. Коршиков // Геодезия, Геоинформатика, Картография, Маркшейдерия. Т. 1. Ч. 2. Третий Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007». – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 227–231.
10. Глазунов, А.С. Полевой астрономический оптико-электронный комплекс [Текст] / А.С. Глазунов, Д.Н. Голдобин, В.В. Коршиков // Геодезия, Геоинформатика, Картография, Маркшейдерия. Т. 1. Ч. 2. Третий Междунар. науч. Конгр. «ГЕО-Сибирь-2007». – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 231–233.

УДК 528
С.Э. Никифоров
МГГУ, Москва

К ВОПРОСУ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

S.E. Nikiforov
Moscow State University of Geodesy

MINING SURVEYS FOR HYDROCARBON DEPOSITS DEVELOPMENT

The article deals with the features of mining surveying for hydrocarbon deposits development. The authors puts forward a comparative estimation of state education standards for higher school professional training in “Mining”, “Geodesy” and “Land use and cadastre”.

Как известно, нефтегазодобывающая промышленность является отраслью горнодобывающей промышленности, занимающаяся разведкой и добычей углеводородного сырья, а также его транспортировкой для первичной обработки (подготовки).

Горнодобывающая промышленность относится к первичному сектору экономики страны.

Рациональное использование недр, вопросы безопасности ведения горных работ, охраны окружающей среды и сооружений, планирование горных работ и рекультивации земель зависят от полноты, достоверности и научно-технического уровня выполняемых маркшейдерских работ [1].

Понятие «маркшейдерия» или «маркшейдерское дело» включает специализированную отрасль горной науки и комплекс технологий и технических средств решения широкого круга горно-технических задач [2].

Методы и результаты маркшейдерских работ широко используются при нефтегазодобыче [3, 4, 5].

Спецификой развития маркшейдерии в нефтегазодобывающей промышленности является ее тесная связь с геологией нефти и газа (использование приемов маркшейдерии при геометризации залежей).

Маркшейдерское обеспечение нефтегазодобычи весьма разнообразно по своему характеру деятельности на всех стадиях освоения месторождений – разведка, проектирование, строительство (реконструкция), эксплуатация и ликвидация (консервация), а также при строительстве объектов обустройства месторождений.

Обязательность выполнения комплекса маркшейдерских работ при пользовании недрами закреплена Законом Российской Федерации «О недрах», постановлением Правительства Российской Федерации от 26.06.2006 № 392

«О лицензировании производства маркшейдерских работ» и «Положением о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» (РД 07-08-01).

Технические требования к производству маркшейдерских работ при разработке месторождений нефти и газа закреплены в разделе VI «Инструкции по производству маркшейдерских работ» (РД 07-603-03). Отметим, что требования указанного раздела заимствованы из различных разделов «Инструкции по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной и газовой промышленности» (РД 39-117-91) и носят общий характер при противоречивости отдельных положений.

В угольной, горнорудной отраслях промышленности за десятилетия советской власти при помощи специализированных отраслевых институтов было создано высокоразвитое нормативно-методическое обеспечение. Делая скидку на естественный недоучет в этих документах новых технологий ими можно пользоваться и сегодня. В нефтегазовой отрасли такой задел, в силу ряда исторических причин и, в первую очередь, из-за относительной молодости самой отрасли, оказался значительно меньше [6].

Фактически, учебно-методические издания по основам маркшейдерского обеспечения в нефтегазодобывающей промышленности в современных условиях горных разработок, регламенты производства отдельных видов маркшейдерских работ сегодня отсутствуют. Отрицательно сказывается и отсутствие отдельной программы подготовки специалистов по специальности «Маркшейдерское дело» для условий работы в нефтегазодобывающем комплексе страны, не понимание руководителями нефтегазодобывающих организаций задач маркшейдерского обеспечения.

Все это порождает формальное выполнение лицензионных требований и условий при осуществлении деятельности по производству маркшейдерских работ в условиях нефтегазодобычи, возложение на работников маркшейдерской службы функций, не связанных с осуществлением их непосредственных производственных задач (ведение непрофильной деятельности), неэффективность контроля за реализацией проектных решений, подмену понятий вида деятельности.

Представление руководителей нефтегазодобывающих организаций о деятельности маркшейдерской службы в лучшем случае ограничивается знанием «Положения о маркшейдерской службе в нефтяной и газовой промышленности», которое морально устарело и давно не принимается во внимание.

Так, например, при подготовке дипломированного специалиста по направлению 130500 «Нефтегазовое дело» (специальности: «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»; «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ»; «Бурение нефтяных и газовых скважин») образовательной программой не предусмотрено изучение дисциплины «Маркшейдерия» как при подготовке специалистов по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» или «Открытые горные работы», а изучение

дисциплины «Инженерная геодезия» предусмотрена только на специальности «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ». Отметим, что инженер по нефтегазовому делу «изучает и анализирует необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, обобщает и систематизирует их, проводит необходимые расчеты; осуществляет экспертизу технической документации, надзор и контроль за состоянием и эксплуатацией оборудования».

Подчеркнем, что одними из лицензионных требований при производстве маркшейдерских работ являются требования по своевременному определению опасных зон, их учету и нанесению на горную графическую документацию, по своевременному производству инструментальных наблюдений в рамках реализации мер по охране зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок и прогнозирование опасных ситуаций, т.е. превентивные меры по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов.

Промышленная безопасность – это состояние объекта, предприятия производства, определяемое комплексом технических и организационных мер, обеспечивающих стабильность параметров технологического процесса и исключающих (или сводящих к минимуму) опасность возникновения аварийной ситуации или в случае ее возникновения предотвращающих воздействие на людей, вызываемых ею опасных и вредных факторов и обеспечивающее сохранность материальных ценностей [7].

Общий круг задач маркшейдерского обеспечения очерчен критериями лицензируемого вида деятельности, а именно: пространственно-геометрические измерения горных разработок и подземных сооружений, определение их параметров, местоположения и соответствия проектной документации; наблюдение за состоянием горных отводов и обоснование их границ; ведение горной графической документации; учет и обоснование объемов горных разработок; определение опасных зон и мер по охране горных разработок, зданий, сооружений и природных объектов от воздействия работ, связанных с пользованием недрами.

Надо отметить, что маркшейдерские службы в нефтегазодобывающих организациях возглавляют, как правило, инженеры-геодезисты и инженеры-землеустроители, имеющие значительный опыт производственной деятельности, но не знающие в должной мере основ нефтегазового и маркшейдерского дела, геометризации недр. Это напрямую связано с отличием направлений подготовки дипломированных специалистов.

Основные результаты рассмотрения автором государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям подготовки дипломированного специалиста 130400 «Горное дело» (специальность 130402 «Маркшейдерское дело»), 120100 «Геодезия» и 120300 «Землеустройство и кадастры» приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики направления подготовки дипломированного специалиста

Направление/ специальность	Объекты профессиональной деятельности	Задачи профессиональной деятельности (извлечения)	Цикл ОПД (извлечения)				Цикл СД (извлечение)			
			Геология; Горное право; Горное дело и окружающая среда; Безопасность ведения горных работ и горноспасатель ное дело	Инженерное обустройство территорий; Географическ ие и земельно- информацион ные системы; Земельное право	Геодезическое инструментове дение; теория математическо й обработки геодезических измерений	Геодезия ; Фотогра метрия и ДМЗЗ; Картогра фия;	Геомеханика; Геодезия; Основы горного дела; Горные машины и оборудование; Геометрия недр; Рациональное использование и охрана недр	Землеустроитель ное проектирование Земельный кадастр и мониторинг земель; Планировка населенных мест; Геодезические работы при землеустройстве	Технология строительс тва; геодезическ ая гравиметри я; Основы космическо й геодезии	Высшая геодезия;
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Горное дело / «Маркшейдерское дело»	Угольные шахты, рудники, карьеры, подземные сооружения различного функционального назначения, обогатительные фабрики и другие предприятия, связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых и техногенного (созданного человеком) сырья, созданием и эксплуатацией подземного пространства, выполнением горных работ на поверхности Земли при гидротехническом, транспортном строительстве и в других целях	Осуществлять техническое руководство горными работами; контролировать выполнение требований технической документации на производство работ, действующих норм, правил и стандартов; выбирать основные параметры горного предприятия; составлять необходимую техническую документацию; обрабатывать полученные результаты с использованием современных информационных технологий; моделировать процессы, явления	+		+	(в рамках цикла СД)	+			+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Землеустройство и земельный кадастр/ «Землеустройство»	Земельные ресурсы, используемые в различных отраслях народного хозяйства, их распределение по категориям земель, землевладениям и землепользованиям, правовой режим землепользования, количественная и качественная характеристики, управление и контроль за их состоянием и использованием, а также объекты недвижимости, включая земельные участки, находящиеся в границах городов и других поселений, их правовой статус, регистрация, оценка, контроль использования; городская среда; кадастровые информационные системы; проектно-техническая документация	Осуществление проектно-изыскательских работ по землеустройству, земельному и городскому кадастрам, предусмотренных земельным законодательством; разработка схем установления границ земельных участков при образовании и реорганизации землевладений и землепользовании; регистрация прав на земельные участки, недвижимое имущество; выполнение проектно-изыскательских, топографо-геодезических и других изысканий для целей землеустройства		+		+		+		
Геодезия/ «Прикладная геодезия»	Поверхность Земли и других планет, процессы, происходящие внутри Земли и планет, искусственные и естественные объекты на поверхности и внутри Земли и других планет, физические тела Земли, Луны и планет, их гравитационные и другие физические поля, а также особенности их суточного вращения и движения полюсов	Проведение специальных геодезических измерений при эксплуатации поверхности и недр Земли; изучение динамики изменения поверхности Земли геодезическими методами; инженерно-геодезическое обеспечение землеустройства; изучение внешнего гравитационного поля Земли; организация геодезического мониторинга геодинамических процессов; определение количественных характеристик движения литосферных плит; изучение развития процессов деформаций и смещений природных и инженерных объектов, обеспечение их безопасности при развитии негативных природных явлений в инженерной деятельности; наблюдения за деформациями инженерных сооружений			+	+			+	+

Очевидно, что горный инженер по специальности «Маркшейдерское дело» должен решать отдельные производственные задачи во взаимодействии с другими службами. Так, например, совместно со службой землеустроительных работ осуществляется подготовка материалов по оформлению земельных отводов (п.16 РД 07-08-01), приемка землеустроительных работ, выполненных сторонними организациями на договорной основе (п. 49 «Правил охраны недр» (ПБ 07-601-03) и др.

В то же время, например, геодинимические исследования на базе геодезических и космических измерений относятся к геодезическим работам. Это, в частности, закреплено Федеральным законом от 26.12.1995 № 209-ФЗ «О геодезии и картографии». Добавим, что методическое руководство 1985 года «Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинимических полигонах», в соответствии с которым, как правило, сегодня продолжают проектироваться и вестись наблюдения на месторождениях углеводородного сырья, согласно приказа Роскартографии должно было быть пересмотрено (с учетом развития современной техники и технологии и представлений об изучаемых процессах) ЦНИИГАиК в 1993 году (в рамках участия ведомства в федеральной системе сейсмологического наблюдений и прогноза землетрясений).

Принимая во внимание вышесказанное можно говорить, что на данном этапе эффективность деятельности маркшейдерских служб нефтегазодобывающих организаций предопределяется пониманием необходимого комплекса работ в конкретных горно-геологических условиях, который должен быть закреплен, согласно действующих норм, в проектной документации, работающей на укрепление правовых основ маркшейдерской деятельности, повышения статуса маркшейдерских служб.

В заключение приведем требования к профессиональной подготовленности выпускника по специальности «Маркшейдерское дело». Горный инженер должен [8]:

Иметь представление:

- О месторождениях полезных ископаемых и строительных материалов, их геологии и основных характеристиках;
- О месте и роли горного дела в развитии науки, техники и производства, принципах рационального и комплексного недропользования;
- Об основах проектирования объектов горного производства как технологических систем;

Знать:

- Способы и методы ведения горных работ, определение их основных параметров;
- Способы и методы обогащения и комплексной переработки минерального сырья;
- Способы и средства геологического изучения объектов горного производства;

– Методы и средства пространственно-геометрических измерений на земной поверхности и в горных объектах, оценку точности измерений, математические методы обработки наблюдений;

– Методы проведения маркшейдерских работ при строительстве шахт, карьеров, тоннелей и других наземно-подземных сооружений различного назначения, перенесение геометрических элементов сооружения с проекта в натуру и контроль за их осуществлением согласно проекту;

– Методы геометризации форм, условий залегания залежей, размещения в них полезных и вредных компонентов и процессов, происходящих в недрах при ведении разведочных и горных работ;

– Маркшейдерские, геодезические, фотограмметрические, гироскопические, ультразвуковые приборы, свето- и лазерные дальномеры для выполнения маркшейдерских работ;

Уметь:

– Прогнозировать горно-геологические условия проведения горных работ и влияние этих работ на изменение напряженного состояния горного массива;

– Методами маркшейдерских наблюдений устанавливать закономерности и параметры процесса сдвижения горных пород, устойчивости бортов карьеров и отвалов, определять границы опасных зон в районе производства горных работ; разрабатывать меры по охране сооружений и природных объектов от сдвижений, вызванных горными разработками;

– Рассчитывать и учитывать движения запасов полезных ископаемых, потерь и разубоживания; экономически оценивать полноту извлечения, комплексного и рационального использования полезных ископаемых;

– Составлять маркшейдерскую горно-графическую документацию для решения горно-технических задач;

– Самостоятельно принимать решения, разрабатывать и вести техническую документацию, организовывать повышение квалификации рабочих;

– Осуществлять мероприятия по предотвращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний;

Владеть:

– Основами создания автоматизированных систем сбора, обработки и графического выражения маркшейдерской информации с использованием универсальных приборов, спутниковых и инерциальных навигационных систем;

– Современной вычислительной техникой;

– Рациональными приемами поиска и использования научно-технической информации по горному делу и маркшейдерии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стенин Н.И. Организация маркшейдерских работ на горных предприятиях. М.: Недра, 1986. – 176 с.

2. Яковлев Д.В. Геомеханика и маркшейдерия как система знаний о геологической среде / Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сб. науч. тр. / ВНИМИ. – СПб., 1999. – 496 с.
3. Маркшейдерское дело: Учеб. для студ. гор. ВУЗов / Казаковский Д.А. и др. – М.: Недра, 1970. – Часть I. – 232 с.
4. Мазницкий А.С., Сова В.Г. Маркшейдерско-геодезические работы на месторождения нефти и газа. М.: Недра, 1979. – 325 с.
5. Герович Э.Г. Маркшейдерское обеспечение разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений: Учеб. пособ. – Пермь, ПГТУ, 1994. – 209 с.
6. Грицков В.В. О совершенствовании механизмов рационального использования и охраны недр / доклад на Всерос. науч.-практ. конф. «Новые технологии в маркшейдерско-геодезическом обеспечении горных работ» г. Москва, 29-31.10.2007.
7. Терминологический словарь по промышленной безопасности / В.К. Шалаев. М.: ОАО «НТЦПиБ». – 2006. – 584 с.
8. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 650600 «Горное дело». Москва, 2000. – 56 с.

© С.Э. Никифоров, 2008

HOW CAN YOU ESTIMATE THE GEOID UNDULATION BY LEAST SQUARE COLLOCATION TECHNIQUE AND GPS DATA?

Levels have been normally derived by conventional surveying methods and their values are related to the geoid surface. Hence, in order to derive heights above the geoid by GPS, it is necessary to know the height of the ellipsoid above the geoid where over wide areas of the world. This relation is not known with a great precision. Nowadays, various mathematical models of the geoid determination are existed. Most of these models have been derived for individual countries based upon satellite observations and terrestrial gravity data. Others models are derived based on astronomical and geometrical observations and others utilized a combination of all types of the available data. This paper investigates the application of using least square collocation (LSC) model in determination the geoid undulation in Egypt from GPS observations.

Introduction

The geoid is an equipotential surface of the earth that coincides with the undisturbed mean sea level. Therefore one might say that it describes the actual shape of the earth. The geoid is also the reference surface for most height networks since leveling gives the heights above the geoid. In geodesy, these heights are called orthometric heights (H), but they are the ordinary heights above the sea level [7].

The geoid is determined by using several techniques based on a wide variety of using one or more of the different data source such as: Gravimetric method using surface gravity data, Satellite positioning based on measuring both ellipsoidal heights for stations with known orthometric heights, Geopotential models using spherical harmonic coefficients determined from the analysis of satellite orbits, Satellite altimetry using satellite-borne altimetric measurements over the ocean [6].

The ellipsoid is the mathematical figure generated by the revolution of an ellipse about one of its axes. The ellipsoid is dividing into two types; local and international ellipsoid according to the study and the country.

The geoid defines the astronomic coordinate system while the reference ellipsoid defines the geodetic coordinate system. The relationship between these two systems is relative and can be fully described at any point in space by specifying the magnitude of the linear separation and the angular deviation between the two systems at the same point [4]. The separation denoted by N, is known as goidal undulation, separation or geoid height (positive or negative depending on the relation in equation1.

$$N = h - H \quad (1)$$

Where N- is the geoid undulation, h – is the ellipsoidal height and H – is the orthometric height.

The purpose of using the Least-Square Interpolation Technique in the geoid undulation determination is to supplement the GPS/Leveling observations, which are made at only a relatively few points, by dense points which their values of geoid undulation are estimated across a surface covering a specific region.

Methodology and models

The adoption of the least square collocation (LSC) technique for geoid determination requires the solution of a set of linear equations with dimension equal to the number of observations [2]. In its simplest form, the least square collocation can be considered as a direct extension of least square prediction. In this technique, it can determine the quantities at the computation points which are not generally the same as those being measured at the data points. Furthermore, the general collocation model is also able to take into account measurement errors at the data points and the possible requirement to compute certain parameters during the prediction process [3].

But at the first, it must be known that how data can be prepared from old observations especially if the precision of this data was not known. So, the process has two steps:

First step: The covariance matrix

Let there are old observations at points 1, 2, 3,..., n points, and the covariance matrix between these measurements relative to the distance between these points (d_{ij}) will be calculated. Divide all the distances between every pair of points to equal distance (r_k). So, for the distance (r_1) the covariance between every pair of points can be calculated according to the following equation:

$$C_1 = \frac{1}{n_1} \sum U_i U_j \quad (2)$$

Where C_1 is the covariance between i, j , n_1 - is The total number of pairs which satisfy the distance $r_{i,j}$ and U_i, U_j - are the measurements at points i, j .

For the general case for every distance r_k the general equation is as follows:

$$C_k = \frac{1}{n_k} \sum U_i U_j \quad (3)$$

After that, a histogram can be drawn showing the relation between the distance and the covariance between points as shown in figure 1. The curve function can be expressed as:

$$C_{i,j} = a e^{(-br_{ij})} \quad (4)$$

Using least square method to calculate parameters a, b . after that the covariance matrix can be expressed as

$$\begin{bmatrix} C_{s1} & C_{s12} \\ C_{s21} & C_{s2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Where

C_{s1}	The covariance matrix of the original data
C_{s2}	The covariance matrix of the computational points
C_{s21}, C_{s12}	The covariance matrix between data points and the computational points.

Second step: General case of least square collocation

In order to calculate the equation for the least square collocation, first the observation equation which contains parameters and observations will be linearised by Taylor's series is as follows

$$B(l + v) + A\Delta = b \quad (6)$$

Where:

B	The coefficient matrix of observations.
l	The observations at data points
v	The vector of errors
A	The design matrix of parameters.
Δ	The vector of unknown parameters
b	The vector of constants.

Let a new set observations l_e may be written as:

$$l_e + v_e = (-Bl + b) + Bv \quad (7)$$

where $l_e = (-Bl + b)$, $v_e = (Bv)$.

A special case can be appeared (observation equation) in the least square technique as following:

$$v_e + A\Delta = l_e \quad (8)$$

And the equation of the covariance matrix for the equivalent observation as follows

$$C_{le} = (BCB^T) \quad (9)$$

The above equation can be obtained from the law of error propagation [5]. So, every equation in the main system can be written as follow

$$A\Delta - l_e + GS + n = 0 \quad (10)$$

Where

$$v_e = GS + n \quad (11)$$

and

S The signal of original data and the computation data = $[S_1 \mid S_2]$

n The noise in the observations

S_1 Signals for original data points

S_2 Signals for computation points

G The coefficient matrix for signals $[I \mid 0]$

So, the parameters can be calculated as follows

$$\Delta^{\setminus} = [A^T(C_n + C_{s1})^{-1}A]^{-1} A^T(C_n + C_{s1})^{-1} l_e \quad (12)$$

But we can notice that

$$C_{le} = (C_n + C_{s1}) \quad (13)$$

Vector of signals (S)

$$S^{\setminus} = C_s G^T(C_n + C_{s1})^{-1}(l_e - A\Delta^{\setminus}) \quad (14)$$

Vector of noise (n)

$$n^{\setminus} = C_n(C_n + C_{s1})^{-1}(l_e - A\Delta^{\setminus}) \quad (15)$$

Covariance matrix for signals

$$C_{s\setminus} = C_s G^T(C_n + C_{s1})^{-1} G C_s - C_s G^T(C_n + C_{s1})^{-1} A [A^T(C_n + C_{s1})^{-1} A]^{-1} A^T(C_n + C_{s1})^{-1} G C_s \quad (16)$$

Covariance matrix for noise

$$C_{n\backslash} = C_n(C_n+C_{s1})^{-1}C_n - C_n(C_n+C_{s1})^{-1}A[A^T(C_n+C_{s1})^{-1}A]^{-1}A^T(C_n+C_{s1})^{-1}C_n \quad (17)$$

For solving these equations, a program using least square collocation technique to compute the geoid undulation in Egypt was designed. The first step in program is division the region map of Egypt to grids (0.50' x 0.50') as shown in figure 1. The second step is computation the distances between data points and the geoid undulation

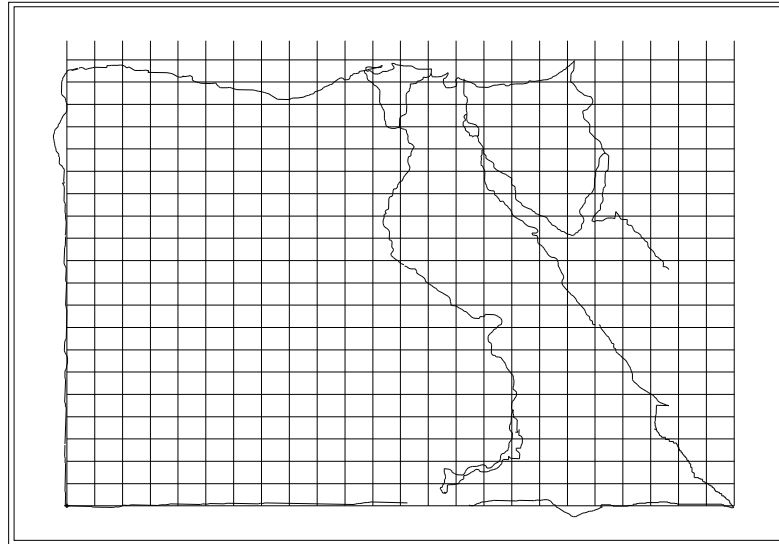


Figure 1. Grids of Egypt region map

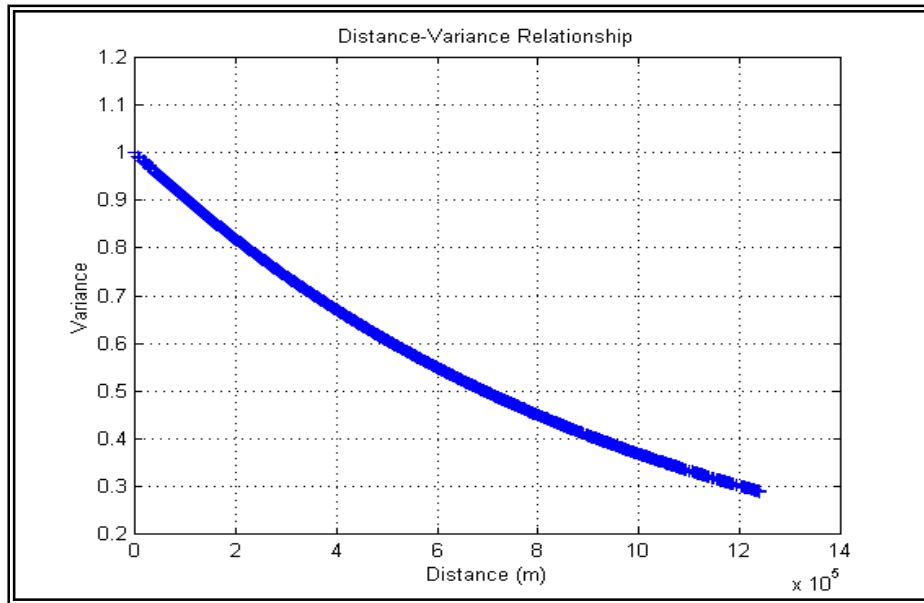


Figure 2. The distance – Covariance relationship

Then, the system of equations can be arranged in the form as following

$$S + N = b \quad (18)$$

Where: $B = [I|0]$ where the unit matrix has a (n,n) dimension, and the null matrix has a (n,q) dimension.

$S = [S11|S22]^T$, where $S11$ is the data vector $(n,1)$ dimension, and $S22$ is the computation vector $(q,1)$ dimension. b is the vector of constants $(n,1)$ dimension.

Then the computation value of geoid undulation at the grid can be obtained from the following equations as a special case of least square collocation where the system will be modeled by the signal S and noise n .

$$\left. \begin{aligned} S' &= C_s B^T (C_n + C_{s11})^{-1} b \\ C_{s'} &= C_s B^T (C_n + C_{s11})^{-1} B C_s \\ n' &= C_n (C_n + C_{s11})^{-1} b \\ C_{n'} &= C_n (C_n + C_{s11})^{-1} C_n \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Where: C_n is the covariance matrix of observations.

Results and conclusion

Using the above solution steps and the available data for Egypt with the designed Matlab program, a statement about geoid undulation in Egypt is possible. The obtained results show that the values of distortion geoid undulation in Egypt for available data are in the range of 1.9 m. The contour map of the geoid undulation for the Egyptian grids by using LSC model is shown in figure 3.

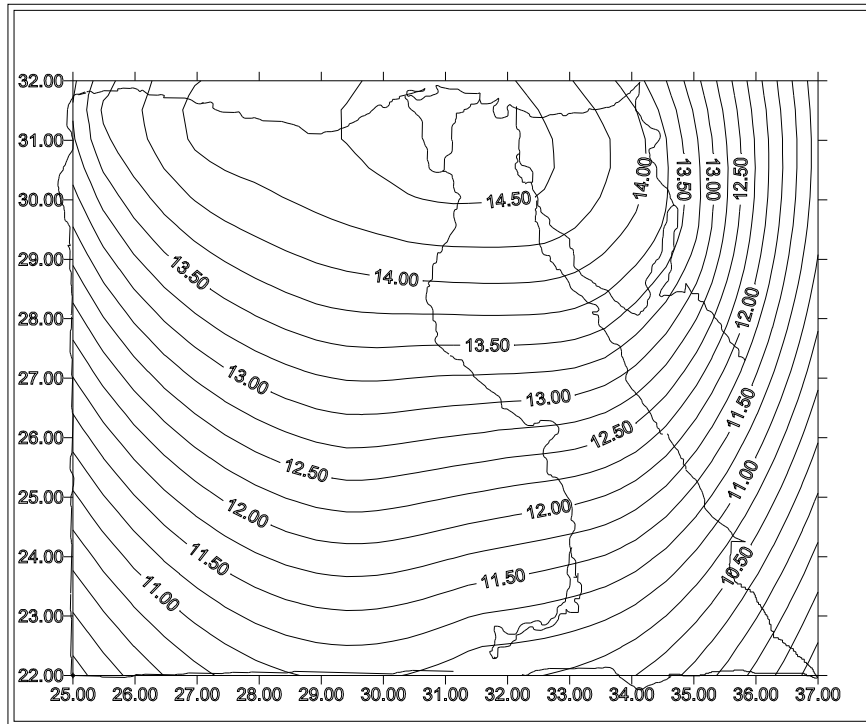


Figure 3. The geoid undulation by using LSC model in two directions in Egypt

As shown in figure 3, the values of geoid undulation in the study area between 10 m and 14.5 m. These values approximately are good for this region because the distribution of most of these points is in north Egypt, and similar to the gravimetric geoid in Egypt.

The accuracy of this new methodology for computation the geoid undulation approaches ± 0.62 m, so this method can be used to estimate approximate geoid.

Least square collocation with few common points can determine the approximate orthometric height at any other points. It depends on the mesh grid of the studied region and its known points to compute the unknown points.

When the number of common points is increased, the obtained accuracy from this technique will be improved.

REFERENCES

1. M.Kaloop, 2006 "Precise leveling by using global positioning system", M.Sc. thesis, faculty of engineering, Mansoura university, Egypt.
2. H.EL-Shmbaky, 2004 "Development and Improvement the transformation parameters for Egyptian coordinates", Ph.D. thesis, faculty of engineering, EL-Mansoura university, Egypt.
3. P.A.Cross, 1983 "Advanced least squares applied to position-fixing", Department of land surveying, London.
4. E.Farag, 2000. "Evaluation and Enhancement of Gravity Field for Egypt Based on Gravity Network ENGSN97 and Geopotential Model EGM96", faculty of engineering, Cairo university, Egypt.
5. Mikhail E.M., 1976 " Observations and least squares" Dun Donnelly, New York.
6. A.A.Saad, G.M.Dawood, 2002 " A precise integrated GPS/Gravity geoid model for Egypt" Shoubra faculty of Engineering, Egypt.
7. Lars Harrie, 1993 " Some specific problems in geoid determination" Department of Geodesy and Photogrammetry Royal Institute of Technology, Sweden

© M. Kaloop, H. El-Shmbaky, Ashraf A. Beshr, 2008

УДК 528.475

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

P.P. Mursinzev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plahotnogo St/Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GEODETIC MONITORING OIL AND GAS DEPOSITS

Comprehensive monitoring must contain the information about geodynamic surveying site, deformations of engineering constructions, as well as geodetic data of underwater main pipelines.

Геодезический мониторинг нефтегазовых месторождений развивался по двум направлениям; это создание геодинамических полигонов на территориях подверженных сейсмическим рискам и наблюдение за осадками и деформациями товарных парков резервуаров временной сохранности нефти (РВС). В настоящее время на некоторых территориях (в г.Сургуте, Самарской области), создаются сети постоянно действующих GPS/ГЛОНАСС, базовых станций. На территории производственной деятельности нефтяной компании ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» создается спутниковая сеть из пяти постоянно действующих станций. Схема сети представлена на рис. 1.

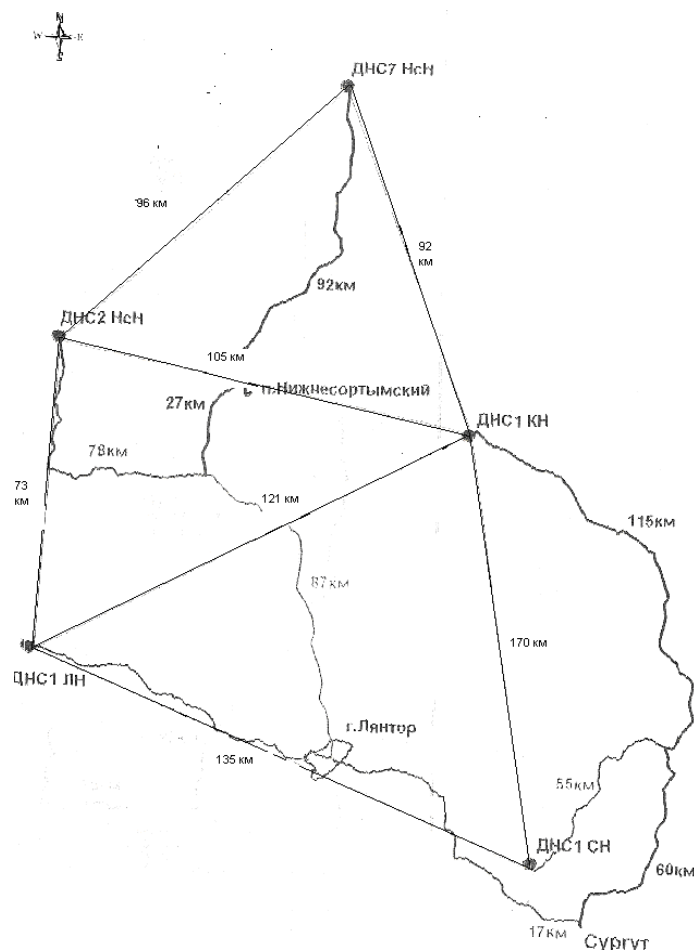


Рис. 1

Работы ведут специалисты «Навгеоком», при организационной поддержке службой главного маркшейдера ОАО СНГ и инженеров фирмы «Возрождение». Безусловно, с созданием спутниковой сети появляется новая возможность в оценке технического состояния инженерных сооружений на основе объективной геодезической информации. Однако, даже в этом случае геодезический мониторинг нефтегазовых месторождений нельзя считать комплексным, если в него не включать сведения об особо ответственных инженерных сооружениях, например мониторинг подводных переходов магистральных трубопроводов.

На территории г. Сургута кроме товарных парков к особо ответственным инженерным сооружениям можно отнести завод стабилизации конденсата (ЗСК), Сургутскую ГРЭС, и некоторые другие объекты. На наш взгляд информации получаемой с помощью геодезического полигона г. Сургута недостаточно для комплексного геодезического мониторинга. На рис. 2 представлена схема геодезического полигона, в непосредственной близости от селитебной зоны.

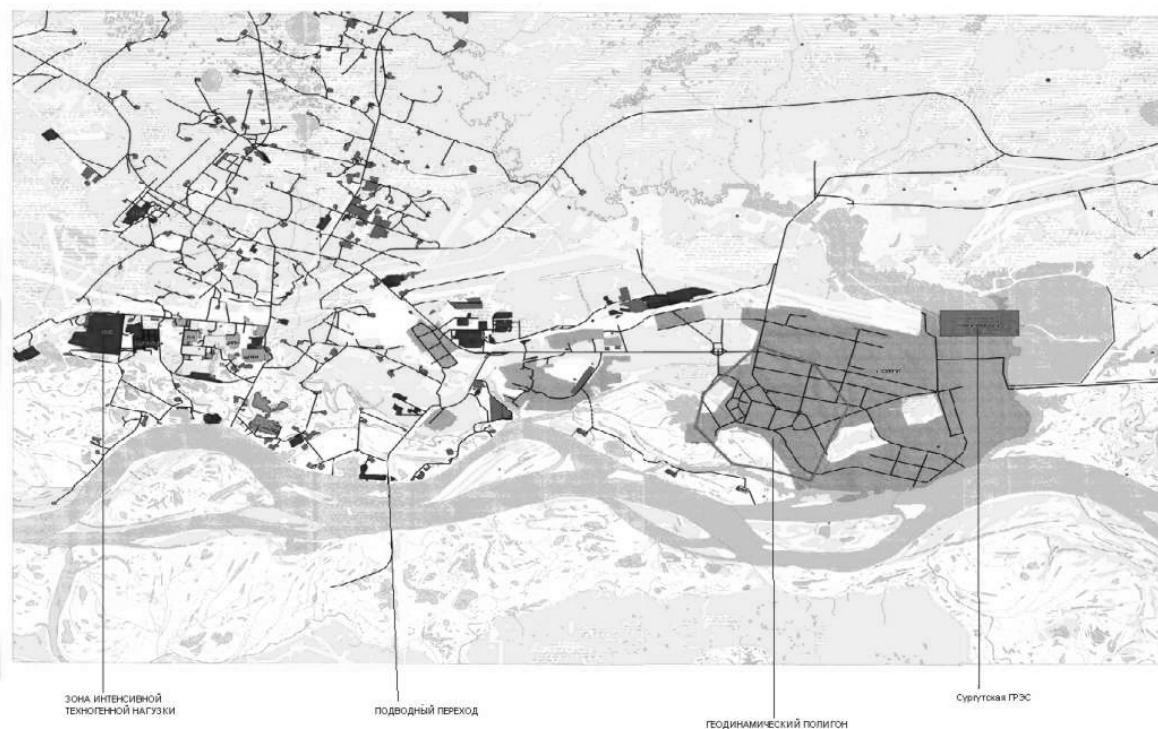


Рис. 2

В тоже время из схемы видно, что оценить влияние геодинамических процессов на функционирование ГРЭС весьма сложно, из-за значительной удаленности объекта. Еще менее изученной остается территория интенсивной добычи нефти в промышленной зоне, в районе функционирования завода стабилизации газового конденсата, товарного парка и т.п.

От Завода стабилизации конденсата (ЗСК) отходят трубопровод ШФЛУ (широкие фракции легких углеводородов) т.е. коридор коммуникаций. Район относится к территории с высокой техногенной нагрузке и, безусловно, должен быть включен в геодезический мониторинг нефтегазовых месторождений. Для решения этой проблемы предлагается создавать нивелирную сеть в виде замкнутых полигонов из нивелирных ходов II класса, с организацией наблюдений за осадками и деформациями особо ответственных инженерных сооружений.

Проблема совместной обработки результатов нивелирных, гравиметрических, является актуальной в течение многих десятков лет. [1,3]. Отдельные результаты были достигнуты в Сибирской Государственной Геодезической Академии при моделировании геодинамического объекта и системы наблюдений, вертикальных движений физической поверхности Земли вблизи вулкана [4].

Отметим, что с внедрением многолучевых эхолотов в приборный комплекс для мониторинга подводных переходов трубопроводов появляется не только возможность построения 3-D моделей поверхности рельефа дна, но и возникает проблема учета геодезических данных на поверхности и их влияния на инженерные сооружения в зоне интенсивной техногенной нагрузки. На рис. 3

показана причальная стенка, которая подвержена серьезным деформациям, вследствие многолетней (безремонтной эксплуатации), усталости металла и, возможно деформационным изменениям под влиянием русловых процессов.



Рис. 3. Причальная стенка

На рис. 4 представлена цифровая модель причальной стенки, с рельефом дна полученная с помощью многолучевого эхолота, каждая точка «облака» имеет три координаты.

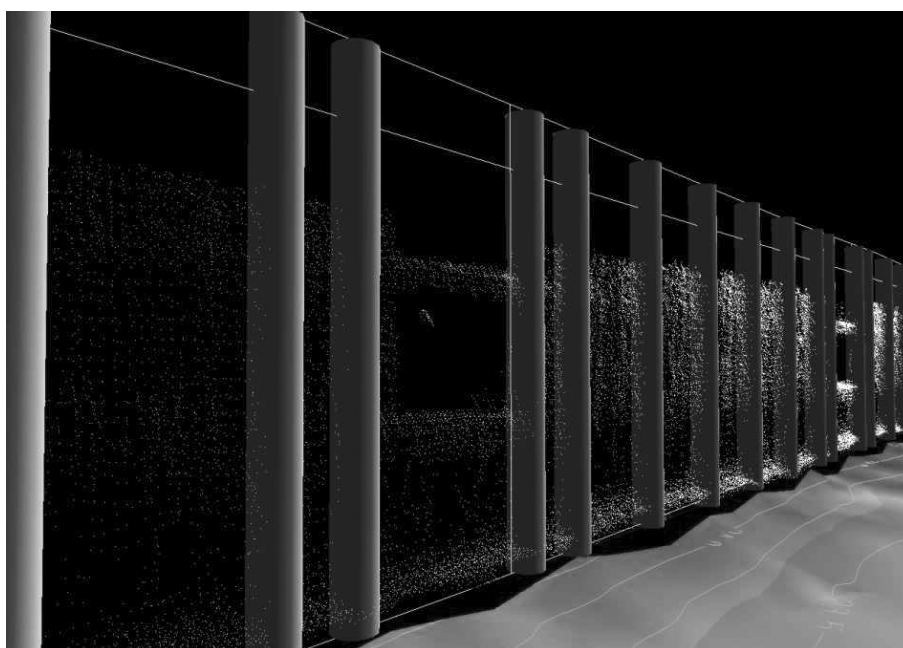


Рис. 4. 3-D модель подводной части причальной стенки

Отметим, что проблему совместной обработки результатов геодезических измерений решают в общей системе горизонтальных декартовых прямоугольных геодезических координат $X = (x, y, H)$ и времени t [2]. Задача существенно усложняется не только при учете результатов инженерно-геодезических наблюдений за осадками и деформациями инженерных сооружений, но и при прогнозировании поведения последних.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кафтан В.И., Серебрякова Л.Н. Современные движения земной коры // Геодезия и аэрофотосъемка, Т. 28 (Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР). – М.: 1990.
2. Панкрушин В.К. Математическое моделирование и идентификация геодинамических систем. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 424 с.
3. Юркина М.И. Исследования по совместному определению изменений земного гравитационного поля и вертикальных движений земной коры по повторным гравиметрическим и нивелирным наблюдениям / Повторные гравиметрические наблюдения. – М.: 1988. – С. 6–22.

© П.П. Мурзинцев, 2008

УДК 528.4

Joël van Cranenbroeck

Business Development Manager

GNSS Networks and Geodetic Monitoring

Leica Geosystems AG, Heerbrugg

Switzerland

AUTOMATIC GEODETIC MONITORING SOLUTIONS EARLY WARNING SYSTEMS FOR STRUCTURAL ENGINEERING RISK'S MANAGEMENT

Since the prestigious optical theodolite Wild T3, Leica Geosystems AG Heerbrugg, has continually innovated in the high accurate geodetic instrumentation for the monitoring of the large civilian engineering structure.

Mixing up single and multi-frequency, multi-constellation GNSS receivers and Automatic Total Stations as well as with the most precise inclinometers in its software suites GNSS Spider, GNSS QC and GeoMoS, Leica Geosystems is delivering solutions worldwide for all large engineering structures where a geodetic monitoring solution is needed alone or to complement geo-technical sensors installations and to provide early warning systems for risk management.

Monitoring tasks and deformation analysis present some of the most sophisticated challenges in the surveying industry today, because they require the highest accuracy, maximum reliability of the sensors, automatic measurements, and highly flexible computation and analysis tools.

With close to 200 years of pioneering solutions to measure the world, professionals worldwide to help them capture, analyse, and present spatial information trust Leica Geosystems products and services. Leica Geosystems is best known for its broad array of products that capture accurately, model quickly, analyze easily, and visualize and present spatial information.

Those who use Leica products every day trust them for their dependability, the value they deliver, and the superior customer support. Based in Heerbrugg, Switzerland, Leica Geosystems is a global company with tens of thousands of customers supported by more than 2,400 employees in 21 countries and hundreds of partners located in more than 120 countries around the world.

AUTOMATIC DEFORMATION MONITORING SYSTEM OF HIGH-SPEED RAILWAY SETTLEMENT IN KOWLOON SOUTHERN LINK PROJECT

The Kowloon-Canton Railway Corporation (KCRC) in Hong Kong acquired an Automation Deformation Monitoring System from Leica Geosystems in December 2005 for continuously monitoring settlement and overall deformation of a section of existing Airport Express Railway during the construction period of the new Kowloon Southern Link project.

The solution package contains 18 units of fully automatic, high-precision Automatic Total Station TCA2003, 5 packages of GeoMos monitoring software, more

than 560 prisms, several computer workstations with networking facility and professional technical services delivered by local Leica Geosystems' specialists.

The Total Stations automatically measure all prisms located at reference control points and also monitoring points every 2 hours and then send the observation data back to GeoMos software operating at a Control Center for routine automatic settlement and deformation analysis, graphical presentation, generating reports and sending alarm messages to engineers when settlement values reach critical level.

Besides, before the departure of the first Airport Express train every morning, a general report is sent to engineers automatically for inspection and they can also access full railway deformation information via Intranet webpage anytime.

As said by Mr. Andrew Wong - Engineering Solution Manager of Leica Geosystems Hong Kong: "It is a well-proof solution for engineer making quick and right decisions and also take necessary actions regarding the influence of new construction works to existing structure".

INTEGRATED GEODETIC MEASUREMENT AND ANALYSIS SYSTEM FOR LARGE DAMS MONITORING

Large earth fill and concrete dams are a critical infrastructure for water supply and power generation. Loading and unloading of the dams due to fluctuations in the water level and settlement of the structure must be monitored to ensure the safety of the structure and the people living in its shadow. Monitoring is the basis for disaster preparedness and early detection of signs of a breach is critical to effective dam safety. Early detection of a weakness in the structure allows for remedial measures to be taken to repair it and prevent a disaster from occurring. Even if repair is not possible, with early warning of a problem action may be taken to mitigate its effects, for example by lowering water levels, thereby saving lives and property.

The monitoring of such large engineering infrastructure is thus becoming more and more important. Geodetic monitoring involves periodic or continuous and automatic measurements of characteristic points in and around an active area to determine the magnitude of deformation but also the velocity and acceleration of the associated displacements.

The Consorzio di Bonifica of Basso Sulcis is one of the numerous associations existing in Italy that manages the water resources. Carbonia's Dam is one of the biggest dam in Sardinia and allows water supply for thousands and thousands people.

The Central Government Authority (Servizio Nazionale Dighe) obliges such associations to monitor dams periodically or in real time in order to prevent eventual problems related with cracking or failure of the structures, ageing of materials with which dams are built and possible deformations caused by big hydraulic loads.

The system installed in Carbonia's dam uses a Leica Automatic total station TCA2003 which measures every four hours a series of prisms positioned on the crest and on the face of the dam. Data from a chain of seven Leica NIVEL high accurate inclinometers installed inside the main underground tunnel are collected every five minutes with the aim to detect eventual rotations of the main body of the dam, caused by the growing mass of water in the dam.

The Gotthard base tunnel will be the longest rail tunnel in the world upon its completion. There is a small risk that construction of the tunnel will cause movements in the land above because of water being drained from the rock mass. Above the area of the tunnel are three of the largest dams in Switzerland.

The awarding authority, "AlpTransit Gotthard AG", decided that it is necessary to continuously monitor the dams and the nearby valleys and mountain peaks.

Realization of the monitoring system has been complicated by the altitude (~2000m), harsh winter conditions and remoteness of the site. The system composed of 10 TCA2003, 80 high accurate reflectors and 4 licenses of GeoMos uses solar power and data communication via GSM phone to power and communicate with the sensors.

The monitoring system has been running successfully all year round for several years and produces millimeter-accurate measurements of the movements.

The Leica Total Stations have a specially manufactured angle measuring system that facilitates a measuring accuracy of 0.15mgon (0.5") on the TCA2003. Key elements here are the precise drives and the quadruple detection of the graduated circles. The TCA2003 is equipped with coaxial high accurate distance meters and a distance measuring accuracy of 1mm+1ppm is achieved due to the use of specially developed components. The Automatic Target Recognition (ATR) that equipped this "monitoring" Total Stations demonstrates its full benefits during automatic repeat measurements and allows measurement at two telescope faces. Using the sight, the observer aligns the telescope roughly with the target point and triggers a distance measurement. The total station automatically moves the telescope to the centre of the prism, measures the distance and corrects the angle 1 mm with the deviation to the centre of the prism. Once all points have been measured the Leica Geodetic Monitoring software GeoMoS can repeat the sequence automatically.

The Leica Geodetic Monitoring software is based on two main applications called Monitor and Analyzer:

- The Monitor is the on-line application responsible for the sensor control, collection of data and event management.
- The Analyzer is the off-line application for the analysis, visualization and post-processing of the data.

The Leica Geodetic Monitoring software integrates various types of sensors like GPS and GNSS receivers, high accurate total stations, precise clinometers, etc in their appropriated recording rate.

The Leica GeoMoS Analyzer represents the data and results graphically and numerically. The results can be visualized in time series graphics, which show the trends of the movement over selected time periods. Multiple points can be viewed simultaneously in a same graph.

A vector view shows an overview of the displacement for a selected area and the operator can easily see where the greatest movement has occurred.

The Leica GeoMoS uses standard data transaction technologies to exchange data. This ensures the data integrity even if the connection is interrupted. The connection between the computers in the system configuration can be via various

media links, including modem, GSM, WAN, LAN, radio link or cable using TCP/IP Internet technology.

A SQL Database is the kernel of the Leica GeoMoS solution and handle all the measurements as well as the various settings and configurations. Any external applications can access the GeoMoS SQL Database that has been designated as a true open system.

The benefits for the responsible of large water dams stability monitoring are certainly the integrated aspects of the GeoMoS system but also the various level of services, the support and expertise of Leica Geosystems as well as the high quality and reliability of the associated sensors.

INNOVATION AND EXPERIENCE IN GNSS BRIDGE REAL TIME 3D-MONITORING

In recent years, GNSS RTK technology has being used by more and more bridge operation and management facilities in dynamic bridge displacement monitoring.

In 1999, Leica Geosystems on the Tsing Ma Bridge, Hong Kong, deployed the world's first GPS-based bridge monitoring project. After that, Leica Geosystems' software and hardware have been deployed to monitor bridge structural health of numerous bridges including the Shandong Yellow River Bridge and the Jiangyin Bridge, earning Leica Geosystems a high regard in this field.

At the beginning of 2005, Leica Geosystems released Spider 2.0, a new generation of GPS monitoring software based on an advanced RTK processing kernel. Compared with the traditional real time RTK monitoring solutions based on existing surveying GNSS RTK receivers, this technology is far superior.

The Jiangyin Yangtze River Highway Bridge is the first super-large steel box-girder suspension bridge that spans more than one kilometer in China. It is the longest steel box-girder suspension bridge in China, the fourth longest in the whole World. It services a super highway that is the national key trunk route crossing the Yangtze River. The Jiangyin Yangtze River Highway Bridge is the second suspension bridge that was constructed over the Yangtze River. It lies between Jiangyin and Jingjiang of Jiangsu Province, at the lower reaches of Yangtze River. The north and south towers are 190 m high. The Bridge Monitoring Center was built at one side of the bridge (Jingjiang), equipped with Communication System, Closed Circuit Television, Information Management System, Message Sign System, Emergency Call System, Broadcast System, etc.

The advanced GPS Spider Bridge monitoring solution with centralized RTK function developed by Leica Geosystems has been installed in the monitoring center. The communication requirements are greatly simplified with GPS Spiders' centralized RTK concept. The receiver equipment can be remote controlled and monitored, and the status of the system can be obtained at anytime. With the standardized output interface, it can be easily connected with third party analysis software. Operating at a 20Hz measurement rate, the bridge monitoring system is able to detect high frequency vibrations.

With this new technology, the geometric form of the bridge is monitoring in real time and in all weather conditions. The three dimensional displacement of the towers,

main span and suspension cables is measured directly. All of this characteristic information that reflects the bridge's health can be combined with structural models to analyze the internal forces affecting the main components of the bridge. The reliability of the bridge health monitoring and evaluation can be increased and the risk of potential damage to the structure bridge can be detected. Therefore, GPS monitoring improves the efficiency and effectiveness of the maintenance work; provide the quantification information to the management and decision making of the traffic and structure safety of bridge, and make reliable assessment of the safety of the bridge.

With the ongoing development and improvement of GNSS hardware, processing algorithms and software GNSS monitoring systems will be applied widely to the structural monitoring such as bridges, building and other structures. Meanwhile, the Jiangyin Bridge's structure health monitoring system will play an active role in the promotion and development of the digital and intelligent bridge engineering.

Leica Geosystems has developed dedicated GNSS receivers like the Leica GPS L1 GMX901 and the Leica GMX902 GG for structural monitoring applications complemented by GNSS antenna's that has the capacity to mitigate and reduce the multi-path effects induced by the structure itself in many cases.

The kernel, which is integrated into the Leica GNSS Spider reference station and GNSS QC monitoring software, is able to process single and dual frequency data from GPS and/or GLONASS in real time and post processing mode. Three ambiguity resolution techniques has been implemented and successfully checked on many projects: Kinematic On the Fly (OTF), Initialisation on a Known Mark and the new Leica innovative Quasi-Static approach.

The Leica GNSS Spider also has the capacity to re-process complete observation files in RINEX format in those two modes. It's particularly interesting during the design phase whereby receivers can be placed temporarily to collect 24hour or 48-hour data and then processed at a later stage. The advantage of this is that performance of the system can be analysed prior to permanently fixing cabling for power and communications as well as estimating any errors associated with multipath.

Due to the nature of the different sources that affects the solution of GNSS measurements like the atmospheric delays, the orbital errors and the multi-path effects in some extend, the results are generally noisy and will not reflect at first look the full potential of the solution.

Leica GNSS Spider has that capacity to reduce the noise by using efficient digital signal processing filtering techniques (FIR), and multiple trials have demonstrated that up 30% to 45% of the noise are effectively suppressed.

CORE WALL SURVEY CONTROL SYSTEM FOR HIGH RISE BUILDINGS.

The Burj Dubai tower in Dubai, UAE, will rise to a height of over 800m when complete in 2008. In addition to being very tall it is also quite slender and it is anticipated that there will be movement of the building at upper levels due to wind loads, crane loads, construction sequence and other factors.

The self climbing formwork system for the building is complex, due to the shape of the structure and requires a large number of control points. It has been necessary to develop a survey system that can efficiently provide the large number of control points and can be used when the building is moving.

The movement of the structure creates several problems for precise survey; at a particular instant in time, theoretically, you need to know exactly how much the design centre line of the building is offset from the vertical axis and at that same instant you need to know the precise coordinates of the instrument. However a 'mean' position taken over a short period for both elements can provide a suitable solution.

GPS operating in kinematic mode are being used to establish survey control at the upper levels. The system comprises a minimum of 3 GPS antenna/ receivers mounted on tall fixed poles at the top level of the formwork. In kinematic GPS mode, satellite signal data is received and recorded every second for a period of up to 1 hour. During this same period of time, the TPS instrument is used to measure a series of angles and distances to the prisms mounted below the GPS antennas. The TPS then measures to the reference marks placed on fresh concrete, which are the reference points for control of the formwork.

After completion of observations, data is returned to the office for processing. Computation of GPS antenna positions is carried out, processed against data from a Continuously Operating GPS Reference Station Leica GPS GRX1200 Pro with AT504 choke ring antenna and Leica GNSS Spider software, using Leica Geo Office software (LGO).

Computation of TPS position is then carried out actually as an advanced least squares resection. 3D transformation is performed of the 3 WGS84 antenna coordinates and resected TPS coordinates into the local coordinate system and from this a determination of coordinates of all measured reference marks is made. These steps yield coordinates of survey instrumentation and reference marks in the site project coordinates.

The Core Wall Survey System uses also Leica NIVEL220 dual-axis precise inclinometers to accurately determine displacement of the tower alignment from vertical. Inclinometers measure absolute tilt to $\pm 0.2''$ arc. This angular measure is applied to the vertical distance of the clinometers sensor above the foundation raft to provide a computed plan displacement in X and Y at that elevation due to the tilt of the structure.

A total of 8 precise clinometers have been networked at approximately every 20 floors up the tower as construction proceeds. Each instrument is mounted in the center core wall in a box out within the wall where casual disturbance is unlikely.

An analysis of predicted movements has been completed and a system installed which delivers accurate positioning for construction set out at the top level of the formwork.

Extensive results are available to date and monitoring indicates that the required accuracy is being achieved.

"You may be interested to know that we have now reached top of concrete for the Burj tower at Level 156, at level 585.7meters" said Doug Hayes, Chief Surveyor Burj Dubai Tower Samsung, Besix and Arabtech Jvof.

“We have used our Leica GPS/ Nivel system all the way - the system has proven to be fantastic. Vertical walls are straight, lift shafts are too - standard deviations of concrete core walls are generally around 7mm. At the very top I have computed the mean displacement of all core walls: dE 0mm, dN 5mm from design position. Of course this quality has come about due to a lot of effort on all sides - not just survey. But for our part I am very pleased with the way things have gone. The system has also allowed to monitor the structure continuously and remotely, from a dynamic perspective as well as from a long term one, to quite amazing accuracy” Doug Hayes added.

Joel van Cranenbroeck is Senior Manager for Leica Geosystems AG - Geomatic Business Area in Heerbrugg, Switzerland. Acting as Business Development Manager for GNSS Networks and Monitoring he is also Vice-Chair for the FIG Commission 6 Working Group 4 on Surveying Engineering – Deformation Measurements of Engineering Structure and Analysis. Scientific Collaborator for the University of Liège and the Faculty of Agronomy in Gembloux, Belgium, his main focus is currently geodetic monitoring of engineering structures, where Leica Geosystems is world leader in terms of innovative solutions and market share. He has designed many structural monitoring projects worldwide and especially for long bridges, towers, high raise buildings, large dams and reservoirs, landslides and ground motion.

Joël van Cranenbroeck, Business Development Manager
GNSS Networks and Geodetic Monitoring,
Leica Geosystems AG, Heinrich-Wild-Strasse CH-9435 Heerbrugg, Switzerland
Tel: (32) 81 4126 02, Fax: (32) 81 41 26 02
Mobile: (32) 474 98 61 93
Email: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

© Joël van Cranenbroeck, 2008

УДК 528.4

А.А. Визгин, А.Г. Неволин

СГГА, Новосибирск

ОЦЕНКА СПОСОБОВ УРАВНИВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

A.A. Vizgin, A.G. Nevolin

SSGA, Novosibirsk

ESTIMATION OF METHODS FOR GEODETIC DATA ADJUSTMENT

The article analyzes networks adjustment without taking into account their different orders of accuracy and correlations, which are often unknown. It is shown that as measurements characteristics are refined it may be expedient to repeat assessment of accuracy. Recommendations are given for this problem solution.

Использование новых способов измерений может связываться с ошибками в знаниях стандартных отклонений и корреляционных связей. Обычно коэффициенты корреляции приравнивают нулю, а веса однородных измерений считают одинаковыми. Это не всегда верно. В докладе рекомендуется оценивать вызванные этим погрешности результатов. Ставятся условия - при безошибочных измерениях значения функций обработанных измерений должны быть безошибочными, погрешности функций линейно выражаются через погрешности измерений. Частным случаем можно считать уравнивание по методу наименьших квадратов с теми или иными упрощениями.

Пусть дана функция

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + \dots r_k w_k. \quad (1)$$

Здесь $x_1, x_2, \dots, x_n$ измеренные величины; $w (1, \dots, k)$ – невязки условных уравнений; r – множители, находящиеся в процессе математической обработки с соблюдением отмеченных выше условий.

Дисперсия функции U в общем случае равняется сумме квадратов частных производных от функции (1) по измеренным величинам, умноженным на дисперсии измеренных величин плюс удвоенные парные произведения частных производных, умноженных на коэффициенты корреляции и парные произведения стандартных отклонений. В формуле (1) первое слагаемое есть значение функции от измеренных величин, остальные слагаемые – поправки из уравнивания. Частные производные от невязок равны коэффициентам условных уравнений.

Если уравнивание выполняется строго по правилам СНК, например, точно известны дисперсии и коэффициенты корреляции величин $x_1, x_2, \dots, x_n$, то оценка точности сводится к применению общих правил СНК, в других случаях необходимо руководствоваться изложенным способом.

Часто обработку измерений по СНК выполняют, считая однородные измерения равноточными и все измерения независимыми между собой. В литературе отмечается, что спутниковые измерения зависимы, хотя корреляционные связи не изучены. По мере накопления опыта точностные характеристики измерений будут уточняться.

Решение вопроса о необходимости повторного уравнивания аналогичных сетей, при их расширении и в других случаях, следует решать после уточнения точностных характеристик, например, в процессе уравнивания и расчетов повышения точности результатов изложенным выше способом. Отметим, что при уравнивании астрономо-геодезической сети в Российской Федерации и странах СНГ веса уточнялись в процессе уравнивания.

Нахождение частных производных от функций по измеренным величинам можно выполнить по методам, изложенным в [1, 2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Визгин А.А., Неволин А.Г. Обобщенный способ оценки точности геодезических сетей. СГГА, Новосибирск. Международный науч. конгресс ГЕО-Сибирь-2006. Том 1, часть 1. – С. 252–254 с.
2. Визгин А.А., Неволин А.Г. Оценка точности геодезических сетей моделированием погрешностей измерений. СГГА, Новосибирск. Международный науч. конгресс ГЕО-Сибирь-2007. Том 2, часть 1. – С. 24–25.

© А.А. Визгин, А.Г. Неволин, 2008

УДК 528.4

А.А. Визгин

СГГА, Новосибирск

О.В. Ковалева

СГУПС, Новосибирск

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОЛЕИ

A.A. Vizgin

SSGA, Novosibirsk

O.V. Kovalyova

Siberian State University of Communication

NONPARAMETRIC METHODS FOR RAIL GAUGE STABILITY ESTIMATION

The article deals with nonparametric methods of mathematical statistics to be used for determination of rail gauge deformation significance and directivity. If the values of geometrical parameters are close to the tolerance limits and deformations are directed to these limits, these sections require additional measurements.

Увеличение скорости поездов выдвигает повышенные требования к текущему содержанию пути. Повышение скорости поездов до 140 км по исследованиям проф. Э.П. Исаенко на участке Горький – Волгоград требует, чтобы отклонения шаблона от номинала не превышали 3 мм иначе возникнут вредные вибрации вагонов. Точность измерения геометрических параметров железнодорожной колеи вагонами – путеизмерителями и другими средствами достаточная. Современная вычислительная техника позволяет использовать для анализа развития деформаций непараметрические методы математической статистики, когда вероятностные законы распределения деформаций неизвестны. Параметрические методы могут дать неправильные выводы из-за незнания зависимостей между деформациями близких точек и незнания точных законов распределения случайного характера деформаций рельсов. При выдерживании нормативных требований возможны неслучайные изменения геометрических параметров рельсов. При их существенности и если фактические параметры близки к предельным (например для шаблона, уровня и т. д.) и направленность сдвигов ведет приближению к предельным значениям, за участками может понадобиться более внимательное наблюдение. Имеет смысл накапливать и анализировать данные о деформациях на одних и тех же участках. Наряду с традиционными методами можно использовать непараметрические методы математической статистики.

Отметим, что все непараметрические методы характеризуют только различия в рядах выборок или значимость и направленность, но не определяют

их значения. По этой причине они в основном используются в гуманитарных областях, но ввиду их универсальности они применимы в технике. Можно назвать целый набор непараметрических методов, начиная от правила знаков, самого простого и до более сложных и надежных, например, парный критерий Т-Вилкоксона. Применяется для оценки различия двух экспериментальных данных, полученных на одном и том же участке в разное время, позволяет так же установить направленность изменений. Имеются так же критерии, оценивающие различия между тремя и более измерениями на одном и том же участке для разных моментов времени. Достоинство непараметрических методов состоит так же в том, что они не требуют дополнительных работ в полевых условиях, все данные получают из расшифровки лент путеизмерительных вагонов и могут быть обработаны по простым программам на персональных компьютерах.

© А.А. Визгин, О.В. Ковалева, 2008

УДК [681.7.055:621.375.826]+622.3

А.Л. Охотин, А.В. Соболев

ООО НПК «БайкалГЕОсервис», Иркутск

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

A.L. Ohotin, A.V. Sobolev

Research-and-production company «BaikalGEOservice»

34a, m/r Radujnii, Irkutsk, 664017, Russia

EXPERIENCE OF APPLICATION LIDAR SURVEY WORKS IN MINING

Mining industry is rapidly developing in Siberia and the Far East. The preparation of a mining projects requires, alongside with the results of prospecting, some up-to-date maps. Customers require from surveyors to prepare the base map on a short notice and in digital form.

Having purchased a terrestrial laser scanner, our company offered such a service to mine companies. The results were above all expectations. The scanner was particularly effective on broken surfaces. For example, a survey of a coal cut, which is planned to be extended in the nearest future, with a total area of 500 hectares, took 5 days. In two more weeks the customer received a digital maps, a 3D model and 10 hard copies of the mining map in 1:2000 scale.

Scanning of a gold mining factory in Bodajbinski region, a 4-storey construction with a 50mx50m dimension each, occupied by various equipment, took 3 fieldwork days. As a result of processing we have obtained:

- 3D model of the building
- Profiles of the bearing components of the construction.

Such tasks practically cannot be performed by traditional methods.

Горная промышленность в зоне Сибири и Дальнего Востока развивается бурными темпами. Для разработки проектов эксплуатации месторождения кроме результатов разведки, необходимы актуальные топографические планы поверхности. Заказчики требуют от исполнителей подготовить топооснову в кратчайшие сроки и в цифровом виде.

Наша компания, приобретя наземный лазерный сканер, предложила такую услугу для недропользователей. Результаты превзошли все ожидания. Особенно хорошо сканер показал себя на нарушенной поверхности. Для примера, съемка угольного разреза, расширение которого планируется в ближайшее время, площадью 500 га, заняла 5 дней. Еще через две недели заказчик получил ЦТП, 3Д модель, 10 планшетов плана горных работ масштаба 1:2000 на твердой основе.

Сканирование золотоизвлекательной фабрики в Бодайбинском районе, состоящей из 4-х этажей размером 50х50 метров, заполненной оборудованием, заняло 3 полевых дня. В результате обработки были получены:

- Трехмерная модель здания
- Построены профили несущих конструктивных элементов.

Традиционными методами такую работу выполнить практически невозможно.

К настоящему времени применение лазерного сканирования получило широкое распространение во многих областях – в проектировании и строительстве, маркшейдерии, геодезии, картографии, в формировании географических информационных систем (ГИС) и разработке дизайнерских решений на любой стадии производства работ.

Кроме того, использование наземного сканера зачастую является единственным методом съемки сложных технологических сооружений (электростанции под напряжением, цеха с большим количеством оборудования), фасадов и интерьеров зданий с последующим созданием цифровых моделей для дальнейшего проектирования строительства или реконструкции.

Дистанционный мониторинг опасных природных процессов (оползни, деформации, просадки) с применением методов лазерного сканирования, является высокоточным, безопасным, высокотехнологическим, многофункциональным процессом.

Представленный ниже сканер, производства компании Riegl, наиболее эффективно применять при открытых горных работах, при решении горно-технических задач, связанных с добычей твердых и россыпных полезных ископаемых.



Рис. 1. Наземный лазерный сканер Riegl LMS - Z420i

Преимущества метода наземного лазерного сканирования перед тахеометрической съемкой и другими наземными видами съемки:

- Портативный, прочный, экономичный;
- Обслуживается одним человеком;
- Управляется любым стандартным РС или ноутбуком;
- Мгновенная трехмерная визуализация;
- Высокая точность;
- Несравнимо более полные результаты;
- Быстрый сбор данных;
- Обеспечение безопасности при съемке труднодоступных и опасных объектов.

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съемки, а на участках большой площади или протяженности – ниже. Даже при

сопоставимых расходах на съемку, полнота и точность результатов наземного лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Сравнение временных затрат просто бессмысленно – счет идет на порядки.

На основании опыта эксплуатации лазерных сканирующих систем можно заключить:

- Поскольку лазерное сканирование является дистанционным методом, возможно производство измерений с безопасного расстояния, без доступа людей в опасные зоны, что способствует обеспечению безопасного ведения работ.

- При оптимальном использовании сканирующих систем можно выполнять съемочные работы и маркшейдерские замеры в режиме постоянного мониторинга.

- При использовании результатов лазерного сканирования возможна более детальная и тонкая оценка различных параметров (объемов, остатков на складах, коэффициента разрыхления и т. п.).

- Время, затрачиваемое на съемку с использованием лазерных сканирующих систем несоизмеримо со временем, требующимся на выполнение съемки традиционными методами.

- Правильный выбор мест установки сканера и использование мобильного комплекса, способно существенно повысить скорость выполнения полевых работ.

- Детальность получаемых данных может быть сколь угодно высока.

- Процедура постобработки данных до выдачи моделей и численных характеристик практически полностью автоматизирована и оперативна.

Все вышеизложенное, позволяет сделать вывод о целесообразности и эффективности применения методов лазерного сканирования в горной отрасли.

Технология трехмерного лазерного сканирования в области производства маркшейдерско-геодезических работ произвела революцию в Сибирском регионе.

© А.Л. Охотин, А.В. Соболев, 2008

УДК 528.48.(075.8)

Ю.Е. Голякова

Тюменский архитектурно-строительный университет, Тюмень

А.Ф. Николаев

СГГА, Новосибирск

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА SOKKIA SET 530 RL ДЛЯ ПРИВЯЗКИ ОПОРНОЙ МЕЖЕВОЙ СЕТИ К СТЕННЫМ ЗНАКАМ В БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

U.E. Goliakova, A.F. Nicolaev

Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering

2 Lunacharskogo, Tyumen, 625001, Russian Federation

THE EXPERIENCE OF APPLYING OF ELECTRONIC TACHYMETER SOKKIA SET 530 RL FOR ATTACHMENT OF SUPPORTING MEASURING NET TO THE WALL SIGNS IN UNREFLECTABLE REGIME

This article is about the applying of electronic tachymeter Sokkia SET 530 RL for attachment of supporting measuring net (SMN) of second class to the wall sings under cadastral land survey of the village Ult – Yagun in the Khanty – Mansiysk Autonomous okrug, in 2007. Three lines of final point of supporting measuring net up movement to the three contiguous wall sings were measured in the reflectable regime with the help of tachymeter. The diapason of these lines was 19-30 metres. The lines were measured for control by the metal tape – measure PS0H2K GS 7502-98 and by the laser tape – measure Disto. Also were defined the planning coordinates of the final point movement of supporting measuring net (SMN) with the help of the satellite receiver Promark – 3. The resultes of the research were made applying of electronic tachymeter, type SET 530 RL for measuring of distance to 50 metres in the unreflectable regime with attachment of supporting measuring net (SMN) to the wall sings reduces the time for production of measuring and working with the resultes in 1.5 times; the usage of satellite receiver ProMark – 3 in individual cases may cause difficulty because of inforcement of multiways radiosignals' influence, entering from satellites.

При производстве кадастровых съемок застроенных территорий возникает необходимость привязки опорной межевой сети (ОМС) к стенным знакам [4, 5].

Нами была сделана попытка использовать для этой цели спутниковый приемник ProMark – 3 [1, 4, 6]. Затруднения с центрированием, а также помехи при прохождении электромагнитных волн вблизи многоэтажных зданий не позволили найти плановые координаты вновь определяемых пунктов требуемой точностью.

Применение электронного тахеометра типа SET 530 RL № 013264 фирмы Sokkia (Япония) для измерения расстояний до стенных знаков без установки отражателя при кадастровой съемке участка в населенном пункте Ульт – Ягун ХМАО в 2007 году дало положительные результаты.

Целесообразность применения электронного тахеометра типа SET 530 RL в безотражательном режиме работы для привязки геодезических сетей к стенным знакам покажем на примере. Результаты измерения горизонтальных углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и l_1, l_2 и l_3 показаны на рис. 1.

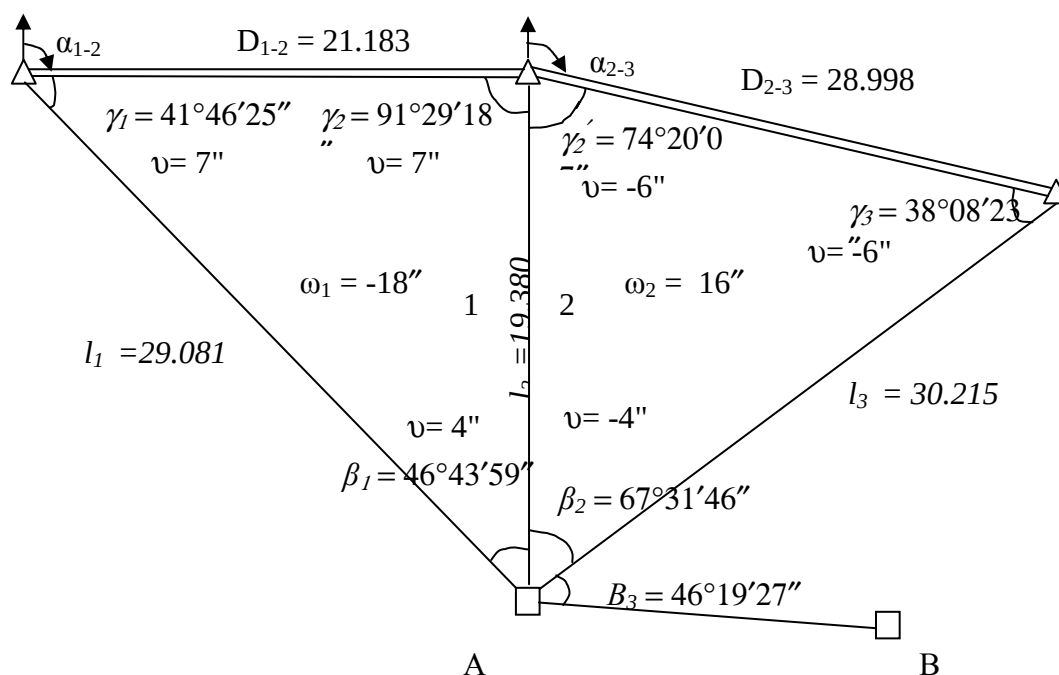


Рис. 1. Схема привязки опорной межевой сети второго класса к тройным стенным знакам:

Δ – стенной знак; $\square$ – пункт ОМС; 1 и 2 – треугольники с общим определяемым пунктом А; $\beta_1, \beta_2, \beta_A$ – измеренные тахеометром горизонтальные углы; l_1, l_2 и l_3 – измеренные в безотражательном режиме расстояния

Исходные координаты: $X_1 = 7451, 18$; $Y_1 = 5326, 34$; $X_2 = 7451, 32$; $Y_2 = 5347, 52$; $X_3 = 7444, 40$; $Y_3 = 5375, 68$; $\alpha_{1-2} = 89^\circ 37' 40''$; $\alpha_{2-3} = 103^\circ 48' 49''$; $d_{1-2} = 21,183$; $d_{2-3} = 28,9988$.

Координаты X_A и Y_A определяемого пункта А вычислялись в следующем порядке:

1. Для треугольника 1 и 2, были получены значения углов γ_1 и γ_2 , а так же γ'_2 и γ_3 из выражений [3]:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \arcsin \frac{19,380 \cdot \sin 46^\circ 43' 59''}{21,183} = 41^\circ 46' 44'' \\ \gamma_2 &= \arcsin \frac{29,081 \cdot \sin 46^\circ 43' 59''}{21,183} = 91^\circ 29' 18'' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_2' &= \arcsin \frac{30,215 \cdot \sin 67^\circ 31' 46''}{28,998} = 74^\circ 19' 45'' \\ \gamma_3 &= \arcsin \frac{19,380 \cdot \sin 67^\circ 31' 46''}{28,998} = 38^\circ 08' 23'' \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2. Определены суммы и невязки углов в треугольниках 1 и 2: $\Sigma_1 = 179^\circ 59' 42''$; $\Sigma_2 = 180^\circ 00' 16''$; $\omega_1 = -18''$; $\omega_2 = +16''$.

Приняв среднюю квадратическую погрешность измерения угла $m_\beta = 10''$, получим допустимое значение Δ_β невязок ω [3, 6]: $\Delta_\beta = 2 m_\beta \sqrt{3} = 2 \cdot 10'' \cdot \sqrt{3} = 35''$.

3. По исправленным поправка v углов γ вычислены дирекционные углы направлений со стенных знаков на определяемую точку:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1-A} &= \alpha_{1-2} + (\gamma_1 + 7'') \\ \alpha_{1-A} &= 89^\circ 37' 40'' + (41^\circ 46' 44'' + 7'') = 131^\circ 24' 12'' \\ \alpha_{2-A} &= \alpha_{2-1} - (\gamma_2 + 7'') \\ \alpha_{2-A} &= 269^\circ 37' 40'' - (91^\circ 29' 18'' + 7'') = 178^\circ 08' 15'' \\ \alpha_{3-A} &= \alpha_{2-3} - (\gamma_3 - 6'') \\ \alpha_{3-A} &= 283^\circ 48' 49'' - (38^\circ 08' 23'' - 6'') = 245^\circ 40' 32'' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При определении поправок v веса углов γ приняты равными 1, а углов $\beta - 1$ [2].

4. Вычислены предварительные координаты пункта А по трем вариантам:

$$\left. \begin{aligned} X'_A &= X_1 + l_1 \cdot \cos \alpha_{1-A} \\ X'_A &= 7451,18 + 29,081 \cdot \cos 131^\circ 24' 29'' = 7431,947 \\ X''_A &= X_2 + l_2 \cdot \cos \alpha_{2-A} \\ X'_A &= 7451,32 + 19,382 \cdot \cos 178^\circ 08' 18'' = 7431,950 \\ X'''_A &= X_3 + l_3 \cdot \cos \alpha_{3-A} \\ X'_A &= 7444,40 + 30,214 \cdot \cos 245^\circ 40' 30'' = 7431,954 \\ Y'_A &= Y_1 \cdot l_1 \sin \alpha_{1-A} \\ Y'_A &= 5326,34 + 29,081 \cdot \sin 131^\circ 24' 29'' = 5348,153 \\ Y''_A &= Y_2 \cdot l_2 \sin \alpha_{2-A} \\ Y'_A &= 5326,52 + 19,382 \cdot \sin 178^\circ 08' 18'' = 5348,150 \\ Y'''_A &= Y_3 \cdot l_3 \sin \alpha_{3-A} \\ Y'_A &= 5375,68 + 30,214 \cdot \sin 245^\circ 40' 30'' = 5348,148 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

5. Получены искомые координаты пункта А, как средние арифметические значения из трех вариантов:

$$X_A = 7431,950; \quad Y_A = 5348,150. \quad (5)$$

Найдена средняя квадратическая погрешность в определении положения пункта А, без учета погрешностей исходных данных:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum v_x^2}{n-1}} \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum v_y^2}{n-1}} \quad m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (6)$$

где n – число измерений ($n=3$)

$$v_1 = X'_A - X_A = 7431,947 - 7431,950 = -0,003;$$

$$v_2 = X''_A - X_A = 7431,950 - 7431,950 = 0;$$

$$v_3 = X'''_A - X_A = 7431,954 - 7431,950 = 0,004;$$

$$v_1 = Y'_A - Y_A = 5348,153 - 5348,150 = 0,003;$$

$$v_2 = Y''_A - Y_A = 5348,150 - 5348,150 = 0;$$

$$v_3 = Y'''_A - Y_A = 5348,148 - 5348,150 = -0,002;$$

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum 0,001^2}{3-1}} = 0,0007;$$

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum (-0,005)^2}{3-1}} = 0,004;$$

$$m_{xy} = \sqrt{(0,0007)^2 + (0,004)^2} = 0,0004.$$

(7)

Для контроля были измерены расстояния l_1 , l_2 и l_3 стальной рулеткой Р50Н2К ГОСТ 7502 – 98 и расстояния l_1 , l_2 и l_3 лазерной рулеткой Disto [2, 3].

В нашем примере получены такие значения контрольных измерений названных расстояний:

$$- \text{Стальной рулеткой: } l_1 = 29,079; l_2 = 19,383; l_3 = 30,216;$$

$$- \text{Лазерной рулеткой: } l_1 = 29,082; l_2 = 19,381; l_3 = 30,212;$$

Средние значения указанных расстояний по результатам контрольных измерений получены следующие: $l_1 = 29,081$; $l_2 = 19,382$; $l_3 = 30,214$.

По результатам контрольных измерений l^k найдены контрольные углы γ^k и невязки ω^k_1 , ω^k_2 :

$$\gamma^k_1 = \arcsin \frac{19,382 \cdot \sin 46^\circ 43' 59''}{21,183} = 41^\circ 46' 44''$$

$$\gamma^k_2 = \arcsin \frac{29,081 \cdot \sin 46^\circ 43' 59''}{21,183} = 91^\circ 29' 18''$$

$$\gamma^k_2' = \arcsin \frac{30,214 \cdot \sin 67^\circ 31' 46''}{28,998} = 74^\circ 19' 45''$$

$$\gamma^k_3 = \arcsin \frac{19,382 \cdot \sin 67^\circ 31' 46''}{28,998} = 38^\circ 08' 39''$$

(8)

$$\omega^k_1 = -2'' \text{ , } \omega^k_2 = 10''. \text{ Для сравнения: } \omega_1 = -18''; \omega_2 = +16''.$$

По результатам проведенных исследований и анализа инженерно-геодезических работ на объекте Ульт – Ягун ХМАО можно сделать следующие выводы:

1. Применение электронного тахеометра типа SET 530 RL в безотражательном режиме работы для привязки к стенным знакам сокращает время на производство и обработку результатов измерений примерно 1,5 раза.

2. Результаты полевых измерений легко обрабатываются по программе MapInfo 7.0 с последующей распечаткой на плоттере для получения топографических планов на планшетах 50 x 50 см на лавсане или чертежной бумаге.

3. Применение спутниковых приемников типа ProMark – 3 часто затруднено из-за усиления влияния многопутности радиосигналов, поступающих от спутников.

4. Инженерные изыскания на территории населенного пункта Ульт – Ягун ХМАО для разработки генерального плана застройки с использованием электронного тахеометра типа SET 530 RL в безотражательном режиме работы дали положительный результат. Контрольные угловые невязки сопоставимы с их значениями, вычисленными по результатам полевых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геннике, А.А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. [Текст] / А.А. Геннике, Г.Г. Победенский. – М.: Картгеоцентр, 2004. – 354 с.

2. Визиров, Ю.В. Лазерные рулетки в геодезических работах. [Текст] / Ю. В. Визиров, Ю.А. Вильчинский, Н. Х. Голыгин // Геодезия и картография. – 2002. – № 9. – С. 18–21.

3. Мазин, И.Д. Инженерно-геодезические работы при реконструкции промышленных объектов: Монография [Текст] / И.Д. Мазин. – М.: Недра, 1991. – 216 с.

4. Мельников, А.В. Технологическая реализация спутниковых систем при межевании земель [Текст] / А.В. Мельников, В.В. Бойков, Е.С. Пересадько // Геопрофи. – 2004. – № 1 – С. 23–27.

5. Основные положения по созданию опорной межевой сети. [Текст] / Роскомзем. – М.: РИО Роскомзема, 2000. – 20 с.

6. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS [Текст] / Роскартография. – М.: ЦНИИГАиК, 2003. – 182 с.

© Ю.Е. Голякова, А.Ф. Николаев, 2008

УДК 528.48

Д.Б. Новоселов

НГАСУ, Новосибирск

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КРЕНОМ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА И ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА CREDO-DAT

D.B. Novosyolov

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk

OBSERVATION OF CHIMNEYS HEELINGS WITH A TOTAL STATION AND PROGRAM PRODUCT CREDO-DAT

A new approach is offered to be used for observation of chimneys heelings with a total station and computerized processing of materials (Credo-dat program) in order to define a quantity of heeling. New methods are demonstrated as concerns determining coordinates of chimneys centres in tiers by means of a graphical intersection in Credo-dat program.

Наблюдение за кренами дымовых труб производится с применением традиционных методов работы. Например, наблюдение кренов труб теодолитами, ручная обработка материалов очень трудоемка и продолжительна по времени, поэтому мы применили новую методику при наблюдении за кренами дымовых труб и обработке материалов на компьютере в современных программах.

В данной статье приведена методика измерения кренов с помощью тахеометра и обработка результатов измерений в программном продукте Credo-dat.

Основной характеристикой деформаций сооружений башенного типа, к которым относятся дымовые трубы, является крен этих сооружений.

Выполнены наблюдения за кренами трех дымовых труб ($H = 80, 100$ и 250 м).

Предельное значение относительного крена для промышленных дымовых труб устанавливается величиной $Q_{отн} = 0.005$ для труб высотой менее 100 м. и $Q_{отн} = 1/2H$ для труб высотой более 100 м.

За предельные (допустимые) погрешности измерения крена принимаются величины [1, 2], не превышающие:

$< 0,03$ м при $H < 100$ м

$< 0,04$ м при $H > 100$ м.

При наблюдении сооружений, имеющих заметные наклоны, допуски для погрешностей определения крена могут быть увеличены вдвое [1], [2] т.е.:

$< 0,06$ м при $H < 100$ м

$< 0,08$ м при $H > 100$ м.

За требуемую точность определения крена при расчете обычно принимают величину, равную половине предельной погрешности, чему соответствуют способы измерений, основанные на прямой угловой засечке.

Для определения кренов применен способ координат. Перед наблюдением кренов созданы две исходные геодезические основы в виде геодезического четырехугольника.

Угловые и линейные измерения при создании опорных сетей и определения кренов выполнялись двумя приемами электронным тахеометром электронным тахеометром (Nikon NPL-632, точность угловых измерений 2 сек., линейных измерений по призме – $(3+2 \text{ ppm} \cdot D) \text{ мм}$), в шаблоне измерений угловых и линейных величин.

При создании геодезической основы для труб [труба № 10 (H = 80 м) и труба № 11 (H = 100 м)], по методике полигонометрии 1 разряда, измерение горизонтальных углов было выполнено со средней квадратической ошибкой 5 сек, и относительной допустимой невязкой 1 : 10 000. Для трубы № ВК (H = 250 м), по методике полигонометрии 4 класса, измерение горизонтальных углов было выполнено со средней квадратической ошибкой 3 сек, и относительной допустимой невязкой 1 : 25 000. Фактическая угловая невязка составила в сети № 1 – 3 сек., во сети № 2 – 8 сек., при допустимой – 17 сек. Фактическая линейная погрешность в сети № 1 – 1 : 49 000, во сети № 2 – 1 : 25 000.

Выполнено координирование точек вокруг дымовых труб для вычисления координат центров подошвы труб.

Крен трубы № 3 был определен по ярусам на уровне горизонтальных металлических лестниц вокруг трубы на отметках 108,6; 153.2; 198.0 соответственно.

При определении кренов труб, горизонтальные углы были измерены одновременно с вертикальными углами на каждом пункте.

Поправка за наклон оси вращения инструмента вводилась автоматически прибором.

Вычисление координат геодезических сетей выполнено на компьютере в программе “Credo_dat 3.11

Камеральная обработка началась с обработки полевых материалов. Были вычислены приведенные направления к центру труб по верхнему, промежуточному и нижнему ярусам по формулам:

$$R_n = (T_{н.л.} + T_{н.пр.}) / 2;$$

$$R_v = (T_{в.л.} + T_{в.пр.}) / 2,$$

где $T_{н.л.}$, $T_{н. пр.}$, $T_{в.л.}$, $T_{в. пр.}$ – средние значения направлений соответственно на левый и правый края нижнего и верхнего сечения труб.

По вычисленным координатам точек вокруг труб в программе “AutoCAD” определены координаты центра по подошве труб с точностью $\pm 0,001 \text{ м}$.

В программе “Credo_dat 3.11” графической засечкой по приведенным направлениям были определены координаты центров верха труб и ярусов. Графическая точность (стороны треугольника погрешностей не превысили 1 мм) не превысила точность вычисленных координат по формуле Юнга.

По полученным координатам определены абсолютные и относительные крены, представленные на рис. 1.

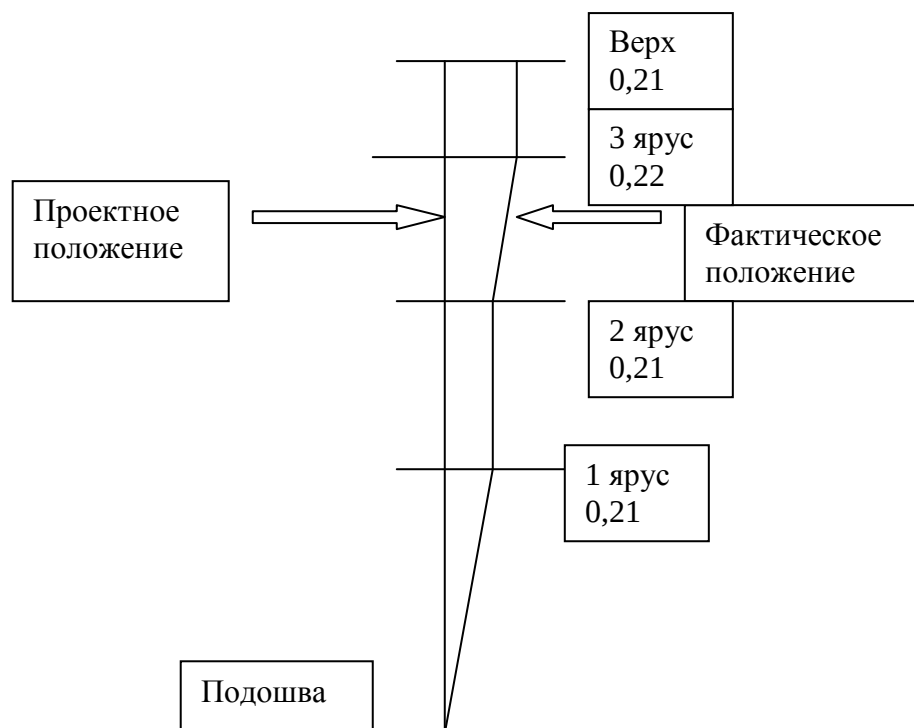


Рис. 1. Абсолютные и относительные крены

Окончательные результаты определения кренов труб приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определения кренов труб.

		Труба N 10	Труба N 11	Труба ВК
1	Крен в угловой мере	0 I 26 II	9 I 04 II	2 I 52II
2	Магнитный азимут крена	180 00 00	65 22 35	91 39 08
3	Абсолютный крен	-0,010	0,264	0,208
4	Относительный крен	0,00013	0,00264	0,00083
5	Допустимый относительный крен	0,00400	0,00400	0,00200
Оценка точности				
	С.к.п. определения абсол. крена	0,006	0,010	0,018

Выполнена оценка точности определения абсолютного крена по формуле:

$$M_Q = [m_\beta \sqrt{(s_1^2 + s_2^2)}] / \rho \sin \gamma;$$

где M_Q – средняя квадратическая погрешность (С.к.п.) определения абсолютного крена;

m_β – средняя квадратическая погрешность измерения угла;

s_1 и s_2 – расстояния от пунктов наблюдения до засекаемого центра верхнего сечения сооружения в горизонтальной плоскости;

ρ – 206265 сек;

γ – угол засечки при засекаемой точке на трубе.

Допустимая величина $M_Q \pm 15$ мм для труб $H < 100$ м и 20 мм для труб $H > 100$ м.

Точность определения кренов труб приведенная в таблице № 1 выдержана.

Приращения кренов в линейной мере не были определены, т. к. относительные крены не превысили установленных допусков.

Впервые было применено определение координат центров труб по ярусам угловой засечкой в программе Credo-dat.

Ранее подобная работа с применением старых методов работы (наблюдение кренов труб теодолитами, ручная обработка материалов) была трудоемка и продолжительна по времени. Экономическая выгода очевидна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Минстрой России). – М., 1997. – 44 с.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 70 с.
3. Жуков, Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий. Министерство образования Российской Федерации. Новосибирск: СГГА, 2003.
4. Жуков, Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. Министерство образования Российской Федерации: Новосибирск: СГГА, 2003.

© Д.Б. Новоселов, 2008

УДК 528.5

О.А. Дементьева, Т.А. Широкова, А.В. Комиссаров, В.А. Середович
СГГА, Новосибирск

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА MINOLTA VI-91 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

O.A. Dementyeva, T.A. Shirokova, A.V. Komissarov, V.A. Seredovitch
SSGA, Novosibirsk

OPERATIONAL EXPERIENCE OF HIGH-PRECISION LAND-BASED LASER SCANNER MINOLTA VI-91 FOR APPLIED PROBLEMS SOLUTION

The article describes the operational experience of high-precision land-based laser Minolta VI -91 for applied problems solution. The results of the completed projects testify to the fact that the land-based laser scanning data may be used for different problems solution: 3D models (exact copies of the original objects) development and making alterations in the completed computer model in order to get a new pattern according to the customer's request.

Метод наземного лазерного сканирования получает широкое распространение не только для построения трехмерных моделей крупных сооружений и территорий, но и микрообъектов. Данная технология находит применение для решения различных научно-производственных задач: контроль изготовления промышленных деталей, съемка частей человеческого тела для целей определения их геометрических параметров и размеров, документирование археологических находок, выявление характера и размеров деформаций при кузовном ремонте автомобилей, а также во множестве других приложений.

В последнее время в различных областях производства внедряется оборудование, позволяющее на основе трехмерной модели объекта, изготовить его форму из какого-либо материала. Именно для такого типа оборудования выполнен ряд проектов с использованием технологии наземного лазерного сканирования. Рассмотрим некоторые из них.

Кондитерская фирма изготовила шоколадную фигурку мышки – символа наступившего 2008 г., размер которой составляет примерно 10 см на 9 см. Для создания упаковки под нее требовалось построить трехмерную модель тыльной стороны «шоколадной мышки» в виде NURBS-поверхности. Перед сканированием фигурка была покрыта белой матовой краской для придания объекту однородноотражающей поверхности и помещена на поворотном столике. Для сканирования фигуры использовался высокоточный сканер Konica Minolta VI-91 и управляющее программное обеспечение Polygon Editing Tool. В результате съемки было получено 19 сканов с одной точки сканирования.

Обработка сканов проводилась в программном продукте (ПП) Rapid Form, включающем несколько модулей. Вначале в модуле Scan по полученному массиву точек строилась триангуляционная модель поверхности объекта (в ПП Rapid Form отдельный треугольник называется face). Далее проводилась регистрация сканов и их объединение в единую полигональную модель, которая в ПП Rapid Form называется внутренним термином shell. Объединение сканов осуществлялось в автоматическом режиме. Среднее значение средних квадратических ошибок единицы веса при выполнении данного процесса составило 0,12 мм.

На следующем этапе выполнялась работа с shell-поверхностью в модуле Polygon, в результате которой была получена полигональная модель, не имеющая пропущенных и неправильных треугольников. Сначала с помощью набора инструментов полигональная модель была перестроена таким образом, чтобы треугольники стали примерно одинаковыми по размеру, а также большие треугольники были разбиты на более мелкие с целью корректной передачи



Рис. 1. Полигональная модель тыльной стороны мышки

формы объекта. Затем с помощью специальных алгоритмов, реализованных в ПП Rapid Form, были найдены и удалены аномальные face (т.е. элементы, к которым нормали развернуты относительно правильного положения на 180°). Далее выполнялись поиск и заполнение «дырок» в поверхности модели объекта. На следующем этапе воспроизводилось сглаживание shell-поверхности. Поскольку рассматриваемый объект имел гладкую форму, то для этих целей использовался инструмент локального сглаживания. Для удобства работы с моделью в дальнейшем shell была разрезана вдоль полилинии (curve), построенной в модуле Curve, и оставлена только полигональная модель

тыльной стороны мышки, показанная на рис. 1, по которой была построена NURBS-поверхность.

Для построения NURBS-поверхности полученный shell был разделен при помощи сплайнов на участки примерно одинакового размера с использованием инструментов модуля Curve. В результате полигональная модель тыльной стороны шоколадной мышки была разбита на 35 сегментов.

Для каждого участка shell производилось построение NURBS-поверхности с использованием модуля Surface.

Последним этапом являлось объединение полученных поверхностей сегментов в единую NURBS-поверхность. Таким образом была построена трехмерная модель тыльной стороны шоколадной мышки в виде NURBS-

поверхности, максимально соответствующая сканируемому объекту. При этом в ходе работы в полигональную модель не вносились никакие изменения.

Рассмотрим другой проект, при выполнении которого необходимо было отредактировать созданную полигональную модель объекта.

Для изготовления пресс-формы, предназначенной в будущем для широкого использования, необходимо было создать трехмерную модель в виде NURBS-поверхности плитки с рельефным рисунком, на котором в центре изображалась голова быка, а по бокам симметричные узоры. Особенностью работы являлось то, что исходный образец был создан человеком (вырезан из дерева), по которому затем вылет чугунный слепок. Как известно, человек не может сделать абсолютно одинаковый рисунок относительно линии симметрии, поэтому была поставлена задача построить модель слепка, симметричную относительно плоскости, проходящей через центр изображения быка.

Сканирование плитки, а также основные этапы построения ее NURBS-поверхности выполнены аналогично, как и в первом проекте. Всего было получено 14 сканов, а среднее значение средних квадратических ошибок единицы веса при объединении сканов составила 0,099 мм. На рис. 2 представлена полигональная модель объекта после этапа сглаживания и заполнения пропущенных треугольников.



Рис. 2. Полигональная модель объекта после сглаживания и заполнения пропущенных треугольников

При работе в модуле Polygon (ПП Rapid Form) с полигональной моделью производились, кроме описанных выше действий, дополнительные манипуляции.

Так как рельефный рисунок плиты расположен на горизонтальной плоскости, то сначала с помощью ПП Rapid Form в выделенный участок shell была вписана плоскость, а затем полученные при пересечении встроенной плоскости и рельефного рисунка острые треугольники сглажены соответствующим инструментом. В процессе выполнения проекта у заказчика возникли пожелания изменить положение узоров относительно фигуры быка и их размеры. С помощью функций масштабирования размеры и положение отдельных элементов shell были откорректированы в соответствии с представленным эскизом заказчика. Затем были выбраны модели одного из узоров и половинки головы быка и отображены симметрично относительно линии симметрии. На рис. 3 показана полигональная модель, подготовленная по пожеланиям заказчика, для построения NURBS-поверхности.

Далее полученная полигональная модель была разделена на участки полилиниями и по ним строились отдельные поверхности, которые сшивались в единую NURBS-поверхность. На рис. 3 показана полигональная модель, разделенная на участки полилиниями.

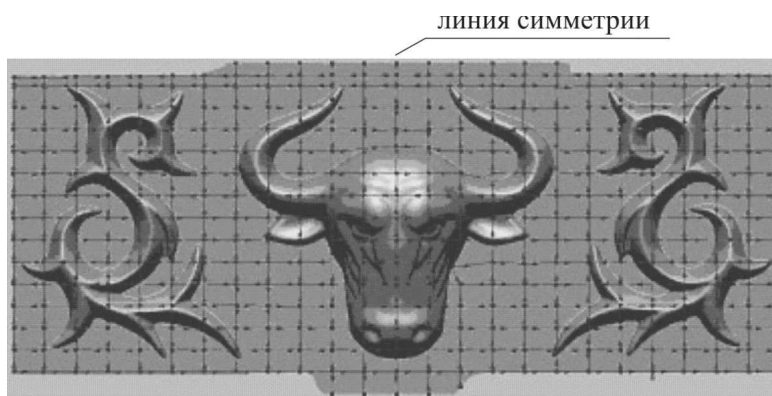


Рис. 3. Полигональная модель с полилиниями для построения NURBS-поверхности

Как показывают результаты выполнения вышеописанных проектов, по данным наземного лазерного сканирования, полученным сканером Konica Minolta VI-9i, можно решать различные задачи: строить трехмерные модели – точные копии оригинала объекта, а также вносить изменения в созданные компьютерные модели с целью получения новых образцов в соответствии с пожеланиями заказчика.

© О.А. Дементьева, Т.А. Широкова,
А.В. Комиссаров, В.А. Середович, 2008

УДК 528.4

К.Б. Хасенов, М.Е. Рахымбердина, К.У. Сыдыков

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ УГЛА i У НИВЕЛИРОВ

K.B. Khasenov, M.Ye. Rakhimberdina, K.U. Sydykov

East-Kazakhstan State Technical University of D. Serikbaev (EKSTU)

19 Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, 070010, Kazakhstan

THE METHOD OF DEFINITION AND CORRECTION OF A CORNER i OF LEVELS

In the article, the method of definition and correction of a corner i of levels on the field comparator is proposed. This field comparator for metrological maintenance of levels was developed at the East Kazakhstan state technical university of D. Serikbaev.

В комплексе геодезических работ, значительную долю составляют нивелирные работы, для осуществления которых необходимы соответствующей точности нивелиры. Система, определяющая качество геодезических измерений, как правило, имеет вид: наблюдатель – прибор – внешние условия – метод измерений. Основным методом контроля надежности прибора является поверка. Цель поверки – приведение частей прибора в соответствие с основными геометрическими условиями, заложенными в его конструкции.

Важной особенностью инструкции на топографо-геодезические работы является то, что они регламентируют практически индивидуальную аттестацию всех геодезических приборов, допускаемых к измерениям, через систему проверок и измерений. Результаты исследований устанавливают пригодность прибора для выполнения измерений заданной точности, дают информацию для принятия соответствующей методики измерений или введения поправок в результаты измерений.

Как известно, визирная ось трубы нивелира должна быть параллельна оси цилиндрического уровня. Эта поверка является основной и заключается в определении угла i между вышеуказанными осями. Угол i нивелира определяют полевым или лабораторным методом.

Известно несколько способов определения и исправления угла i у нивелиров в полевых условиях.

Определение угла i нивелира в полевых условиях обычно проводят методом двойного нивелирования, при котором превышение между двумя точками, закрепленными на местности, измеряют поверяемым прибором дважды, с различных станций.

Далее, используя полученные превышения или отсчеты по рейкам, вычисляют значение угла i .

При этом применяют следующие способы нивелирования: нивелирование «вперед», нивелирование «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» и нивелирование с разными плечами [1, 2, 3, 4].

Количество приемов измерений в любом способе должно быть не менее трех. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение угла i из всех результатов, признанных годными. Расхождение между отдельными значениями угла i не должно превышать 3" для высокоточных нивелиров и 5" для всех остальных типов нивелиров.

Угол i по способу нивелирования «вперед» определяют в такой последовательности. На расстоянии 50-75 м друг от друга забивают два колышка или кола. Нивелир устанавливают над точкой 1, приводят его в рабочее положение, измеряют его высоту z_1 до визирной оси с погрешностью не более 1 мм и берут отсчет l_1 по рейке, установленной в точке 2. Меняют местами нивелир и рейку и, выполнив описанные выше действия, получают высоту z_2 и отсчет l_2 . Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(z_1 + z_2) - (l_1 + l_2)]\rho''}{2S}, \quad (1)$$

где S – расстояние между точками 1 и 2.

Если точное значение высоты нивелира определить затруднительно, угол i получают видоизмененным способом, не требующим измерения высоты прибора. Для этого линию длиной 45–60 м делят на три равных отрезка, каждый длиной S . Концы интервалов закрепляют кольями, фиксируя этим точки 1, 2, 3 и 4. На средних точках 2 и 3 устанавливают рейки, а на крайних точках 1 и 4 поочередно устанавливают нивелир, где после приведения его в рабочее положение берут две пары отсчетов l_2 и l_3 (станция 1) и l_2' и l_3' (станция 4). Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(l_3' - l_3) - (l_2' - l_2)]\rho''}{2S} = \frac{h_1 - h_2}{2S} \rho''. \quad (2)$$

При определении угла i по способу нивелирования «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» на расстоянии 40–60 м закрепляют кольями (точки 1 и 2), на которых устанавливают рейку в створе между точками 1 и 2 на равном расстоянии от них. Приводят нивелир в рабочее положение и берут отсчеты l_1 и l_2 по рейкам 1 и 2. Далее переносят нивелир в точку, удаленную от точки 2 на 5–10 м и вновь берут отсчеты l_1' и l_2' на заднюю и переднюю рейки. Измеряют расстояния до задней (S_1) и передней (S_2) реек. Значение угла i нивелира определяют по формуле

$$i = \frac{[(l_1' - l_2') - (l_1 - l_2)]\rho''}{S_1 - S_2} = \frac{h' - h}{S_1 - S_2} \rho''. \quad (3)$$

Дополнительную точку можно располагать как между точками 1 и 2, так и на продолжении их створа.

С целью уменьшения искажений результатов измерений за ход фокусирующей линзы, расстояние S_2 выбирают более 10 м.

Для облегчения вычислений по формуле (3) расстояния S_1 и S_2 подбирают с таким расчетом, чтобы отношение $\frac{\rho''}{S_1 - S_2}$ было равно целому числу, тогда формула (3) примет простой вид

$$i = (h' - h)k, \quad (4)$$

$$\text{где } k = \frac{\rho''}{S_1 - S_2}.$$

По способу нивелирования при разных плечах угол i определяют на линии длиной 30 – 50 м. Концы линии закрепляют кольями 1 и 2, на которых устанавливают рейки. Нивелир располагают в 5 м от точки 1 и берут отсчеты l_1 по рейке 1 и l_2 по рейке 2. Затем нивелир переносят по линии 1 – 2 и, не доходя до точки 2 на 5 м, вновь устанавливают его и приводят их в рабочее положение. Берут отсчеты l_1' по рейке 1 и l_2' по рейке 2. Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(l_1 + l_1') - (l_2 + l_2')]\rho''}{2(S_2 - S_1)} = \frac{h_1 - h_2}{2(S_2 - S_1)} \rho''. \quad (5)$$

где $S_1 = 5$ м;

S_2 – расстояние между точками 1 и 2.

Недостатком рассмотренных выше способов является необходимость в закреплении двух точек на местности для проверки нивелира и перехода с инструментом с одной точки на другую.

Для определения угла i у нивелира и его исправления предлагается следующее.

На эталонированном полевом компараторе, разработанном для аттестации и сертификации нивелиров (рис. 1), устанавливают нивелир на бетонной площадке, приводят прибор в рабочее положение, измеряют высоту прибора i и берут отсчеты b_1 и b_2 по рейке, установленной поочередно на пилонх на расстоянии 10 м. Данные измерения повторяют не менее 3-х раз. Вычисляют превышение $h = b_1 - b_2$. Практическое значение превышения берут как среднее из трех значений.

Далее вычисляют исправленное (истинное) значение отсчета по рейке на точку 2 как, $b_2' = i - h$ и сравнивают с

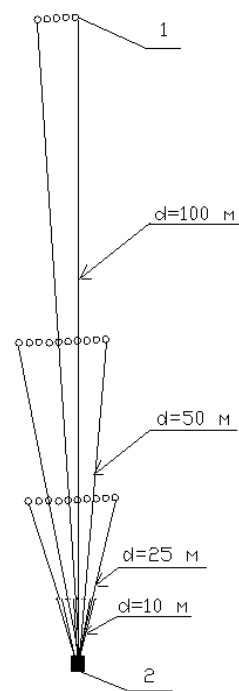


Рис. 1. Схема полевого компаратора в стесненных условиях:

1 – пилон; 2 – бетонная площадка

отсчетом b_2 . Если расхождение между b_2' и b_2 больше допустимой величины, то приступают к юстировке прибора. Для этого устанавливают исправленный отсчет b_2' на перекрестии сетки нитей элевационным винтом цилиндрического уровня. При этом изображения концов цилиндрического уровня расходятся. Вертикальными исправительными винтами точно совмещают изображения концов пузырька уровня, следя за тем, чтобы отсчет по рейке оставался равным исправленному.

Для исследований на компараторе данным способом были поверены нивелиры Н-3, имеющие ошибки X (линейная величина угла i) больше установленной величины. С целью проверки состоятельности данного способа ошибка X у нивелиров первоначально определялась по способу нивелирования «вперед». После юстировки прибора предлагаемым способом для контроля также ошибку X определили по способу нивелирования «вперед». Результаты исследований показали, что после юстировки прибора значения ошибки X меньше допустимого значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1990
2. Спиридонов А.И. Основы геодезической метрологии: Произв.-практ. изд. – М.: Картгеоцентр – Геоиздат, 2003
3. Спиридонов А. И., Кулагин Ю.Н., Кузьмин М. В. Поверка геодезических приборов. – М.: Недра, 1981. – с. 152.
4. Сборник инструкций по производству геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1988. – 77 с.

© К.Б. Хасенов, М.Е. Рахымбердина, К.У. Сыдыков, 2008

УДК 528:621.375.826

А.Г. Гольцев, Т.Т. Ипалаков

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

ВЫВЕРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ

A.G. Goltsev, T.T. Ipalakov

D. Serikbayev East-Kazakhstan State Technical University

Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

LASER ADJUSTMENT OF BUILDING STRUCTURES

Разработка и внедрение прогрессивных методов и технических средств измерений являются актуальными проблемами, так как возрастающие объемы и сложность задач по строительству различных объектов требуют постоянного совершенствования средств геодезического обеспечения.

Для выполнения инженерно-геодезических работ выпускается большое количество лазерных приборов, из которых теодолиты с визуальной системой пользуются большим спросом при выверке строительных конструкций.

Применение лазерного теодолита с разверткой луча в вертикальной плоскости позволяет определить положение в плане и вертикальность конструкций методом бокового нивелирования. При этом обеспечивается непрерывный геодезический контроль положения монтируемого элемента, а наличие видимых линий и плоскостей, образуемых лучом и его разверткой, позволяет более точно вести сборку конструкций.

Точность измерений при работе с лазерными приборами в значительной степени зависит от диаметра пучка излучения, который изменяется в зависимости от расстояния его распространения. В зависимости от расстояния меняется и четкость его контуров.

Однако существующие способы выверки конструкций в вертикальной плоскости имеют ряд недостатков. Так при монтаже металлических резервуаров, чтобы произвести выверку в вертикальной плоскости необходимо использовать специальные марки и производить дополнительные расчеты. Для выверки скользящей опалубки, колонн и стеновых панелей используют несколько теодолитов, в том числе с вертикальной разверткой.

Предлагаемый способ выверки конструкций в вертикальной плоскости позволяет использовать только один лазерный теодолит с двумя визирами.

Прибор состоит из двух визиров, которые проецируют на рабочей поверхности одно световое пятно в вертикальной проектной плоскости. Для повышения качества выверки необходимо иметь две точки выверки. Для этого лазерный теодолит, закрепленный на штативе, необходимо устанавливать на

строительной площадке с хорошим кругозором (круговым обзором), чтобы с одной стоянки обеспечивать максимальное количество измерений.

Сущность способа состоит в том, чтобы задать вертикальное перемещение световой точки O_1 в пространстве (рис. 1). Для этого необходимо, чтобы при перемещении визиров на определенный угол наклона в вертикальной плоскости (α_v), осуществлялся поворот визиров в горизонтальной плоскости на определенный угол (β_r). Поворот визиров осуществляется при вращении микрометрических винтов, при этом оба визира поворачиваются синхронно благодаря специальной червячной шестерне. Пересечение лучей дает в пространстве вертикальную прямую.

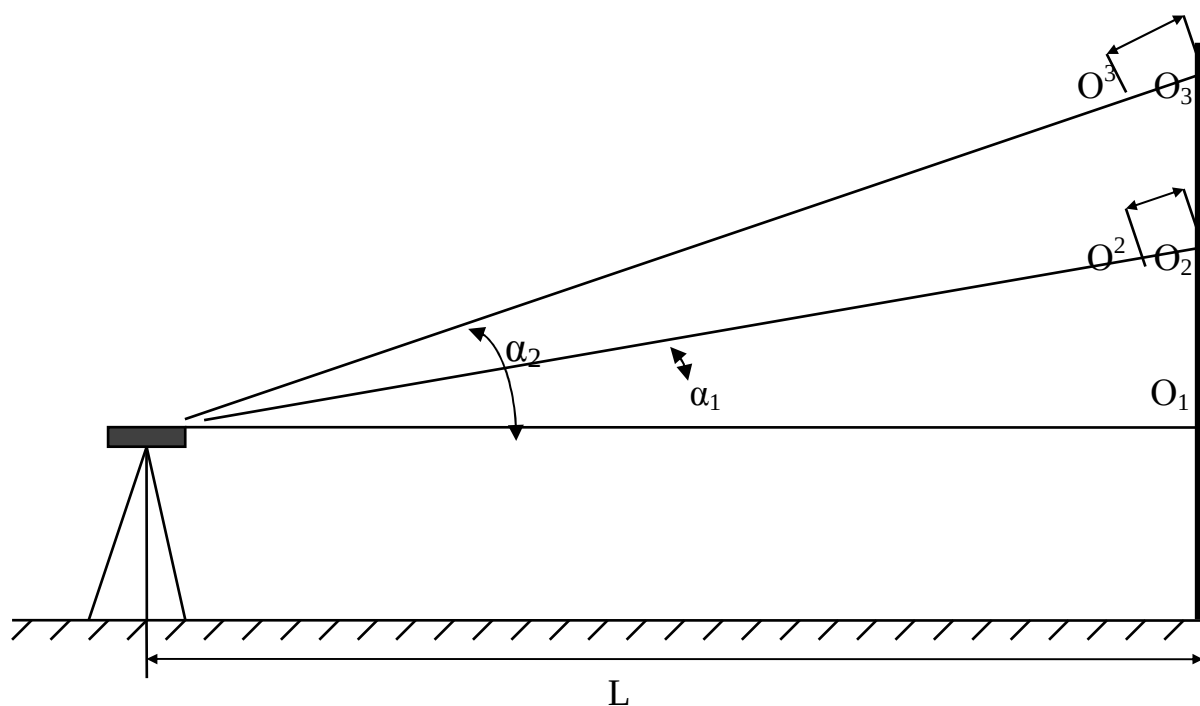


Рис. 1. а) перемещение точки O_1 в вертикальной плоскости при повороте визиров на угол α_v :

Где O_2 , O_3 – необходимые положения точки при повороте визиров, для выверки конструкций в вертикальной плоскости; O^2 , O^3 – стандартные положения точки при повороте визиров; L – рабочее расстояние до монтируемых конструкций

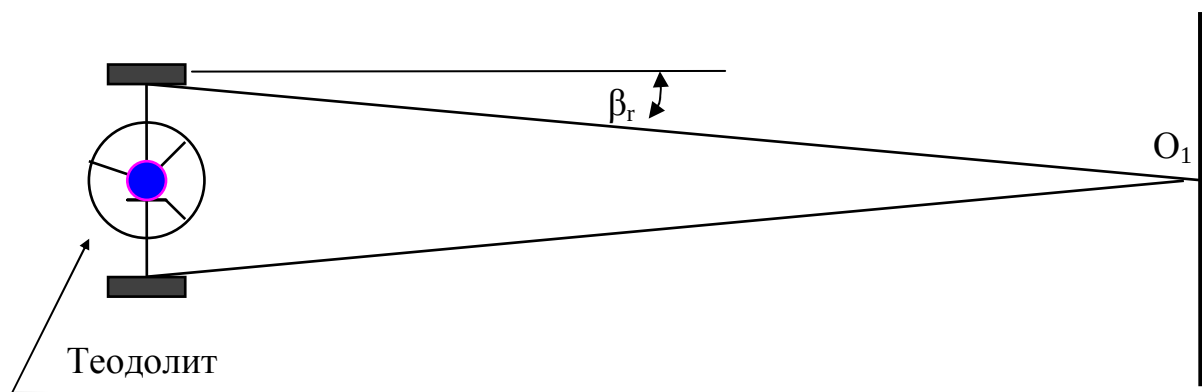


Рис. 2. б) необходимое положение точки O_1 в горизонтальной плоскости при повороте визиров на угол β_r

Предлагаемая методика позволяет монтажнику визуально наблюдать луч и производить выверку непосредственно «под точку» путем рихтовки конструкций специальными монтажными инструментами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лаврова И.А. Техничко-экономическая эффективность применения лазерных геодезических приборов в строительстве. Обзор. М.: ВНИИИС, 1984.

© А.Г. Гольцев, Т.Т. Ипалаков, 2008

УДК 629.783:551.24

К.М. Антонович

СГГА, Новосибирск

УЧЕТ НАБЕГА ФАЗЫ ПРИ ГНСС ИЗМЕРЕНИЯХ

K.M. Antonovich

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ACCOUNTING THE CARRIER PHASE WIND-UP IN GNSS MEASUREMENTS

GNSS electromagnetic waves are right circularly polarized. We can imagine an apparent shift in a front of a wave, if a relative rotation is introduced between signal source and observer. Wind up is the change of GNSS receiver measured carrier phase due to an orientation change of either the transmitting or receiving antenna with respect to the other antenna. This phenomenon is of concern for surveying, navigation, and timing applications of GNSS.

In most relative positioning processing, double-differencing is employed. For the majority of applications, this differencing cancels the bulk of wind-up errors. On very long baselines (i.e., thousands kilometers), however, transmitter/receiver geometry is no longer similar, and phase wind-up induced positioning errors can be as large as a few centimeters. The formulae to take into account the carrier phase wind-up are given.

Recent research has also pointed to residual wind-up possibly adversely affecting ambiguity resolution for high-precision, short base-lines real-time kinematic GNSS positioning.

For precise point positioning not correcting for wind-up will result in decimeter-level errors. Therefore to make most of this contemporary processing methodology, carrier phase wind-up must be modeled.

Излучаемую спутниками ГНСС электромагнитную волну с правосторонней круговой поляризацией можно представить как вращающееся электрическое поле, которое распространяется через пространство от передающей антенны к принимающей антенне. В идеальном случае, измеренная фаза несущей равна геометрическому углу между мгновенным электрическим полем у принимающей антенны и некоторым опорным направлением на этой антенне. Изменение ориентации спутника меняет направление электрического поля у передающей антенны, а, следовательно, и у принимающей антенны. Подобным образом изменение ориентации принимающей антенны изменяет на ней опорное направление и, таким образом, измеренную фазу. В итоге наблюдаемая фаза несущей зависит от ориентации

антенн передатчика и приёмника, а также от направления линии визирования. При движении спутника (или наблюдателя) действие этого эффекта накапливается. Для него применяется термин *набег фазы* или *компонент фазовой поляризации* (англоязычные термины *carrier phase wind up* или *carrier phase wrap-up*). Набег фазы не зависит от частоты несущей и не влияет на групповую задержку дальномерной модуляции.

В дополнение, вращение принимающей антенны вызывает видимое изменение в частоте несущей GPS. Оно отличается от обычного доплеровского сдвига тем, что он представляет собой видимое изменение в частоте несущей, вызванное движением вдоль линии визирования приемника. Антенна ГНСС приемника может воспринимать доплеровский сдвиг, который изменяет и фазу несущей, и групповую задержку дальномерной модуляции. Сдвиг по частоте, вызванный поляризацией, называется *вращательным доплером*.

Фазовую поправку можно выразить аналитически через геометрические углы между передатчиком и приёмником. Поведение действительных антенн более сложное, но его можно моделировать как сумму из двух частей. Первая часть – большое влияние, которое можно определить из аналитического выражения. Это большое влияние накапливается, когда одна из антенн вращается вокруг оси симметрии диаграммы направленности. Вторая часть, связанная с вращательным доплером, – меньшее по величине изменение, которое зависит от азимута и высоты спутника и от индивидуальных особенностей конструкции антенны. Оно может моделироваться посредством эмпирической калибровки антенны. Для высокоточных геодезических измерений большое влияние принято вычислять по аналитическому выражению и находить остаточное влияние из числовой таблицы, полученной из калибровки.

У статического приемника антенна не вращается вокруг его оси симметрии, и поэтому азимут опорного направления остается фиксированным. Эффект набег фазы происходит только со стороны спутников из-за их движения. Поскольку панели солнечных батарей всегда направлены на Солнце (за исключением периодов затмений), то вращения спутников GPS относительно антенны приемника представляют сумму движения Солнца и изменений в геометрии спутников. Эффект от спутника может достигать половины длины волны (за полное прохождение), то есть около 1 дециметра в расстоянии. Это влияние можно исправить в соответствии с [3] и [6] по формуле:

$$\Delta\phi = \text{sign}(\xi) \arccos\left(\frac{\vec{D}' \cdot \vec{D}}{|\vec{D}'||\vec{D}|}\right), \quad (1)$$

где $\xi = k \cdot (\vec{D}') \times (\vec{D})$; k – единичный вектор спутник-приемник; $\vec{D}'$ и $\vec{D}$ – векторы эффективных диполей спутника и приемника, вычисленные по трем единичным векторам (x', y', z') системы координат тела спутника и трем единичным векторам (x, y, z) системы координат антенны приемника.

$$\vec{D}' = x' - k(k \cdot x') - k \times y', \quad (2)$$

$$\vec{D} = x - k(k \cdot x) + k \times y. \quad (3)$$

Ориентация антенны спутника подвергаются медленным изменениям, поскольку их солнечные батареи ориентированы на Солнце, а геометрия станция-спутник постоянно изменяется. Более того, изменение ориентации солнечных панелей на Солнце во время периодов затмения спутника также может подвергаться быстрым вращениям, называемыми «полуденными» (когда прямая линия, проведенная от Солнца, пересекает спутник, а затем центр Земли) и «полуночными» вращениями (когда линия пересекает центр Земли, а затем – спутник). Это может представить вращениями антенны на величину до одного поворота менее чем за полчаса. В течение таких полуденных или полуночных вращений фазовые данные необходимо исправлять за этот эффект или просто редактировать [1].

Изменение ориентации спутника при прохождении через тень может приводить также к изменению элементов приведения фазовых центров антенны к центру масс спутника, и к изменению световой нагрузки (динамический эффект). Поэтому для навигационных спутников (а это совершенные геодезические спутники) поддержание ориентации, в частности по оси рысканья, является крайне важным. В середине 90-х годов при обнаружении подобных эффектов у спутников GPS Блока II были приняты меры по их устранению [1].

Поправкой за набег фазы обычно пренебрегают, даже в самых точных программах для дифференциального и относительного позиционирования, поскольку она при обработке по двойным разностям на базовых линиях и сетях до нескольких сот километров почти полностью исключается. Но на длинных базовых линиях она частично сохраняется и может достигать до 4 см на расстоянии 4000 км (порядка 10^{-9} от длины базовой линии) [6].

Влияние набег фазы довольно существенно при обработке не разностных данных в относительном и точном абсолютном позиционировании с использованием эфемерид и поправок часов через файлы Международной ГНСС службы (МГС), поскольку возможная ошибка может достигать половины длины волны. Примерно с 1994 г. большинство центров анализа МГС (и поэтому объединенные продукты МГС из орбит и часов) учитывают поправку за набег фазы. Пренебрежение поправкой за набег фазы и фиксирование при обработке данных об орбитах и часах будет приводить к ошибкам в положениях до дециметрового уровня [4].

Для вращающейся антенны приемника (при кинематическом позиционировании и навигации) влияние набег фазы полностью входит в решение для часов станции (или исключается при образовании двойных разностей). Канадскими исследователями было установлено, что при кинематических измерениях работа аппаратуры может значительно ухудшаться на склонах, когда подвижная антенна значительно отклоняется от вертикали. В этом случае поправки для спутников, находящихся в разных сторонах горизонта, оказываются различными и не исключаются в двойных разностях.

Дополнительную ошибку вносит изменение высоты фазового центра антенны из-за наклона ее оси вращения. Это приводит к ощутимым погрешностям в координатах (до нескольких сантиметров) и к потере захвата сигналов спутников [2].

В работе [5] установлено, что для кинематической антенны эффект от набега фазы накапливается и примерно равен числу поворотов антенны вокруг ее оси симметрии, поскольку изменяется опорное электрическое направление на антенне приемника. Допускаемая при этом ошибка в значительной степени зависит от применяемого метода обработки. При использовании метода двойных разностей остаточные ошибки имеют порядок нескольких сантиметров даже на коротких базовых линиях. Однако обработка не разностных данных показывает погрешности, равные произведению числа поворотов (в одну сторону) на длину волны. Преимущественное влияние оказывается на высоту и в меньшей степени на плановые координаты. Ошибка может компенсироваться при поворотах платформы в разные стороны (по часовой стрелке или против часовой стрелки). Для учета поворотов платформы, на которой установлена антенна, предложен алгоритм вычисления ориентировки платформы по ее текущим координатам.

Набег фазы не оказывает влияния на измерения псевдодальностей. Исключение составляют псевдодальности, сглаженные по измеренным фазам несущей. Этот метод довольно часто применяется в кинематических методах наблюдений, рассчитанных на дециметровую точность координат. Как уже указывалось, ошибка при этом может достигать нескольких дециметров. Поэтому в современных методиках обработки ГНСС измерений влияние набега фазы несущей в большинстве случаев необходимо моделировать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bar-Sever, Y.E. A new model for GPS yaw attitude [Text] / Y.E. Bar-Sever // Journal of Geodesy. – Vol. 70, No. 11. – 1996. – P. 714–723. – Англ.
2. Kim, D. Phase Wind-Up Analysis. Assessing Real-Time Kinematic Performance [Text] / D. Kim, L. Serrano, R. Langley // GPS World. – 2006. – Vol. 17, No. 9. – P. 46–51. – Англ.
3. Kouba, J. A Guide to using international GPS service (IGS) products [Electronic resource] / J. Kouba. – 2003. – 31 p. – Англ. – Режим доступа: <http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/resource/pubs/GuidetoUsingIGSProducts.pdf>
4. Kouba, J. Precise point positioning using IGS orbit and clock products / J. Kouba, P. Héroux. // GPS Solutions. – Vol. 5, No. 2. – 2001. P. 12–28. – Англ.
5. Le, A.Q. Phase wind-up effects in precise point with kinematic platforms [Electronic resource] / A.Q. Le, C.C.J.M. Tiberius. – 2006. – 8 p. – Англ. – Режим доступа: http://enterprise.lrtudelft.nl/publications/files/2007.006_Le_Navtech2006.pdf
6. Wu, J.T. Effects of Antenna Orientation on GPS Carrier Phase [Text] / J.T. Wu, S.C. Wu, G.A. Hajj et al. // Manuscripta Geodetica. – 1993. – Vol. 18, No 1. – P. 91-98. – Англ.

УДК 528:629.783

Г.И. Мальцев, А.Х. Мелеск, А.П. Лапко

СНИИГГиМС, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ В ЛЕСНОЙ МЕСТНОСТИ

G.I. Maltsev, A.H. Melesk, A.P. Lapko

Siberian research institute of geology, geophysics and minerals

6 Potaninskaya Ul, Novosibirsk, 630099, Russian Federation

INVESTIGATION OF HIGH-PRECISION SATELLITE EQUIPMENT IN FOREST AREAS

Observation in forest areas by means of satellite receivers is difficult to carry out due to radio-signal attenuation and multipath effect. The authors offer the patented methods and devices for multipath effect weakening. The production technologies and measurements results are presented.

Наблюдения в лесных массивах посредством спутниковых приемников обычно затруднительны или невозможны, так как при использовании дециметровых волн, дальность действия которых ограничена пределами прямой видимости, радиосигналы затухают и, кроме того, приходят переотраженными из-за эффекта многолучевости (многопутности) [1, 2].

Оптимальная точность спутниковых радиогеодезических измерений достигается при наблюдениях на открытой местности, где имеется беспрепятственный обзор горизонта. Многопутность – явление, когда в антенну приемника поступают радиосигналы непосредственно от антенны передатчика спутника и отраженные от поверхности земли и окружающих предметов, т.е. прошедшие больший путь, чем прямые, и точность измерений может существенно снизиться за счет интерференции (мультиинтерференции). В окружающем приемную антенну электромагнитном поле в результате интерференции прямого и множества переотраженных сигналов формируется результирующий сигнал, который можно представить как сигнал с дополнительным фазовым (или временным) сдвигом. При определенных условиях амплитуда этого сигнала может равняться нулю или достигать двойной величины. Теоретически для глобальной системы позиционирования GPS погрешность измеряемого расстояния фазовым методом с использованием несущей частоты может в условиях многолучевости достигать значения, равного $\lambda/2$, где λ – длина волны, и в диапазоне L1 составлять около 10 см.

Погрешность наблюдений кодовой аппаратуры определяется типом используемого кода, например C/A-кода или P-кода, частота которого

отличается на порядок. Погрешность измеряемого расстояния кодовым методом при многопутности может достигать около 73 м и 7 м, соответственно.

Группой сотрудников СНИИГГиМС разработана технология геодезической съемки с кодовой спутниковой аппаратурой в лесу [1, 4]. Задачей изобретения является уменьшение влияния многопутности на принимаемый спутниковым приемником радиосигнал и повышение точности определения положения. Проблема решается за счет изменения в ходе приема положения антенны приемника и обработки усредненного результата. Антенну приемника располагают на конце горизонтальной штанги с возможностью вращательного и одновременно возвратно-поступательного движения по спирали относительно вертикальной оси мачты, проходящий через точку наблюдения (рис. 1). При движении антенна описывает поверхность цилиндра с радиусом и высотой в несколько длин волн (около 2λ). Многочисленные испытания с различными типами аппаратуры показали, что точность измерений по предложенной методике может приближаться к результатам в открытой местности.

Конструкция дополнительного антенно-поворотного устройства и методика работы с ним в комплексе с кодовым спутниковым приемником, имеющим возможность подключения внешней антенны, представлены в работах [1, 4] (см. рис. 1, 2).

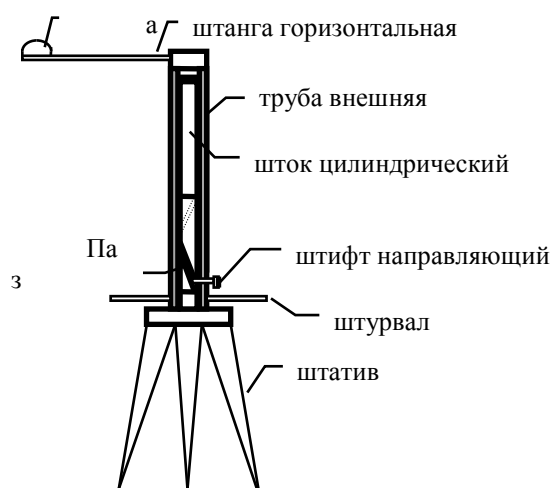


Рис. 1. Антенно-мачтовое подъемно-поворотное устройство



Рис. 2. Комплекс антенно-мачтового устройства и спутникового приемника

Наибольший интерес, в том числе для использования на геолого-геофизических работах, представляют исследования фазовой спутниковой аппаратуры в условиях лесной местности.

Весьма полезные испытания были проведены сотрудниками СГГА в городских условиях [7]. Для уменьшения влияния многопутности на результаты GPS – измерений, было предложено изменять высоту антенны приемника через равные интервалы (как минимум через четыре) и выполнять измерения, например, через $\lambda/4$. Средний результат будет в значительной степени свободен от влияния многопутности. Однако очевидно, что при использовании изменения

высоты антенны через интервал $\lambda/4$ вариации направления хода радиолучей от спутников будут существенно ограничены в сравнении с предлагаемой нами способом вращения антенны в горизонтальной плоскости с обзором в 360° и с дискретными с заданным шагом в 45° измерениями на каждой фиксированной точке.

Предлагаемый способ относится к радиогодезическим спутниковым измерениям, преимущественно при работе в условиях сильного влияния отраженных сигналов, в частности при работах в залесенной местности, а также в городских стесненных условиях. Техническим результатом изобретения является уменьшение влияния на результаты фазовых измерений явления многопутности принимаемого сигнала в условиях большого уровня мешающих (отраженных) сигналов.

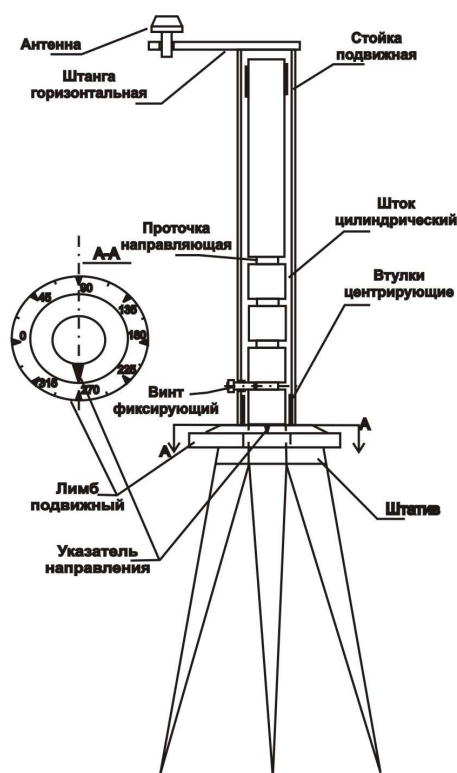


Рис. 3. Антенно-мачтовое устройство для производства фазовых измерений посредством спутниковых приемников

Устройство и способ проведения фазовых спутниковых измерений с вращением антенны и заданным угловым шагом в горизонтальной плоскости опубликованы в [3, 6] (рис. 3).

Методика спутниковых фазовых геодезических измерений заключается в следующем. Предварительно, перед началом пошагового кругового перемещения антенны, вращая «подвижную стойку» (см. рис. 3) находят направление на максимальное число одновременно наблюдаемых на дисплее спутников, после чего вращение антенны прекращают. Это положение антенны считается исходным. Фиксируют соответствующее положение «указателя направления» на «подвижном лимбе» и совмещают с ним нулевую отметку шкалы лимба. Затем, контролируя по дисплею видимость спутников поворачивают

«подвижную стойку» с закрепленной на ней «горизонтальной штангой», на которой установлена «антенна», по часовой стрелке на угол 45° . В таком положении в течение одной минуты выполняют геодезические измерения, которые заносятся в память измерительной аппаратуры. Далее в том же направлении по часовой стрелке с использованием угловой шкалы лимба, вращая «подвижную стойку», поворачивают антенну на следующие 45° и производят измерения также в течение одной минуты. Этот процесс продолжают до завершения полного оборота вращения антенны, то есть до

возвращения её в первоначальное исходное положение, в котором также выполняют измерения в течение одной минуты. Координаты измеряемой точки получают путем осреднения полученных осредненных результатов значений координат при каждом фиксированном положении антенны на данной измеренной точке. Таким образом, принципиальная суть способа проведения геодезических измерений с использованием глобальных спутниковых радионавигационных систем, который включает в себя прием радиосигнала с помощью спутникового приемника, вращение в ходе приема расположенной на выносной штанге антенны приемника относительно вертикальной оси, проходящей через измеряемую точку, и обработку усредненного результата, заключается в том, что при проведении *фазовых* измерений вращение в ходе приема антенны спутникового приемника осуществляют в горизонтальной плоскости с радиусом вращения в пределах $0,5\lambda$, где λ – длина волны несущих колебаний принимаемого сигнала [3].

Сравнительные результаты точностных характеристик при статическом режиме измерений (продолжительность сеанса наблюдений составляла 1 час) и при работе по секторам (измерения в 9 секторах выполнялись по 1 мин.) представлены в таблице.

Таблица. Результаты сравнительных измерений спутниковой одночастотной аппаратурой Pro Mark –2 (местность полузакрытая, смешанный лес)

Дата	Истинные СКП		Количество ИСЗ	Примечание
	М _{ПЛ} , м	М _Н , м		
05.02.07	0.206	-0.140	6-8	Режим измерений статика, угол $i \geq 15^\circ$ PDOP ≤ 4 , база B = 24 км
08.02.07	0.141	-0.068	6-8	
08.02.07	0.116	-0.014	6-8	
Среднее СКП	0.159	0.090		
06.02.07	0.050	-0.072	6-8	Режим измерений по секторам, плечо $\lambda/2 = 10$ см угол $i \geq 15^\circ$ PDOP ≤ 4 , база B = 24 км
06.02.07	0.054	-0.099	6-8	
08.02.07	0.110	-0.084	6-8	
Среднее СКП	0.076	0.086		

Применение антенно-мачтового устройства в полузакрытой лесной местности позволило повысить точностные характеристики планового положения примерно в два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. [Текст] В 2 т. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО СГГА. – М.: ФГУП “Картгеоцентр”, 2006. – 694 с.

2. Генике, А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и её применение в геодезии [Текст] / А.А. Генике, Г.Г. Побединский.- М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1999. – 272 с.
3. Пат. №68709 (Россия). Устройство для проведения спутниковых геодезических измерений / А.Г. Прихода, А.П. Лапко. – М., 2007.
4. Пат. №2116656 (Россия). Способ проведения геодезических измерений с использованием глобальных спутниковых радионавигационных систем и устройство для его осуществления (варианты) / А.Г. Прихода, А.П. Лапко, А.А. Пыстин, Г.И. Мальцев, И.И. Лемзяков. – М., 1998.
5. Геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем [Текст] / А.Г. Прихода, А.П. Лапко, Г.И. Мальцев, А.А. Пыстин, И.А. Бунцев: метод. рекомендации / Науч. ред. А.Г. Прихода. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. – 158 с.
6. Решение о выдачи патента на изобретение по заявке №2006112424/09(013511) Россия. Способ проведения спутниковых геодезических измерений / А.Г. Прихода, А.П. Лапко. – М., 2007.
7. Синякин, А.К. Принципы работы глобальных систем местоопределения (GPS): учеб. пособие [Текст] / А.К. Синякин. – Новосибирск: СГГА, 1996. – 57 с.

© Г.И. Мальцев, А.Х. Мелеск, А.П. Лапко, 2008

УДК 528:629.783

Т.И. Горохова

СГГА, Новосибирск

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ СЧЕТА ЦИКЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФАЗОВЫХ ГНСС ИЗМЕРЕНИЙ

T.I. Gorokhova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

REVIEW OF MODERN METHODS FOR CYCLE SLIPS DETECTION AND RESTORATION DURING GNSS PHASE MEASUREMENTS PROCESSING

The article presents a brief review of modern methods for the solution of the problem of phase jumps detection and restoration in GNSS measurements results. By far the investigation of this phenomenon has been conducted by two methods: statistical one and that of linear combinations. The most common phase-measurements testing methods are considered, such as Kalman filter, Melbourne-Wubben combination and wide-line combination.

В отличие от традиционных методов геодезии, где качество измерений наблюдатель может оценить визуально, спутниковые технологии довольно «закрыты»: обнаружить и исправить ошибки можно лишь в процессе обработки данных. Особенно коварными и труднообнаружимыми являются так называемые потери счета циклов.

Возникает эта ошибка, когда приемник в силу различных причин (радиопомехи, препятствия, неполадки аппаратуры) «теряет из виду» спутник на некоторое время. Потеря захвата может быть короче, чем временной интервал между соседними эпохами сбора данных или гораздо дольше, в этом случае произойдет разрыв в данных. Приемник постоянно определяет разность между фазой полученного сигнала и фазой сигнала, сгенерированного им самим. Разность в 0 или 360 градусов фиксируется специальным счетчиком и составляет целый цикл. Если сигнал прерывается, то какое-то количество разностей фаз не фиксируется приемником, и показания счетчика искажаются. Влиянию этой ошибки подвержены только фазовые измерения.

В начале 80-х гг. предполагалось, что по мере совершенствования принимающей аппаратуры и увеличения количества спутников на орбите эта проблема исчезнет сама собой. Однако выявление пропусков циклов и их восстановление все еще является сложной задачей, даже после многих лет исследований.

Величина этой ошибки незначительна для навигации и обычных геодезических работ, однако точное позиционирование требует выявлять и полностью исправлять пропуски циклов. Для этого необходимо определить положение скачка в измеренной фазе и его размер. Восстановление счета циклов осуществляется посредством исправления всех последующих наблюдений фаз для данного спутника и несущей частоты на фиксированную величину.

Принцип большинства методик состоит в предположении, что измеренные величины и функции от них (например, одинарные или двойные разности) плавно изменяются со временем. Их изменение можно предсказать с помощью временного полинома, составленного по результатам измерений. Если эмпирическое и предсказанное значения расходятся больше допуска (например, 0,1 цикла), то целая часть этой разности будет добавляться к наблюдаемой фазе, начиная с обнаруженного срыва.

Алгоритм цифровой фильтрации, предложенный Рудольфом Калманом в 1960 году, сразу получил положительные отзывы специалистов и до сих пор является основным средством обработки измерений в навигационных системах, использующих спутниковый метод. Фильтр Калмана явился существенным усовершенствованием своего предшественника – алгоритма, позволяющего с помощью метода наименьших квадратов выделять скалярный сигнал из шума с неизменными статистическими характеристиками, предложенного в 40-х годах XX столетия Н. Винером. Калмановская фильтрация чаще всего используется при обработке кинематических данных.

Суть метода состоит в том, что измеренные величины сравниваются с предсказанными, выведенными из динамической модели в фильтре Калмана. При этом признаком потери циклов будут значительные расхождения между «теорией» и «практикой». Главной трудностью при применении этого фильтра является подбор величин для оценивания: если выбраны несоответствующие параметры, метод может выдавать непредсказуемые результаты. В табл. 1 приведены тестируемые величины для измерений, выполненных одним приемником и парой приемников [1].

Таблица 1. Параметры фильтра Калмана для выявления пропусков циклов

	Набор данных	Оцениваемая величина
Один приемник	Фаза на одной частоте (L1/L2)	Необработанная фаза
	Фазы на двух частотах (L1+L2)	Фазовые комбинации
	Фаза и кодовая дальность на одной частоте	Комбинация фазы и кодовой дальности
	Фаза и интегральный доплер на одной частоте	Комбинация фазы и интегрального доплера
Пара приемников	Фаза на одной частоте (L1/L2)	Одинарные, двойные, тройные разности фаз
	Фазы на двух частотах (L1+L2)	Комбинация фазы, свободная от геометрии
	Фаза и кодовая дальность на двух частотах	Разность широкополосной фазы и узкополосной псевдодальности

Другой путь выявления срывов – составление и вычисление разностей от первого порядка и выше для временных рядов из одинарных, двойных, тройных разностей измеренных величин, т.е. использование различных линейных комбинаций, чувствительных к потерям циклов. Примерами комбинаций, полезными для кинематических данных, являются ионосферная фазовая задержка, остаточная невязка в дальности и разность широкополосной фазы и узкополосной псевдодальности. Эффективность этих методов во многом зависит от качества кодовых наблюдений.

Комбинация Мельбурна-Вюббена, предложенная в 1985 г. двумя немецкими учеными, является линейной комбинацией кодовых и фазовых наблюдений и представляется формулой [2]:

$$MW = L_W - P_W,$$

$$MW = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 + f_2 P_2),$$

где L_W, P_W – фазовые и кодовые наблюдения; f_1, f_2 – частоты несущих $L1$ и $L2$; L_1, L_2 – нулевые или двойные разности измерений; P_1, P_2 – кодовые измерения. При этом также исключаются влияния ионосферы, геометрии, часов и тропосферы. Однако при включенном режиме «selective availability» (SA) шум комбинации Мельбурна-Вюббена для большинства геодезических приемников очень высок и выявляются только потери $\pm 2 - 4$ цикла.

Для разрешения фазовых неоднозначностей при решении базовых линий, превышающих 2000 км в 1990 г. Д. Блюитом была разработана методика, во многом схожая с уже рассмотренной комбинацией Мельбурна-Вюббена. Слабость метода заключается в еще более высоких требованиях к шуму кодовых наблюдений.

Успешно используется широкополосная линейная комбинация [4]:

$$L_5 = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2),$$

для фиксирования потерь счета циклов и разрешения неоднозначностей на уровне двойных разностей наблюдений фазы.

Чтобы воспользоваться вышеперечисленными методами, необходимо иметь двухчастотные наблюдения минимум с двух приемников. В 1985 г. был предложен простой метод тестирования измерений на одной точке при использовании двухчастотного приемника. Принцип метода основан на следующих соотношениях [5]:

$$\Phi_j^i(t)_{L2} = \Phi_j^i(t)_{L1} * f_{L2} / f_{L1},$$

$$d = \Phi_j^i(t)_{L1} - \Phi_j^i(t)_{L2} * f_{L1} / f_{L2},$$

$$d = N_j^i(L1) - f_{L1} / f_{L2} * N_j^i(L2) + A / f_{L1} * (1 - f_{L1}^2 / f_{L2}^2)$$

где $\Phi_j^i(t)_{L1}, \Phi_j^i(t)_{L2}$ – измеренные фазы на $L1$ и $L2$ со спутника i на приемнике j в момент (t) , f_{L1}, f_{L2} – частоты соответственно для $L1$ и $L2$,

$N_j^i(L1)$, $N_j^i(L2)$ – целые неоднозначности для комбинации «спутник-приемник» на L1 и L2, A – влияние ионосферы. Несомненным достоинством метода является возможность быстро оценить качество наблюдений на отдельной станции при кинематической съемке. Однако при больших разрывах в данных эффективность его применения резко падает.

Выбор методики учета потерь счета циклов зависит от имеющихся данных: их качества, производились наблюдения на одной точке или больше, по одной частоте или по двум, режима измерений (кинематика или статика) и т.д., а также от имеющегося программного обеспечения, требований к точности, длины базовой линии и, в какой-то мере, от личных предпочтений оператора. Для достижения наилучшего результата, данные необходимо последовательно тестировать разными методами. Например, сначала комбинацией Мельбурна-Вьюббена выявляются возможные потери циклов, их размер определяется из геометрически свободной комбинации, а в ионосферно-свободных комбинациях удаляются плохие наблюдения.

На основании выполненного анализа современных методов выявления и исправления потерь счета циклов можно сделать следующие выводы:

1. На сегодняшний день нет однозначного решения вопроса по учету этой ошибки;
2. Методики учета ошибки для кинематики и статики должны быть различны;
3. Для получения более достоверных результатов измерений необходимо совершенствовать существующие методы решения этой проблемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 2. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. – 360 с.: ил.
2. Rothacher M. Satellitengeodesie: Einfuhrung in GPS. Vorlesungsskriptum. [Electronic resource] / M. Rothacher. – Munchen, 2007. – 194 с. – Нем. Режим доступа: tau.fesg.tu-muenchen.de/~iapg/web/lehre/skripten/SatGeo_1.pdf
3. Bauer M. Vermessung und Ortung mit Satelliten: Navstar-GPS und andere satellitengestutzte Navigationssysteme. / M.Bauer. – Karlsruhe:Wichmann, 1992. – 263 с. – Нем.
4. Hugentobler U., Schaer S., Fridez P. Bernese GPS Software. [Electronic resource] / U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez – 557 с. – Англ. Режим доступа: www.aiub-download.unibe.ch/BERN42/DOCU/DOCU42_1.pdf
5. Gross P., Noordin A. Field validation of GPS phase measurements. / P. Gross, A. Noordin – GPS-Techniques Applied to Geodesy and Surveying, 1988. – 349–360 с. – Англ.

УДК 528:629.783

Е.В. Михайлович

СГГА, Новосибирск

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ОРБИТА-СГГА-2»

Ye.V. Mikhailovitch

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TRAJECTORY MEASUREMENTS PROCESSING BY “ORBITA-SSGA-2” PROGRAM COMPLEX

The article describes the results of laser ranging processing KA «LAGEOS» and pseudorange radio measurement for KA (GPS component) by means of «ОРБИТА-СГГА-2 » programme complex.

Программный комплекс «ОРБИТА-СГГА-2» предназначен для обработки спутниковым динамическим методом результатов траекторных измерений (дальности) с целью оценивания параметров расширенного вектора состояния, включающего: параметры модели движения; коэффициенты разложения геопотенциала в ряд по шаровым функциям; координаты наземных измерительных пунктов (НП); параметры вращения Земли (ПВЗ). Описание данного программного комплекса (ПК) было приведено в [1].

Ранее ПК «ОРБИТА-СГГА-2» использовался для обработки лазерных измерений КА «ЛАГЕОС», проведенных в рамках международной компании «МЕРИТ – 83-84 гг.». В настоящее время была предпринята попытка обработки результатов современных лазерных измерений.

Известно, что лазерные измерения дальностей КА «ЛАГЕОС» регулярно проводятся с нескольких десятков наземных пунктов (НП). Результаты данных измерений приводятся в [<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/slr/data/fr/>]. Однако, возможность проведения лазерных измерений зависит от таких факторов, как время суток и метеоусловия. Поэтому нужно было выбрать такой временной интервал, чтобы результаты измерений, выполненных в этот промежуток, удовлетворяли определённым геометрическим условиям, необходимым для обеспечения «хорошей обусловленности» матрицы системы уравнений поправок [1]. Данным требованиям соответствовал промежуток времени с 1 по 15 августа 2006г. Для обработки был взят файл «сырых» измерений, затем из данного файла была сделана пятиминутная выборка. Полученный в результате файл содержал 407 измерений дальности, выполненных с пяти наземных пунктов. Длина мерного интервала составила 300 часов. Данные о наземных пунктах и количестве измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номера НП	7090	7110	7501	7838	7124
Число измерений	258	63	65	21	11

При обработке измерений в состав оцениваемых параметров были включены координаты наземных станций и начальные условия движения КА «ЛАГЕОС». Расчёт траектории движения КА осуществлялся с учётом следующих возмущающих факторов:

- Влияние притяжения Луны, Солнца, восьми планет солнечной системы;
- Несферичность геопотенциала (до гармоник 16-го порядка);
- Влияние прямого и отражённого солнечного излучения;
- Влияние инфракрасного излучения Земли;
- Действие лунно-солнечных приливов для КА и НИП;
- Прецессия и нутация оси вращения Земли;
- Полярное движение и неравномерность вращения Земли.

Была проведена оценка точности полученных результатов обработки по внутренней сходимости [1]. Среднее квадратическое значение остаточных невязок $\bar{\mu}$, полученное в результате обработки измерений для выбранной орбитальной дуги составило 4.1 м. На рис. 1 приведены некоторые графики остаточных невзвешенных невязок. На графиках по оси ОХ отложены номера измерений, по оси ОУ расположены значения остаточных невязок ξ в сантиметрах. Измерения, для которых приведены остаточные невязки, произведены в течение одного прохождения КА над горизонтом данного НП и отстоят друг от друга на приблизительно равные интервалы времени.

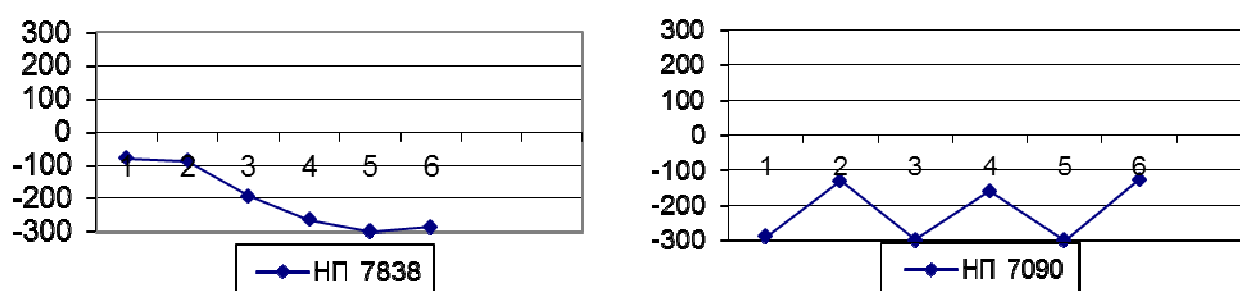


Рис. 1. Остаточные невзвешенные невязки станций

Вид графиков остаточных невязок позволяет предположить наличие систематической погрешности, причина появления которой пока не установлена.

Так же был проведён численный эксперимент по обработке результатов радиотехнических измерений псевдодальности для одного КА, входящего в систему GPS.

Известно, что измеренная кодовая псевдодальность может быть описана следующей формулой [2]:

$$P_A^i = \rho_A^i + cdt_A - cdt^i + I_A^i + T_A^i + d_A + d^i + dm_A^i + e_A^i.$$

Здесь нижний индекс A относится к пункту наблюдений, а верхний индекс i – к спутнику, $i = 1, 2, \dots, s$, где s – количество наблюдаемых спутников. В правой части формулы находятся: геометрическая дальность ρ_A^i , сдвиги шкал часов dt_A и dt^i (поправки часов), соответственно, для приёмника и для спутника, ионосферная I_A^i и тропосферная T_A^i задержки, задержки сигналов в аппаратуре приёмника d_A и спутника d^i , влияние многопутности dm_A^i и случайная ошибка измерений e_A^i . Скорость распространения радиоволн в вакууме обозначена через c .

В данном случае, программы, реализующие модели ионосферы, тропосферы, поправок часов, находятся в стадии разработки, поэтому влияние данных факторов не учитывалось. При расчёте орбиты КА использовался тот же набор возмущающих факторов, что и для лазерных измерений. Однако отсутствовала возможность корректного учета влияния прямого и отраженного солнечного излучения, поскольку не имелось данных о размерах КА.

Для обработки были взяты псевдодальности, измеренные по P – коду на частоте $L2$. Измерения проводились с девяти наземных пунктов на временном интервале с 20.09.04 г. по 27.09.04 г. [<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/>]. Затем было сформировано семь 24-часовых орбитальных дуг для КА, имеющего код PRN – 09. Данные о НП и количестве измерений для одной орбитальной дуги приведены в табл. 2.

Таблица 2

Название НП	ARTU	IRKT	KSTU	NRIL	NUA1
Число измерений	31	20	11	29	35
Название НП	NYAL	POL2	SELE	URUM	
Число измерений	33	31	22	33	

При обработке измерений в состав оцениваемых параметров были включены координаты НП и начальные условия движения КА. Была проведена оценка точности полученных результатов обработки по внутренней сходимости. Средние квадратические значения остаточных невязок $\hat{\mu}$ полученные в результате обработки 24 – часовых орбитальных дуг составили 180–200 метров. На рис. 2 приведены некоторые графики остаточных невзвешенных невязок. На графиках по оси OX отложены номера измерений, по оси OY расположены значения остаточных невязок $\hat{\xi}$ в метрах. Измерения, для которых приведены остаточные невязки, произведены в течение одного прохождения КА над горизонтом данного НП и отстоят друг от друга на приблизительно равные интервалы времени.

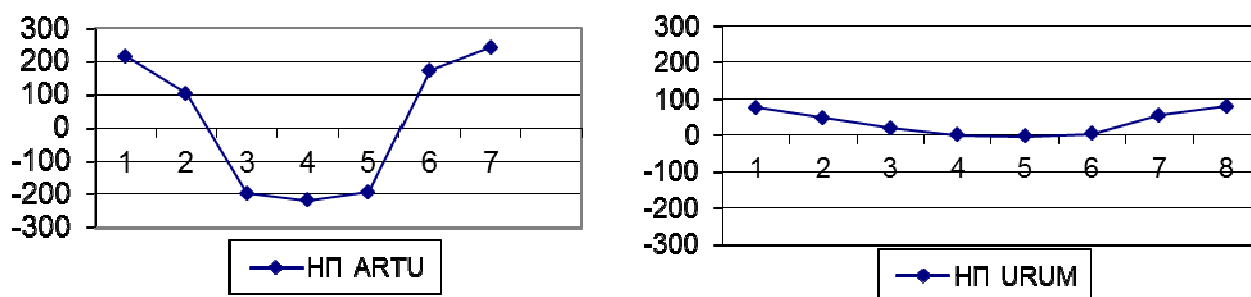


Рис. 2. Остаточные невзвешенные невязки станций

Вид графиков остаточных невязок позволяет предположить, что основными источниками погрешности являются тропосферная и ионосферная задержки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Восстановление и испытание программного комплекса «ОРБИТА-СГГА-2» для решения задач космической геодезии динамическим методом [Текст] / Ю.В. Сурнин, В.А. Ащеулов, Е.В. Михайлович, Н.К. Шендрик // III Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь-2007» том 1, ч. 2. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 52–58.
2. King R.W. Surveying with Global Positioning System(GPS) [Text] / R.W. King, E.G. Masters, C. Rizos, a. Stolz, J. Collins // Bonn Ferd. Dummler Verlog. 1987. – 128 p. – Англ.

© Е.В. Михайлович, 2008

УДК 006:629.783

А.К. Синякин, А.В. Кошелев

СГГА, Новосибирск

ОБ ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС

A.K. Sinyakin, A.V. Koshelev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GLONASS SIGNALS- SPECTRUMS FEATURES

The authors analyze carrier components of GLONASS navigation system signals modulated by ranging codes. The conclusion is made that the sidetones of random codes are located close to neighboring carrier frequencies and may interfere with intelligence signals reception.

Космические аппараты радионавигационных спутниковых систем излучают несущие колебания, промодулированные по фазе псевдослучайной последовательностью кодов и сигналами служебной информации. Несущие частоты спутников GPS имеют фиксированные значения: 1575,42 МГц и 1227,6 МГц. В космическом сегменте ГЛОНАСС каждый спутник излучает свои несущие волны, значения которых находятся в диапазонах [1]:

- Первая несущая L1 от 1598,0625 МГц до 1609,3125 МГц;
- Вторая несущая L2 от 1242,9375 МГц до 1251,6875 МГц.

Применение сигналов псевдослучайной последовательности для фазовой модуляции несущих ГЛОНАСС (стандартный и точный коды) позволяет предварительно решать задачи измерения псевдодальности «спутник-потребитель». Поэтому эти сигналы получили название дальномерных кодов.

Частоты дальномерных кодов ГЛОНАСС определяются значениями:

- Для стандартного кода – 511 кГц;
- Для точного кода – 5,11 МГц.

Фазовая модуляция сигналов приводит к расширению частотного спектра несущих колебаний, сопровождаясь девиацией частоты. Значения боковых составляющих частотного спектра при фазовой модуляции сопровождаются вычислениями индекса фазовой модуляции M_φ [2].

На основе расчетов, с использованием функций Бесселя, получается, что спектр частоты L1, излучаемый любым спутником ГЛОНАСС, ограничивается фактически первыми боковыми составляющими ± 511 кГц. Амплитуды этих составляющих по отношению к амплитуде несущей определяются на уровне

60%. Последующие боковые составляющие спектра не выходят за пределы 5% и поэтому не оказывают влияния на прием сигналов потребителем.

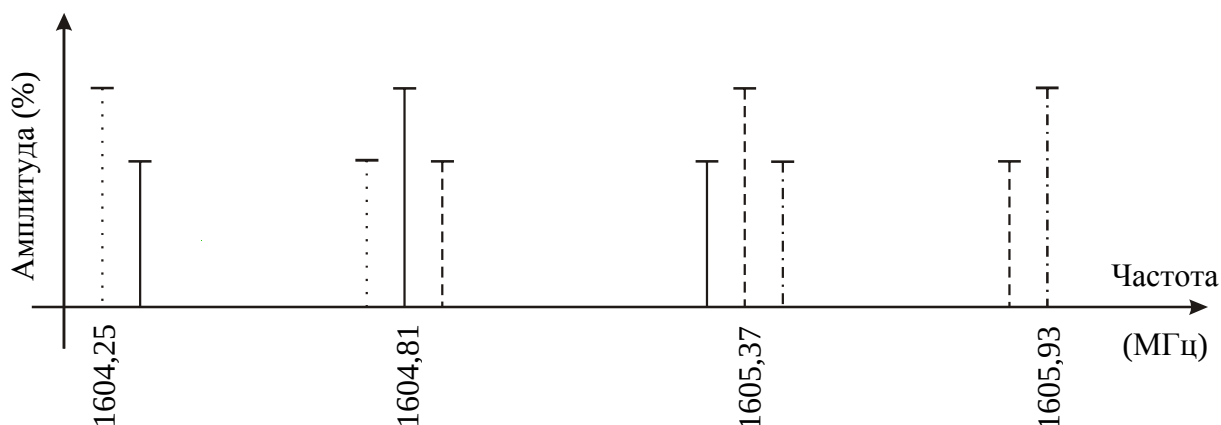
Несущие колебания, излучаемые каждым спутником ГЛОНАСС, достаточно близко соприкасаются по частотным каналам.

В табл. 1 приведены некоторые значения несущих частот спутников ГЛОНАСС [1].

Таблица 1

Номера каналов	Частота, МГц	
	L1	L2
04	1604,25	1247,75
05	1604,8125	1248,1875
06	1605,375	1248,625
07	1605,9375	1249,0625

С учетом этих данных сформирован спектр несущих L1 при фазовой модуляции. Спектр фазомодулированных колебаний на рис. 1.



- Амплитуда несущей 05 канала и его модулирующих частот;
- Амплитуда несущей 06 канала и его модулирующих частот;
- Амплитуда несущей 04 канала и его модулирующих частот;
- Амплитуда несущей 07 канала и его модулирующих частот.

Рис. 1. Спектр фазомодулированных колебаний L1

Из размещения частот по спектру следует, что боковые составляющие спутника с последующим порядковым номером находится в частотном диапазоне предыдущего спутника, а боковая составляющая предыдущего спутника – в диапазоне последующего.

Разность частот несущей и боковой составляющей соседнего спутника составляет 51,5 кГц.

В приемниках потребителей ГЛОНАСС используется трехкратное понижение частоты несущих сигналов [3]. Первое и второе преобразование частоты выполняется для всех спутников, «захваченных» антенной приемника.

При третьем преобразовании частоты в приемнике разделяются каналы каждого спутника с полосой пропускания усилителя промежуточной частоты 500 кГц [3], с тем, чтобы спектрозировать сигналы с других спутников.

При возможном нахождении в поле зрения приемника спутников с последовательными номерами возможен прием сигнала дальномерного хода не собственного спутника, а соседнего, что значительно затрудняет селекцию спутниковых каналов и снижает надежность и качество измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации [Текст] / В.С. Яценков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 200 с.
2. Битин, Б.М. Радиопередающие устройства [Текст] / Б.М. Битин – М.: Высшая школа, 1972. – 300 с.
3. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина [Текст]. – М.: ИПРЖР, 1998. – 200 с.

© А.К. Синякин, А.В. Кошелев, 2008

УДК 528.34: 629.783

Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА РЕГУЛЯРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМНОГО ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПОСТРОЕННЫХ СПУТНИКОВЫМ И ТРАДИЦИОННЫМ МЕТОДАМИ

Yu.V. Surnin, Ye.G. Gienko

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

PROCEDURE FOR REGULAR PARAMETERS ESTIMATION OF MUTUAL GEODETIC NETWORK TRANSFORMATION CONSTRUCTED BY MEANS OF GPS AND TRADITIONAL SURVEYING METHODS

The main aspects of transformation parameter estimation procedure when matching the local GPS and terrestrial geodetic networks are outlined. The procedure makes it possible to transform GPS geodetic networks into the reference coordinate system. Its true geometry, a scale and high accuracy (1 mm) are left unchanged.

Введение

Четыре фактора создают проблему корректного совместного использования спутниковых геодезических сетей (СГС) и государственной координатной основы (ГКО), образуемой наземными центрами и каталогами плановых координат x, y (например, Система координат 1995 года - СК-95) и нормальных высот H^y (например, Балтийская система высот 1977 года – БСВ-77) [1].

Первый фактор – точностной. Он заключается в том, что точность относительного положения пунктов спутниковой сети (как в плане, так и по высоте), примерно, на порядок выше, а в некоторых случаях и более, чем соответствующая точность существующей координатной основы.

Второй фактор – физический. Он состоит в том, что плановая часть ГКО – государственная геодезическая сеть (ГГС) и высотная часть ГКО – государственная нивелирная сеть (ГНС) не образуют единую трехмерную пространственную систему, поскольку созданы в различных физических системах отсчета: ГГС – в геометрической (в системе референц-эллипсоида), ГНС – в гравитационной (в системе нормальных высот). Спутниковая геодезическая сеть – в противоположность традиционной геодезической сети – образует трехмерную пространственную систему s , примерно, равными по точности координатами (если согласиться с тем, что двукратное понижение точности по высоте в СГС по сравнению с десяти кратным снижением точности по отношению к ГКО не существенно).

Третий фактор – математический. Он заключается в том, что на ограниченной территории и относительно низкой точности высот квазигеоида система уравнений связи координат плохо обусловлена.

Четвертый фактор – нормативно-технический. Он связан с введением дополнительного спутникового каталога (или списка координат) по отношению к существующему государственному каталогу и технически грамотным использованием спутниковой сети (точнее координат) в различных топографических и геодезических приложениях.

Проблемы, связанные с первыми тремя факторами могут быть в значительной степени ослаблены с помощью методики регулярного оценивания параметров трансформирования систем координат. Основу регулярной методики составляют:

1. Расширенная математическая модель взаимного трансформирования локальных спутниковых сетей и государственной координатной основы;
2. Методика декомпозиции задачи оценивания параметров, как в пространстве измерений, так и в пространстве оцениваемых параметров;
3. Алгоритм выделения устойчивой части решения из исходной информации, сопровождаемой погрешностями измерений и математической модели;
4. Методика построения и использования математической модели локального квазигеоида в уравнениях взаимного трансформирования координат.

В основу разработки методики регулярного оценивания параметров положены следующие системные требования к оцениванию параметров математической модели взаимного трансформирования координат [2]: модель должна быть адекватна, наблюдаема, и алгоритм оценивания параметров должен быть состоятелен. Основные положения регулярной методики рассматриваются ниже.

Расширение математической модели трансформирования координат параметрами математической модели локального квазигеоида [3]

В математическую модель трансформирования включаются, кроме принятых в геодезической практике параметров сдвига δR , наклона ω и масштаба m , параметры (c) математической модели локального квазигеоида. Тогда для такой модели с расширенным вектором оцениваемых параметров $\{\delta R, \omega, m, c\}$ выполняется требование адекватности модели исходной измерительной информации.

Методика декомпозиции задачи оценивания параметров трансформирования [3]

Вместо принудительного разделения задачи определения параметров трансформирования на плановую и высотную части, вводится более корректная физическая и алгебраическая декомпозиция модели, выполняемая в пространствах измерений и оцениваемых параметров. Она достигается:

– В пространстве измерений – ортогональным преобразованием входных данных в локальные горизонтальные системы координат узловых точек (точек, имеющих координаты в двух системах);

– В пространстве оцениваемых параметров – введением локальных параметров ориентирования (сдвига $\delta \mathbf{R}_0^{H_0}$ и наклона ω^{H_0}) в осях горизонтальной системы координат начальной точки локальной сети (подобно параметрам модели трансформирования М.С. Молоденского [4] или параметрам внешнего ориентирования И.Д. Жонголовича [5]).

В результате декомпозиции математическая модель трансформирования, представляющая собой линеаризованную систему уравнений, приобретает блочную структуру, в которой вся существенная информация содержится в диагональных блоках, а внедиагональные блоки получают норму того же порядка, что и погрешности исходных данных.

В декомпозированной модели геодезическая высота пункта H' в системе референц-эллипсоида, принятого для ГКО, выражается через геодезическую высоту H в СК спутниковой геодезической сети и разность геодезических высот ΔH по формуле: $H' = H - \Delta H$, где $\Delta H = f(\delta \mathbf{R}_0^{H_0}, \omega^{H_0}, \Delta a, \Delta e, B)$ – функция от локальных параметров ориентирования, разностей размеров Δa и формы Δe эллипсоидов, и геодезической широты B .

В этом случае происходит корректное разделение системы уравнений на плановую и высотную части.

Далее выполняется алгебраическая декомпозиция модели. Она заключается в приведении прямоугольной системы линейных уравнений (СЛУ) общего вида $\mathbf{Ax}=\mathbf{f}$ к диагональному виду $\mathbf{\Sigma y}=\mathbf{g}$, с помощью сингулярного разложения матрицы коэффициентов $\mathbf{A}=\mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{W}^T$, где $\mathbf{\Sigma}$ – диагональная матрица, содержащая сингулярные числа $\sigma_1, \dots, \sigma_m$, m – количество оцениваемых параметров, $\mathbf{U}$, $\mathbf{W}$ – левая и правая ортогональные матрицы, составленные из сингулярных векторов, $\mathbf{y}$ – преобразованный вектор неизвестных параметров по формуле $\mathbf{y}=\mathbf{W}^T\mathbf{x}$ и $\mathbf{g}$ – преобразованный вектор свободных членов по формуле $\mathbf{g}=\mathbf{U}^T\mathbf{f}$.

Таким образом, предложенная декомпозиция позволяет:

– Отделить (практически без искажений) задачу определения параметров локального квазигеоида от задачи определения параметров ориентирования (сдвига и наклона) и масштаба;

– Корректно выделить количественно и качественно (по составу) и интерпретировать физическое значение параметров ориентирования, устойчиво оцениваемых для локальной геодезической сети.

Алгоритм выделения устойчивой части решения из исходной информации, сопровождаемой погрешностями измерений и модели [6]

Критерием устойчивости решения может служить относительная погрешность ε_x вектора оцениваемых параметров $\mathbf{x}$, приближенно вычисляемая, как $\varepsilon_x \leq \mu(\mathbf{A})(\alpha + \beta)$, где $\mu(\mathbf{A})$ – число обусловленности системы линейных

уравнений, α, β – относительные погрешности матрицы коэффициентов и правой части, соответственно.

Решение с $\varepsilon_x < 1$ считается устойчивым. В противном случае решение будет согласующим и оценки параметров могут быть весьма далеки от истинных значений. Для сближения оценок параметров с истинными значениями следует в первую очередь привлечь дополнительную информацию о векторе решения, а если ее нет, то выделить устойчивую часть решения из шума измерений и модели.

При выделении устойчивой части решения воздействие на СЛУ следует выполнять как со стороны матрицы коэффициентов **A**, так и со стороны вектора свободных членов **f** (правой части).

Воздействие на систему уравнений со стороны матрицы коэффициентов состоит в определении эффективного ранга r матрицы **A** по двум критериям [7]: по критерию нижней границы информативных сингулярных чисел $\tau = \alpha \sigma_{\max}$ и по критерию зазора $d = \sigma_1 / (\sigma_r - \sigma_{r+1})$ между двумя группами сингулярных чисел – информативной $\{\sigma_1 \dots \sigma_r\}$, содержащей информацию, и неинформативной $\{\sigma_{r+1} \dots \sigma_m\}$, которая содержит “шум” в исходных данных. Регуляризация решения состоит в обнулении тех новых неизвестных y_i , для которых сингулярные числа меньше границы τ , т.е. : $y_i = 0$, если $\sigma_i < \tau$ для $i = 1, \dots, m$.

Воздействие на правую часть системы уравнений заключается в обнулении компонент вектора **g**, меньших границы $\gamma = \chi \|\Delta f\|$, где $\|\Delta f\|$ – норма погрешности правой части СЛУ, $\chi = 1..3$ – величина, характеризующая ширину доверительного интервала.

На основании выработанных критериев разработан самонастраивающийся алгоритм регулярного оценивания параметров трансформирования, автоматически адаптирующийся к размерам локальной геодезической сети.

Методика построения и использования математической модели локального квазигеоида [8]

В основу построения математической модели локального квазигеоида положено геометрическое соотношение между нормальной высотой N^y , геодезической высотой N и высотой квазигеоида относительно эллипсоида ζ , $\zeta = N - N^y$.

В силу несовпадения начал отсчета высот имеют место систематические сдвиги во всех трех компонентах [8]. Поэтому указанное соотношение может использоваться для определения модели лишь локального квазигеоида.

В качестве измерений при построении модели могут служить высоты квазигеоида, превышения высот квазигеоида, уклонения отвесной линии. Поверхность квазигеоида может аппроксимироваться с применением различных математических методов. При построении модели ставится задача максимального приближения модели к измерениям.

Модель локального квазигеоида применяется для получения нормальных высот и относительных уклонений отвесной линии в пределах области аппроксимации. Для корректного использования модели должно выполняться

условие единства систем координат: СК, в которой строилась модель, и СК, в которой она используется, должны совпадать.

При условии адекватности модели точность нормальных высот в пределах области аппроксимации соответствует точности измерений высот спутниковыми методами и геометрическим нивелированием; точность получения относительных уклонений отвесной линии находится на уровне точности астрономических определений и потенциально может быть выше.

Методика подтверждена теоретическими и численными экспериментами на модельных и реальных объектах. Она позволяет выполнять преобразование спутниковых координат в референцную систему с миллиметровой точностью, с сохранением геометрии и масштаба высокоточной спутниковой сети. По этой методике выполнена регулярная оценка параметров трансформирования и произведено согласование с ГКО спутниковых геодезических сетей Новосибирского эталонного пространственного полигона, первой очереди Новосибирской городской геодезической сети и Верхне-Салымского объекта. Точность согласования геодезических сетей составила в плане 3-6 см, по высоте (нормальные высоты) – 2-5 см [9]. С помощью модели локального квазигеоида были вычислены астрономо-геодезические уклонения отвесной линии, астрономические координаты и азимуты на двух пунктах Лапласа «Кремлевка» и «Алексеевка». Точность получения астрономических координат и азимутов соответствует точности астрономических определений первого класса [8], [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнин, Ю.В. Вставка без деформации локальной спутниковой геодезической сети в государственную плановую и высотную основы [Текст] / Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко // Тез. докл. на научно-техн. конф., посвящ. 90-летию К.Л. Проворова. – Новосибирск, 1999. – С. 9.
2. Брандин, В.Н. Определение траекторий космических аппаратов [Текст] / В.Н. Брандин, С.Н. Разоренов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Сурнин, Ю.В. Алгебраическая и физическая декомпозиция математических моделей при решении плохо обусловленных обратных задач геодезии [Текст] / Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко // Четвертый сибир. конгресс по приклад. и индустриал. математике (ИНПРИМ-2000): сб. науч. ст. – Новосибирск, 2001. – С. 57–64.
4. Молоденский, М.С. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли [Текст] / М.С. Молоденский, В.Ф. Еремеев, М.И. Юркина // Тр. ЦНИИГАиК. – М.: Геодезиздат, 1961. – Вып. 131. – 252 с.
5. Жонголович, И.Д. Об определении размеров общего земного эллипсоида [Текст] / И.Д. Жонголович // Тр. ИТА. – М.: АН СССР, 1956. – вып. 6. – С. 3–66.
6. Сурнин, Ю.В. Выделение устойчивой части решения плохо обусловленной задачи определения параметров взаимного трансформирования локальных геодезических сетей [Текст] / Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко // Тез. докл.

на научно-техн. конф. “Проблемы метролог. обеспечения топографо-геодез. пр. и землеустр. работ”. – Новосибирск, 2001. – С. 42.

7. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах [Текст] / С.К. Годунов, А.Г. Антонов, О.П. Кирилюк, В.И. Костин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 228 с.

8. Лесных, И. В. Мониторинг геопространства на основе современных и перспективных технологий. Экспериментальное обоснование методики построения математической модели локального квазигеоида для высотного обеспечения геомониторинга [Текст]: отчет НИР (промежуточ.) / СГГА; рук. И.В. Лесных. – Исполн. Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко. – Новосибирск, 2000. – 44 с. – Инв. № 02 2001.06364.

9. Гиенко, Е.Г. Результаты численных экспериментов по определению параметров трансформирования локальных геодезических сетей [Текст] / Е.Г. Гиенко // Тез. докл. на 51-й научно-техн. конф. преподавателей СГГА. – Новосибирск, 2001. – С. 15.

© Ю.В. Сурнин, Е.Г. Гиенко, 2008

УДК 629.783:[528.14+528.2+528.063]

В.В. Яхман

СГГА, Новосибирск

ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ БАНКА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Vi.V. Iachman

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

SATELLITE MEASUREMENTS DATA- BANK ESTABLISHMENT

The main causes of consumer information services poor condition are considered, as concerns satellite positioning. To meet the demands of as many customers as possible, including organizations using satellite technologies in their work, it is offered to establish a net of regional centres for collecting, saving and providing satellite positioning data to the customers all over the Russian territory. The type and information structure of the satellite measurements data bank are discussed. The necessity is proved for all the organizations in need of information services (satellite positioning) to cooperate and develop the integrated information strategy, tooling and data bank standards.

В настоящее время общепризнанным является факт перехода топографо-геодезического производства на спутниковые технологии. На территории России практически завершены работы по созданию государственной геодезической сети пунктов ФАГС, ВГС, а также имеются завершённые фрагменты СГГС-1. В отдельных регионах завершены работы по созданию спутниковых геодезических сетей для развития муниципальных, градостроительных, землеустроительных кадастровых систем. К настоящему времени на территории России созданы более тысячи активных станций, принадлежащих отдельным министерствам и ведомствам, на которых ведутся постоянные и периодические спутниковые наблюдения.

Отдельными организациями уже накоплены колоссальные объёмы спутниковых измерений, которые остаются невостребованными по целому ряду причин. Одной из основных причин является то, что к настоящему времени в России ещё не сформировался рынок информационных услуг спутникового позиционирования, а отсутствие правового и нормативного поля деятельности отрицательно сказывается на взаимоотношениях поставщиков информации и потребителей. Для интенсивного развития рынка информационных услуг спутникового позиционирования необходимо решить ряд вопросов, связанных с созданием региональных центров – поставщиков информации, введения единых стандартов, удовлетворяющих запросы как можно большего количества потребителей.

Во многих европейских странах, США, Канаде и Японии, благодаря государственным и частным инвестициям, такие центры уже созданы. Основной задачей таких центров является сбор, обработка и хранение информации по спутниковому позиционированию в банках данных. Однако такие центры в основном ориентированы на мониторинг целостности данных позиционирования, их архивирование, сжатие и восстановление, ведение информационного табло о наличии данных, передачи поправок для DGPS и данных для RTK, дистанционный контроль и управление сетью активных станций.

На наш взгляд, для удовлетворения запросов максимально возможного количества пользователей, в том числе и организаций, которые выполняют производственные работы с применением спутниковых технологий, данной информации явно не достаточно. Наряду с информацией, связанной со спутниковой аппаратурой, параметрами и результатами спутниковых измерений, потенциальным потребителям необходима информация и по «спутниковой геоизученности» на конкретную территорию, которая могла бы использоваться не только в процессе выполнения спутниковых измерений и их обработки, но и для составления проектов производства работ, планирования и организации спутниковых измерений, оценки условий приема сигналов от спутников на пунктах и т. д.

В нормативном акте [1] приведены рекомендации к оформлению и комплектации отчетных материалов по созданию спутниковых городских геодезических сетей (СГГС) в цифровом виде и их хранению, включая технические отчеты, карточки спутниковых измерений на пунктах СГГС, схемы спутниковых городских геодезических сетей. Однако данные рекомендации были ориентированы в основном на предприятия Роскартографии и не охватывали весь спектр информационных услуг по спутниковому позиционированию. Более того, в данном нормативном акте не приведены какие-либо сведения об организации хранения результатов по созданию СГГС в базах данных.

Таким образом, отсутствие соответствующих стандартов, единых структур баз данных и публикаций по обмену опытом в организации таких хранилищ привело к тому, что доступ к информации потенциальных потребителей оказался малоэффективным.

По этой причине многие производственные организации в России приступили к разработке и созданию «своих» карточных (бумажных) и цифровых хранилищ информации по спутниковому позиционированию. Так в 2003-2004 годах по инициативе отдельных сотрудников ФГУП «ПО Инжгеодезия» были разработаны структуры баз данных по спутниковой геоизученности и спутниковым измерениям. Такое разделение на отдельные базы данных, объединенных общим пользовательским интерфейсом, было продиктовано тем, что ведение каждой из баз данных могло выполняться различными организациями либо их подразделениями, решающими не только топографо-геодезические, но и навигационные задачи. Более того, данный подход позволял подключать дополнительные тематические таблицы без

коренной перестройки структуры существующей базы данных геоизученности. Например, в таблицу «Сведения о пункте» добавились поля со ссылкой на дополнительную информацию: доступность пунктов, условия наблюдений и наличие препятствий, диаграммы препятствий, спутниковые измерения, координаты в геоцентрической системе координат и способ их определения, способ установки спутниковой антенны и т.д. Таким косметическим изменениям подверглись и многие другие таблицы: «Список работ», «Виды работ», «Работы на пунктах», «Типы центров», «Классы», «Классы нивелирования», «Координатные системы», «Эллипсоиды», «Постоянные координатных систем». Были созданы и новые таблицы: «Классы СГГС», «Способ координирования». Более значительным изменениям подверглись таблицы, которые являлись исходными для отображения схем геодезических сетей: «Условные обозначения», «Связь пунктов». С целью апробации базы данных спутниковой геоизученности в неё была введена вся информация, полученная по результатам выполненной ФГУП «ПО Инжгеодезия» работы «Реконструкция НГГС – 1 очередь». Для ввода информации в базу данных использовались ранее разработанные различные файлы и формы данных: полевые журналы спутниковых наблюдений на пунктах ФАГС, на пунктах СГГС, журналы рекогносцировки СГГС, карточки обследования геодезических пунктов и карточки обследования нивелирных знаков, содержащие результаты полуинструментальной съёмки препятствий и диаграммы препятствий и т. д.

Более серьезных трудозатрат потребовала разработка структуры базы данных спутниковых измерений, которая содержит не только рабочие (GPS, ГЛОНАСС) и вспомогательные спутниковые системы (WAAS, EGNOS и т. д.), тип и файлы измерений, но и результаты оценки качества выполненных измерений, результаты предварительной и окончательной обработки выполненных спутниковых измерений. Например, одни и те же файлы измерений в базе данных должны храниться, как минимум, в трех разных форматах: «сырые» спутниковые измерения, формат независимого обмена данными измерений между приемниками разных фирм (RINEX-формат) и в виде копии проекта, содержащего уже отредактированные спутниковые измерения. Пропущенный через программу RINEX-экспорта файл измерений из фирменного представления данных распадается на ASCII-файлы 4-х типов, доступных для чтения программами обработки, имеющими опцию RINEX-импорта:

- Файлы данных наблюдений (obs-файлы),
- Файл навигационного сообщения GPS (GPS Nav),
- Файл метеорологических данных (met-файлы),
- Файл навигационного сообщения ГЛОНАСС (GLO Nav).

Более того, некоторые программы допускают обмен файлами решений базовых линий, либо в формате фирмы-разработчика, либо в едином формате SINEX (Solution Independent Exchange – независимый обмен решениями). После проведенного опроса ряда пользователей было принято решение – не включать

в базу данных формат SINEX. Также было принято решение о записи в базу данных ряда вспомогательных документов, характеризующих порядок и качество выполненных измерений: «программа выполнения спутниковых измерений», «графики спутниковых измерений на пунктах СГС», «протокол редактирования спутниковых измерений», «протокол обработки». В базе данных должны содержаться не только тип и серийные номера спутниковой аппаратуры, но и ее параметры, режимы и продолжительность измерений, параметры конфигурирования спутникового приемника, режим измерений и т. д. В таблице «Отчёт» должны содержаться следующие сведения: параметры проекта, фактическая продолжительность сеансов измерений, список базовых линий и пунктов, принятых в обработку, список базовых линий и пунктов, удаленных из обработки, с указанием причины, сводка невязок в замкнутых фигурах, статистики векторов, результаты предварительной обработки – минимально ограниченного уравнивания с соответствующими протоколами, каталог уравненных координат (пространственных и плоских) и т. д. Кроме схемы спутниковой геодезической сети или схемы маршрута в данной базе должны содержаться и схемы внецентренного определения координат пунктов с результатами соответствующих измерений. При разработке базы данных спутниковых измерений разработчики столкнулись с колоссальными объемами хранимой информации, что заставило серьезно задуматься о выборе инструментальной и аппаратной платформы для данной базы. В связи с большими объемами трудозатрат данная инициативная разработка базы данных спутниковых измерений, к сожалению, была выполнена только на макетном уровне без детальной проработки и апробации связей между таблицами. Были созданы только таблицы, предназначенные для хранения результатов спутниковых измерений, выполняемых на пункте ФАГС Новосибирск. При этом хранению в базе спутниковых измерений подлежали не только файлы измерений («сырые» и в формате RINEX) и файлы метеоданных (в формате RINEX), но и параметры спутниковой аппаратуры, идентификатор центра пункта ФАГС, на котором выполнялись спутниковые измерения, способ измерения высоты антенны, геоцентрические координаты, параметры конфигурирования спутникового приемника, характеристика качества суточных спутниковых наблюдений.

Хранимая в базах данных информация по спутниковой геоизученности и спутниковым измерениям неоднократно использовалась в последующие годы пользователями при составлении проектов спутниковых геодезических сетей в городе Новосибирске и для включения результатов спутниковых измерений в другие проекты. Это позволило значительно сократить трудозатраты при выполнении производственных работ.

Таким образом, в настоящий момент для максимального удовлетворения потребителей необходима консолидация и координация всех заинтересованных организаций в информационных услугах спутникового позиционирования с целью определения единой информационной стратегии, выбора инструментальной платформы и стандартов банка данных

спутниковых измерений, включая подсистему обработки запросов пользователей баз данных, структуры баз данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

© *В.В. Яхман, 2008*

УДК 528.2:519.654:519.2

А.Г. Барлиани

СГГА, Новосибирск

МЕТОД ГРЕВИЛЛЯ ПРИ УРАВНИВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

A.G. Barliany

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GREVILLE'S METHOD APPLICATION FOR GEODETIC NETWORKS ADJUSTMENT

The paper deals with the method of solution as concerns consistent, inconsistent and improperly stipulated sets of equations which is very important for geodetic networks adjustment. The algorithm is offered for successive arraying of correction-equation pseudoinversive matrix without normal equations matrix arraying and inversion. It simplifies geodetic networks adjustment by parametric and correlative methods.

The offered method is especially useful when in the course of time extension of the network is demanded and the calculations made previously for matrix A_t are to be repeated for matrix A_{t+1} derived from matrix A_t by adding a column. If new measurements (lines) are added, the same method can be applied to the transposed-correction equations matrix.

В практических задачах часто бывает нужно найти решение, удовлетворяющее большому числу возможно противоречивых требований. Если такая задача сводится к системе линейных уравнений, то система оказывается, вообще говоря, несовместной. В таких условиях для системы уравнений

$$Ax = b, \quad (1)$$

существует единственное оптимальное решение

$$x = A^+b. \quad (2)$$

Решение (2) называют псевдонормальным решением, а матрицу A^+ псевдообратной матрицей, удовлетворяющей свойствам:

$$AA^+A = A;$$

$$(A^T)^+ = (A^+)^T;$$

$$(A^+)^+ = A;$$

$$(AA^+)^T = AA^+;$$

$$(AA^+)^2 = AA^+;$$

$$(A^+A)^T = A^+A;$$

$$(A^+ A)^2 = A^+ A.$$

В теории линейной алгебры доказывается следующее предложение, позволяющее найти псевдообратную матрицу в двух важных частных случаях.

Предложение 1. Если столбцы матрицы A линейно независимы, то

$$A^+ = (A^T A)^{-1} A^T. \quad (3)$$

Если строки матрицы A линейно независимы, то

$$A^+ = A^T (A A^T)^{-1}. \quad (4)$$

Выражение (3) справедливо для параметрического способа уравнения, когда матрица $A^T A$ является не вырожденной, а выражение (4) соответствует коррелятному способу уравнивания при $A A^T$ – не вырожденной.

Рассмотрим метод Гревилля последовательного нахождения псевдообратной матрицы для параметрического метода уравнивания.

Пусть A_1 получается из матрицы A дописыванием справа столбца α :

$$A_1 = (A \alpha) = \begin{pmatrix} a_{11} a_{12} \dots a_{1m} \alpha_1 \\ a_{21} a_{22} \dots a_{2m} \alpha_2 \\ \dots \dots \dots \\ a_{n1} a_{n2} \dots a_{nm} \alpha_n \end{pmatrix}.$$

Допустим сначала, что $A A^+ \alpha \neq \alpha$, и рассмотрим столбец

$$\beta = \frac{(E - A A^+) \alpha}{(\alpha - A A^+ \alpha)^T (\alpha - A A^+ \alpha)}, \quad (5)$$

где E – единичная матрица.

Предложение 2. Если $A A^+ \alpha \neq \alpha$, то матрица A_1^+ получается из матрицы $(A^+ - A^+ \alpha \beta^T)$ дописыванием снизу строки β^T , т. е. имеет вид:

$$A_1^+ = \begin{pmatrix} A^+ - A^+ \alpha \beta^T \\ \beta^T \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Рассмотрим теперь случай, когда $A A^+ \alpha = \alpha$. Положим, что:

$$\gamma = \frac{A^{+T} A^+ \alpha}{1 + \alpha^T A^{+T} A^+ \alpha}, \quad (7)$$

тогда справедливо предложение.

Предложение 3. Если $A A^+ \alpha = \alpha$, то матрица A_1^+ получается из матрицы $(A^+ - A^+ \alpha \gamma^T)$ дописыванием снизу строки γ^T , т. е. равна:

$$A_1^+ = \begin{pmatrix} A^+ - A^+ \alpha \gamma^T \\ \gamma^T \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Таким образом предложения 2 и 3 можно использовать для построения псевдообратной для данной матрицы A . Для этого рассматривают m матриц

$A_1, \dots, A_m$, где матрица A_t ($t=1, 2, \dots, m$) состоит из t первых столбцов матрицы A . Так как A_1 состоит из одного столбца, A_1^+ находится по формуле:

$$A_1^+ = a_1^+ = \frac{A_1^+}{A_1^+ A_1} = \frac{a_1^+}{a_1^+ a_1}. \quad (9)$$

Затем по формуле (6) или (8) последовательно вычисляются A_2^+ , A_3^+ , пока не будет получена $A_m^+ = A^+$.

Особенно этот способ удобен, если с течением времени данные пополняются, и расчеты, ранее проведенные с матрицей A_t , нужно повторить с матрицей A_{t+1} , полученной из A_t добавлением столбца. Если добавляются строки, то тот же метод применяется к транспонированной матрице.

Следует отметить, что здесь имеются затруднения, связанные с необходимостью одновременно с псевдообращением определять ранг матрицы. Они появляются в тот момент, когда мы должны выяснить, выполнено ли равенство $AA^+ \alpha = \alpha$, и в зависимости этого выбрать нужную формулу. Однако при уравнивании геодезических сетей ранг матрицы известен и равен m , поэтому алгоритм получения псевдообратной матрицы упрощается. В этом случае применяются формулы (5) и (6).

В заключении рассмотрим оценку точности результатов уравнивания, с этой целью вычисляют для параметров средней ошибки по формуле:

$$S_{xi} = \mu \sqrt{\|A_i^+\|^2}, \quad (10)$$

где $\|A_i^+\|^2$ – евклидова норма i -ой строки псевдообратной матрицы A^+ ; μ – средняя ошибка единицы веса:

$$\mu = \sqrt{\frac{V^T V}{n-m}}. \quad (11)$$

Если уравниваются неравноточные измерения с весовой диагональной матрицей P , то от матрицы A переходят к матрице:

$$B = P^{\frac{1}{2}} A. \quad (12)$$

Используя формулы (5) и (6) получают псевдообратную матрицу B^+ .

При этом вектор неизвестных параметров будет вычисляться по формуле:

$$x = B^+ P b. \quad (13)$$

Для оценки точности будет использоваться формула:

$$S_{xi} = \sqrt{\|B_i^+\|^2}. \quad (14)$$

Таким образом, задача решена.

УДК 528.084

Н.К. Шендрик

СГГА, Новосибирск

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И АДАПТАЦИЯ GPS-СИСТЕМЫ TRIMBLE R3 К РАБОТЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

N.K. Shendrik

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

GPS-SYSTEM TRIMBLE R3 OPERATIONAL EXPERIENCE AND ITS ADAPTATION FOR FIELD WORKS

Improvements have been made for a number of GPS-system Trimble R3 outer construction elements, which make it possible to use more efficiently technical and technological capabilities of the device and insure its operation and safety as well as high capacity under the real conditions of all-weather field works.

В 2005 году фирма “TNL”, выпустила на рынок новую модель одночастотного GPS-приемника Trimble R3 геодезического класса точности с внешней антенной. Одной из основных особенностей R3 является сопряжение GPS-блока с известным контроллером Trimble Recon под управлением операционной системы Microsoft Windows Mobile для Pocket PC. Для обработки спутниковых измерений применена технология Maxvell, аналогичная используемой в современных двухчастотных GPS-приемниках Trimble. Малые габариты и вес прибора, надежный корпус дают возможность Trimble R3 быть среди первых в своем классе одночастотных GPS-систем.

Однако практический опыт использования приемника R3 в полевых условиях выявил и ряд конструкторских недоработок, которые в определенной мере снижают заявленные характеристики и вынужденно ограничивают его применение в полевых условиях. Рассмотрим их подробнее.

1. Емкость внутренней аккумуляторной батареи является недостаточной для уверенной работы в течение рабочего дня и, особенно, при отрицательных температурах. Отсутствует внешний переносимый источник питания как в стандартной, так и в опциональной спецификации поставляемого оборудования. Возможность использования запасного сменного блока питания, к сожалению, является заведомо более слабым решением, так как будет приводить к нежелательным прерываниям процесса измерений.

2. Антенный разъем у GPS-блока имеет неоправданно «нежную» конструкцию. Для обеспечения его сохранности приходится в процессе измерений многократно присоединять и отсоединять антенный кабель. Это не только снижает производительность труда, но и неблагоприятно сказывается на

состоянии контактных поверхностей разъема, ведет к их преждевременному износу, а также может явиться причиной поломки из-за попадания загрязнений или оледенения влаги и снега в холодный период.

3. Малая длина облегченного антенного кабеля ограничивает применение R3 на вехе высотой 2-2.3 метра, что часто бывает недостаточным для выполнения GPS-измерений вблизи транспортных потоков, других препятствий не только в режиме кинематики, но и в статическом режиме.

4. Переход к концепции Windows Mobile для КПК, «управляемой» путем легких нажатий стилусом по поверхности экрана, наряду с положительными моментами (снижение размеров и веса контроллера), имеет и обратную сторону при работе на открытом воздухе – существенное неудобство при воздействии атмосферных осадков, а также в случае непреднамеренных механических нажатий на экран контроллера.

5. «Фирменная» сумка скорее является упаковкой при продаже изделия и не практична для полевых работ.

Все перечисленные недостатки заметно снижают не только профессиональную, но и коммерческую ценность, на наш взгляд, потенциально хорошего в своем классе GPS-приемника. Возможно, именно поэтому, при практической работе с Trimble R3 возникло желание устранить выявленные недоработки изготовителя.

В результате удалось реализовать следующие изменения, не нарушая, при этом, целостности заводской конструкции:

- Антенный кабель заменен на более качественный – большего сечения, повышенной прочности и термостойкости. Длина такого кабеля легко может быть доведена до необходимого размера (потенциально до 10 метров). Это стало возможным благодаря сочленению кабеля с пластиковой насадкой на корпус GPS-блока R3, которая обеспечивает надежную фиксацию антенного разъема постоянно в рабочем положении и его сохранность (рис. 1);

- Добавлена защитная крышка на экран контроллера из прозрачного оргстекла (пластика) с гибким креплением в верхней части контроллера Recon, которая предохраняет его от прямого попадания атмосферных осадков и механических воздействий. Крышка может находиться в двух фиксированных положениях – закрытого и открытого экрана, а также в любом промежуточном положении с



Рис. 1



Рис. 2

помощью руки для возможности доступа к управлению съемкой с помощью стилуса в случае атмосферных осадков (рис. 2);

– Добавлен внешний аккумулятор UC-5 фирмы ACME POWER энергоемкостью 50 ватт/час, который может использоваться как для периодической подзарядки внутренней батареи блока питания Trimble R3, так и в качестве дополнительного внешнего источника питания. Так как линейные размеры аккумулятора близки к размерам контроллера Recon, то их можно легко объединить со стороны нижней части контроллера, например, с помощью изолянты по линии торцевых резиновых накладок (рис. 3), либо его можно

использовать в качестве отдельного блока и подсоединять к Trimble R3 по мере необходимости. Экспериментальная проверка в летнее время показала, что в режиме базовой станции данный аккумулятор обеспечивает более 20 часов непрерывной работы приемника;

– Вместо опционального кронштейна изготовлена легкая рамка из проволоки для быстрой установки Trimble R3 на веху (рис. 4);

– Для транспортировки прибора, как во время измерений, так и при более длительных переездах использована наплечная сумка практичной конфигурации и размеров (рис. 4). Система Trimble R3 в такой сумке всегда готова к работе, так как нет необходимости отсоединять антенну от GPS-блока, а также излишне беспокоиться за сохранность экрана контроллера.



Рис. 3



Рис. 4

Благодаря защите экрана твердой крышкой, основной блок Trimble R3, антенна с кабелем и рамка крепления на веху могут быстро извлекаться и укладываться в один отсек сумки. В результате минимизируется время подготовки приемника в режим активных измерений и, наоборот, переход в состояние движения или переезда независимо от режима работы – в статике или кинематике.

В заключение отметим, что усовершенствованный вариант приемника позволяет в более полном объеме реализовать заложенные в Trimble R3 технические и технологические возможности, надежно обеспечивает его эксплуатацию и сохранность в реальных полевых условиях, а значит и более высокую производительность GPS-измерений.

© Н.К. Шендрик, 2008

УДК 528.48:629.783

В.В. Щербаков, М.Н. Барсук, В.Н. Васеха
СГУПС, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

V.V. Shcherbakov, M.N. Barsuk, V.N. Vasekha
Siberian State University of Railways
191 D.Kovalchuk Ul, Novosibirsk, 630049, Russian Federation

UTILIZATION OF GLOBAL SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS FOR COORDINATE METROLOGY OF HIGH SPEED MAIN LINES

The utilization necessity of global satellite navigation system (GSNS) for track alignment has been validated. The hardware and software package “Profile” allowing determination of space and geometrics of gauge have been submitted. The track unevenness at measurement lines of various lengths has been observed.

Применение координатного метода для выправки пути еще несколько (5-7) лет назад являлось не эффективным. Это связано с высокой стоимостью работ, так как геодезические методы в несколько раз дороже относительных измерений, применяемых на железных дорогах, например метод хорд. Поэтому тенденция выправки пути заключалась в использовании относительных методов и сглаживания неровностей пути в плане и профиле. Недостатком данного метода являются ограниченные возможности при обеспечении прямолинейности на участках, превышающих длину хорды, которая ограничена, соответственно, длиной вагона или путевой машины. При увеличении скорости движения поездов относительные методы не обеспечивают требования определения состояния рельсовой колеи по геометрическим параметрам. Одним из вариантов, позволяющих исключить существующие недостатки, связанные с определением неровностей в вертикальной и горизонтальной плоскости, является создание специальной эффективной реперной сети. Опыт создания специальных реперных сетей в России показал крайне низкую эффективность ее использования, как при капитальных ремонтах, так и при эксплуатационной работе. Причин несколько, одной из главных является конструкция и устройство реперной сети, не позволяющие использовать реперные точки в автоматическом режиме, нестабильность положения точек рабочей реперной сети в плане и высоте. Путевые машины и вагоны-путеизмерители не оборудованы системами автоматической привязки к пунктам реперной сети, кроме того, мастер пути не имеет в своем арсенале эффективных измерительных средств оценки

состояния пути по геометрическим параметрам с использованием реперной сети.

Анализ результатов динамики изменения пространственного положения реперных точек показывает, что использование рабочих реперов в соответствии с требованиями, приведенными в п. 5.2 (Указания МПС С-493у от 27 апреля 1998 года) не обеспечивает приемлемой точности и надежности исходных данных. Учитывая ранее приведенные недостатки реперной сети, связанные с автоматизацией привязки данных путевыми машинами и другой измерительной техники, а также технологическими ограничениями применения рабочих реперов при текущем содержании и капитальном ремонте пути, необходимо признать нецелесообразность использования рабочих реперов СГС для выправки пути.

Наиболее перспективным направлением подготовки исходных данных и выправки пути является оперативное позиционирование с использованием специальных измерительных средств. Идеология геодезического обеспечения скоростного движения заключается в использовании высокоточных мобильных средств, позволяющих в автоматизированном режиме определять пространственное положение и геометрические параметры рельсовой колеи и формировать исходные данные для выправки пути при текущем содержании и при проведении капитального ремонта пути. С использованием специальных высокоточных автоматизированных измерительных средств создаются локальные временные реперные сети, например, на период проведения капитального ремонта пути, проектно-изыскательские работы, контроль качества капитального ремонта по геометрическим параметрам и т.д. Для этих целей разработано и разрабатывается десятки измерительных средств, наиболее известные из которых:

- Tachy Rail фирмы «Geo-Metrik AG» (Германия);
- Swiss trolleys фирмы «Terra vermessungen ag» (Швейцария);
- GRP System FX фирмы «Amberg Technologies» (Швейцария).

В России разработан и запатентован аппаратно-программный комплекс АПК «Профиль» (рис. 1). Он позволяет определять пространственное положение и геометрические параметры рельсовой колеи. В 2006 г. АПК «Профиль» прошел комплексные метрологические испытания и сертифицирован. АПК «Профиль» позволяет определять прямолинейность (неровности) на длинных участках пути и выполнять измерения геометрических параметров, включая характеристики кривых.

На рис. 2 приведены неровности (дефекты пути) на хордах различной длины. Из приведенных данных видно, что определение длинных неровностей на хордах менее 100 метров не эффективно, поэтому применение координатных методов на скоростных магистралях решает проблемы обеспечения повышения скоростей движения поездов. Данное измерительное средство в полном объеме соответствует техническим требованиям к геодезическому обеспечению текущего содержания пути и капитального ремонта, включая контроль качества.

Вторым важнейшим фактором координатного (геодезического) обеспечения скоростного движения является создание единой системы координат для скоростной магистрали или сети железных дорог. Эта задача может быть решена за счет создания системы референц-станций и геодезической реперной сети сгущения для базовых станций ГНСС.



Рис. 1. АПК “Профиль”

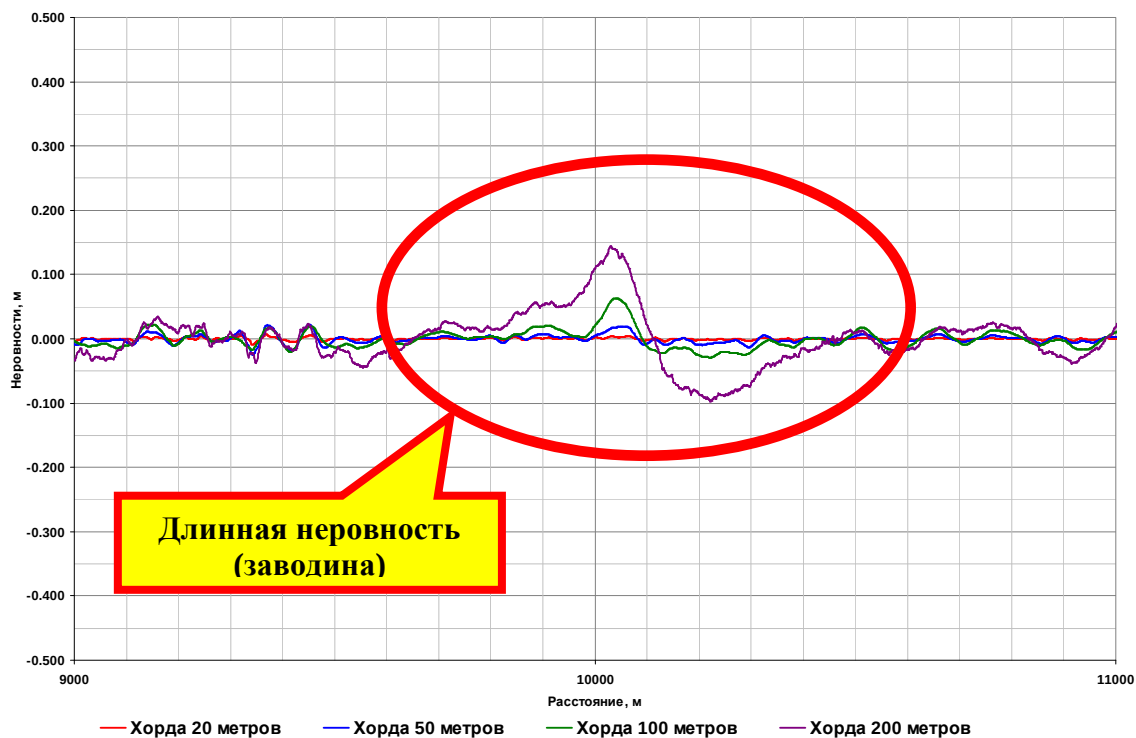


Рис. 2. Неровности на хордах различной длины

Таким образом, создание единой системы координат для скоростной магистрали и измерительных средств оперативного позиционирования, позволяет обеспечить скоростные магистрали надежными и высокоточными геодезическими данными в полном объеме.

Затраты на реализацию данной технологии и эксплуатационные расходы в 3-4 раза ниже по сравнению с использованием специальной реперной сети созданной, например, на Октябрьской железной дороге.

Кроме того, высокая динамика развития ГНСС в России позволяет сделать вывод о перспективности данного направления. Технические характеристики современных ГНСС соответствуют требованиям для решения многих трудоемких задач, при комплексировании ГНСС с инерциальными системами дополнительно обеспечивается высокая точность измерений геометрических параметров, при этом стоимость измерительных средств ежегодно уменьшается, функциональные возможности расширяются, а точность повышается.

УДК 528:629.783

А.Ю. Янкуш

ООО «ГНСС плюс», Москва

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

A.Yu. Yankush

GNSS Plus, JSC, Moscow

INTEGRATION OF GNSS AND INERTIAL TECHNOLOGIES FOR THE PURPOSES OF HIGH PRECISION POSITIONING

NovAtel's SPAN (Synchronized Position Attitude & Navigation) Technology combines GNSS and inertial functionality to provide continuous operation with accurate position and attitude measurements. The foundation of SPAN Technology is its tightly coupled design that affords exceptional GNSS performance in addition to superior bridging capability when GNSS reception is restricted. Tight integration means satellite data is utilized even when a GNSS position is unavailable.

Furthermore, SPAN Technology delivers dramatically faster GNSS signal reacquisition resulting in more GNSS measurements available to aid the inertial solution. This GNSS acquisition advantage results in enhanced RTK performance while maintaining precise inertial navigation during reduced satellite coverage.

Технология SPAN™ (Synchronized Position Attitude Navigation - Синхронизированное Позиционирование, Пространственная ориентация и Навигация) компании NovAtel объединяет спутниковую и инерциальную технологии позиционирования, что позволяет обеспечить непрерывное высокоточное определение координат и элементов пространственной ориентации объектов.

Дополняя спутниковые определения возможностями инерциальных систем, технология SPAN позволяет получать точные координаты даже в условиях неблагоприятных для ГНСС измерений. В течение коротких периодов, когда ГНСС сигналы недоступны или отслеживается меньше четырех спутников - технология SPAN продолжает обеспечивать непрерывный вывод точных данных. Это позволяет комплексу позиционирования работать более надежно, независимо от окружающих условий.

Комплексирование с инерциальной технологией также способствует быстрому восстановлению захвата спутниковых сигналов после потери и ускорению инициализации RTK/PP съемки.

УДК 528:629.783

О.В. Евстафьев

Лейка ГеосистемЗ, Москва

ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

O.V. Evstafiev

Leica Geosystems

70 Vyatskaya st., Moscow, 121127, Russian Federation

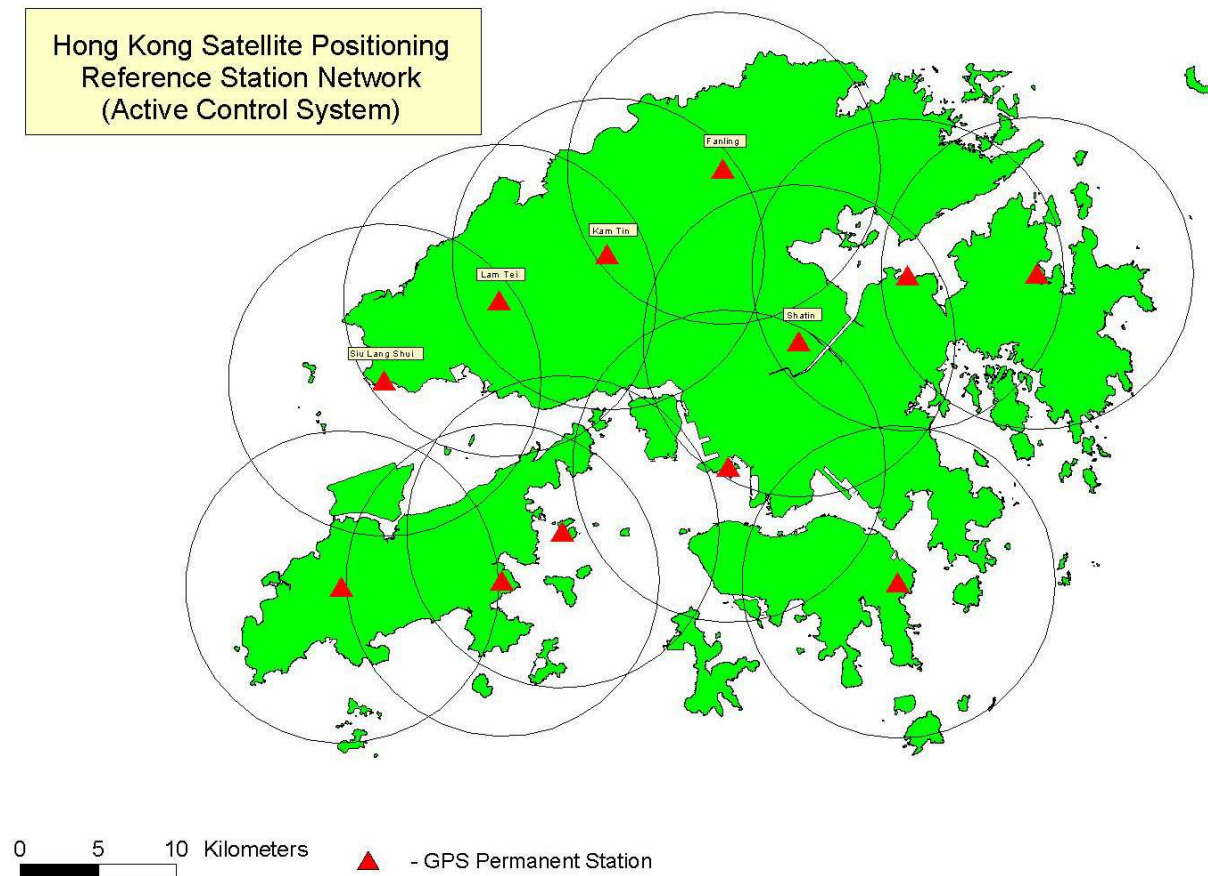
TECHNOLOGIES OF PRECISE POSITIONING WITH THE USE OF THE SATELLITE BASE STATIONS

The basis of the ground-based infrastructure of the systems of the precision determination of space coordinates with the aid of the global navigation satellite systems (GNSS) are the constantly working base stations - frequently designated by abbreviation CORS (Continuous Operation Reference Station).

The constantly working base stations GPS, GLONASS or GPS/GLONASS are established in the form single stations or in the form several continuous operation reference station which form network. The first continuous operation base stations, at the early stage of the development of global navigation satellite systems, were established along the coastline for the translation of the differential corrections (DGPS). Today base stations are established in different places throughout the world, and their quantity constantly grows. The network of base stations ensures united time-spatial geodetic basis, precise and high-precision GNSS measurements, necessary for the wide spectrum of applied problems. For example, with the observations of the deformations of the earth's crust, the creation of geodetic control nets, guarantee of topographic, cadastre and construction work, collection of information for GIS- projects, control of mechanisms, and also for the monitoring after the natural and artificial objects. The network of the permanent GNSS base stations is more effective than the traditional networks of triangulation and polygonometric points. Base stations can be established in any place, where they are necessary, since in contrast to the geodetic points between them does not be required straight visibility. One or two single base stations - this, possibly, everything which is required for operational provisions on territory of region, city, municipal formation,



of construction site, open mine workings so forth. The permanent base stations will be especially effective, when survey or monitoring of objects must be carried out constantly in one and the same territory during the long run. One base station can ideally be suitable for small territory. The network, which consists of the larger number of the permanent base stations, will accomplish works in the larger territory, for example, in the territory of entire state. Base stations and networks of base stations can very strongly differ in the area of the scope and in the complexity of the solution.



Main difference in the network of base stations from the single base station is the presence of communication channels for the transmission of data from the remote GNSS receivers of base stations on the server of united computer center. Also this presence of the infrastructure, which ensures the maintenance of operation of base stations, includes electric power supply, a constant inspection of the state of receivers safety. Both the separate stations and the networks of them, at present, are created and are attended by state, joint-stock and particular organizations. Financing works on creation and operation of the constantly working stations and networks is achieved both of the budget and due to the private capital. Since the budget in the majority of the cases is limited, and base stations themselves and networks of them can considerably be distinguished by the cost, in each specific case accent must be displaced to the side of the selection of the effective and profitable solution. The organizations, which plan the installation of the constantly working base stations or

the creation of the network of base stations must thoroughly consider, for what purposes will be used the data of base stations, and it is intended to give what services potential users. The level of the complexity of the solution and the cost of project will depend on this.

© *O.V. Evstafiev, 2008*