

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

XI Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2015

Международная научная конференция

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ**

Т. 1

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2015

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор,
директор НИИ стратегического развития СГУГиТ, Новосибирск
Д. В. Лисицкий

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

Доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии
и дистанционного зондирования СГУГиТ, Новосибирск
В. С. Хорошилов

Председатель Комиссии Международной картографической ассоциации (ICA)
«Картография для раннего предупреждения и управления кризисными ситуациями»,
вице-президент Международного общества «Цифровая Земля», вице-президент Международной
академии наук Евразии, почетный член ICA с 2013 г., доктор наук, профессор, почетный профессор
СГГА, почетный доктор Университета архитектуры, строительства и геодезии (UACEG),
Чешская Республика
Милан Конечны

Генеральный директор фирмы «Technet-rail 2010 GmbH», председатель Комиссии 6
«Инженерная геодезия» Международной федерации геодезистов (FIG), Берлинский университет
прикладных наук им. Бойта, доктор наук, почетный профессор СГГА, Германия
Иво Милев

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии
Карагандинского государственного технического университета им. академика Е. А. Букетова,
Караганда
Ф. К. Низаметдинов

Кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ, Новосибирск
Е. В. Комиссарова

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля
2015 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск :
СГУГиТ, 2015. – 237 с.

ISBN 978-5-87693-806-0 (т. 1)

ISBN 978-5-87693-805-3

ISBN 978-5-87693-795-7

В сборнике опубликованы материалы XI Международного научного конгресса «Ин-
терэкспо ГЕО-Сибирь-2015», представленные на Международной научной конференции
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622

ISBN 978-5-87693-806-0 (т. 1)

ISBN 978-5-87693-805-3

ISBN 978-5-87693-795-7

© СГУГиТ, 2015

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА ФИЗИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЗАДАЧАХ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОИНФОМАТИКИ

Игорь Георгиевич Вовк

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, (383)351-61-19

В статье обсуждается решение задачи вычисления площади участка физической поверхности Земли методом последовательных приближений. Приведены результаты вычислительного эксперимента, которые показали, что относительная погрешность вычисления площади по предлагаемой методике не превышает 0.001.

Ключевые слова: площадь участка физической поверхности Земли, вычислительный эксперимент, относительная погрешность.

CALCULATING THE AREA OF SOME EARTH'S PHYSICAL SURFACE PART IN APPLIED GEOINFORMATICS TASKS

Igor G. Vovk

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Doctor of Sciences, Prof., Chair of Applied Information Science and Information Systems, tel. (383)343-18-53, (383)351-61-19

This article offers a detailed study of the way to solve the tasks of calculating the area of some part of the Earth's physical surface using the progressive approximations method. Here are given the results of our calculation experiment which have demonstrated that relative area calculation deviation cannot exceed 0.001 in the case when the offered calculation method is followed.

Key words: the area of some part of the Earth's physical surface, calculation experiment, relative calculation deviation.

Задача вычисления площади поверхности земельных участков возникла довольно давно. Её решение необходимо в геодезии [1, 2], геодинاميке [3, 4], геоинформатике [5, 6, 7], экономике [8, 9], геологии и геофизике [10, 11], и других областях человеческой деятельности.

Площадь – это одна из численных характеристик поверхностей [12, 13], ограничивающих системы естественного и искусственного происхождения. Интуитивно, для определения площади «кривую» поверхность моделируют поверхностью вписанного многогранника, и площадь исходной поверхности определяют, как предел площади этой многогранной поверхности при условии, что размеры всех граней многогранника стремятся к нулю. Однако в конце 19 столетия Шварц показал, что такой предел не существует даже для поверхности прямого кругового цилиндра [14].

Для вычисления площади измеряемая поверхность должна быть правильно параметризованной [15]. Поверхность называется параметризованной, если ра-

диус вектор $\vec{r}$ её текущей точки M определён как непрерывная функция двух параметров u, v , изменяющихся в некоторой области (σ^*)

$$\vec{r} = \vec{r}(u, v), (u, v) \in (\sigma^*) \quad (1)$$

При этом предполагается, что в каждой точке области (σ^*) частные производные $\vec{r}_u, \vec{r}_v$ непрерывны и неколлинеарные, т. е.

$$\vec{r}_u \times \vec{r}_v \neq 0 \quad (2)$$

Уравнение (1) называется векторно-параметрическим уравнением поверхности. Если такое уравнение задано, то соответствующая ему поверхность определена и может быть построена по точкам (рис. 1).

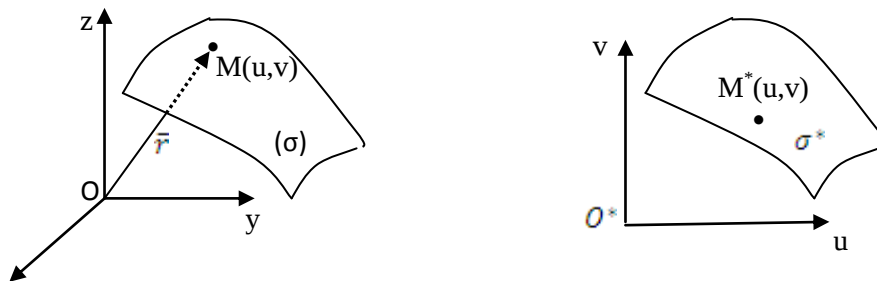


Рис. 1. Параметризованная поверхность

Каждую пару значений параметров u, v рассматривают как пару декартовых координат на вспомогательной плоскости O^*uv , которая называется плоскостью параметров или фазовой плоскостью. Если между точками поверхности (σ) и точками области (σ^*) установлено взаимно однозначное соответствие, то параметризацию называют правильной.

Площадь S участка правильно параметризованной поверхности вычисляется по формуле [15, 16]

$$S = \iint_{\sigma^*} |\vec{r}_u \times \vec{r}_v| du dv \quad (3)$$

На практике имеется необходимость вычислять площадь поверхности, аналитическое представление которой неизвестно, но заведомо известно, что в измеряемой области эта поверхность кусочно-непрерывна, имеет непрерывные производные $\vec{r}_u$ и $\vec{r}_v$ и границу, составленную из отрезков непрерывных кривых.

Вычисление площади таких поверхностей осуществляют методом последовательных приближений, следующим образом [12, 15]. Поверхность разбивают на части (порции); в каждой части выбирают точку, в которой существует касательная плоскость и ортогонально проецируют рассматриваемую порцию на касательную плоскость поверхности в выбранной точке. Площади получен-

ных плоских проекций суммируют. Полученная сумма приблизительно равна площади исследуемой поверхности. Выполняя описанную процедуру для порций поверхности, размеры которых последовательно уменьшаются, получим числовую последовательность, составленную из приближённых оценок искомой площади. Предел этой последовательности при неограниченном уменьшении размеров порций поверхности рассматриваемого класса всегда существует и равен площади поверхности [12]. Изложенная процедура описывает вычислительный алгоритм определения площади поверхности.

В прикладной геоинформатике при решении различных задач [1, 2, 5, 7]. существует практическая потребность вычисления площади поверхностей указанного класса. Применим для этого изложенный вычислительный алгоритм. Разделим измеряемую поверхность на неперекрывающиеся части (порции) заданной формы. Наиболее просто эта задача решается, когда границами порций поверхности служат параметрические линии (рис. 2).

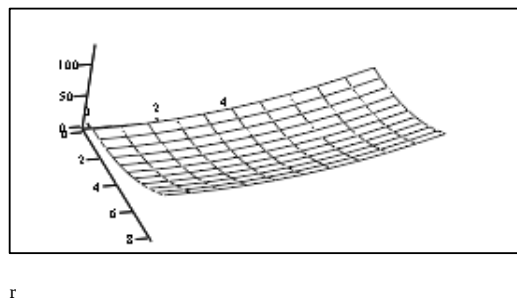


Рис. 2. Разбиение поверхности на порции системой параметрических линий

В качестве примера рассмотрим поверхность, заданную непрерывной функцией:

$$z = u^2 + v^2 . \quad (4)$$

Площадь участка этой поверхности, вычисленная по результатам аналитического интегрирования равна $S = 786.96$ условных единиц. Результаты вычислений площади этого же участка поверхности (1) по изложенному вычислительному алгоритму приведём в графическом виде на рис. 3.

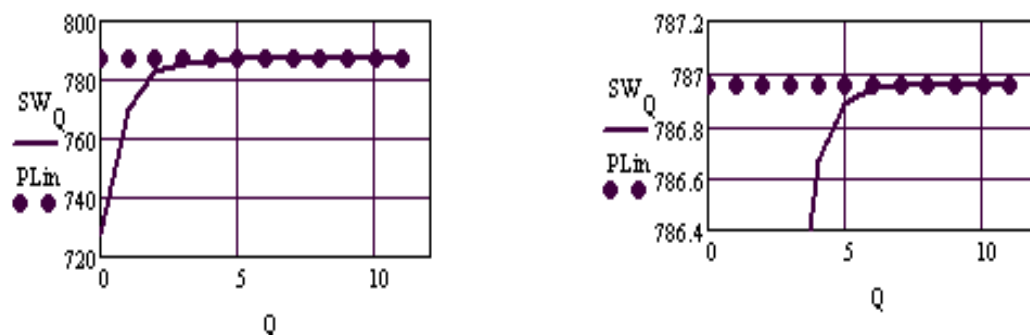


Рис. 3. Результаты вычисления площади заданного участка поверхности

На рис. 2 горизонтальная точечная линия соответствует значению площади $S=786.96$, вычисленной интегрированием, кривая линия представляет график последовательности приближённых значений измеряемой площади. Относительная погрешность оценки площади не превысила 0.001. Полученные результаты свидетельствуют о хорошем совпадении значений площади участка заданной поверхности, вычисленных аналитическим интегрированием, и по изложенной методике.

Поверхности, площади которых требуется вычислять на практике, не имеют аналитического описания и определяются либо графически линиями равных высот (топографические карты), либо множеством точек с известными координатами (результаты аэрокосмических съёмок или лазерного сканирования). Вычислить площади таких поверхностей аналитически не представляется возможным. Однако применить изложенную методику для вычисления площади таких поверхностей, возможно. В качестве примера рассмотрим поверхность, заданную графически линиями равных высот (рис. 4).

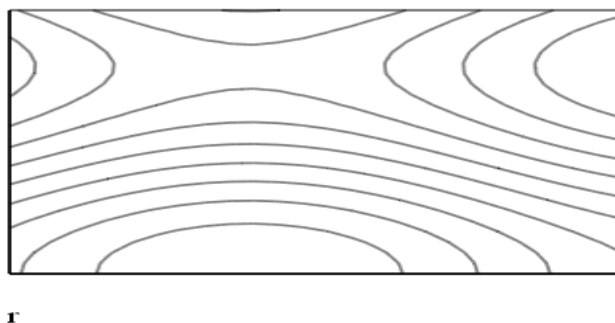


Рис. 4. Геометрическая модель поверхности, заданной линиями равных высот

Результаты вычислений площади этой поверхности по рассматриваемой методике в графическом виде приведены на рис. 5.

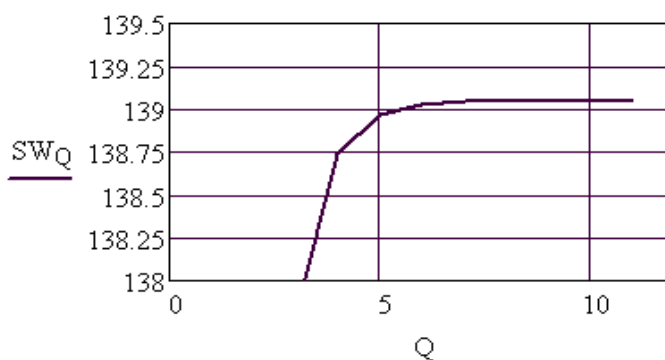


Рис. 5. Результаты вычисления площадь поверхности, изображённой на рис. 3.

Приведённые результаты свидетельствуют, что числовая последовательность, составленная из приближённых оценок искомой площади, довольно быстро сходится. Уже после 6 -7 итерации изменения её значений достаточно малы. Это позволяет с достаточной для практики уверенностью оценить значение искомой площади.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обиденко В. И. Разработка и исследование специализированной программы для определения метрических параметров территории Российской Федерации // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 18–29.
2. Обиденко В. И. Технология определения метрических параметров территории Российской Федерации по геопространственным данным // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 3–13.
3. Акимов В. А., Воробьёв Ю. Л., Фалеев М. И. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. – М.: Высшая школа, 2006. – 592 с.
4. Ярославцева Т. В., Рапуга В. Ф. Моделирование продуктов вулканического извержения // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 89–95.
5. Вовк И. Г. Определение геометрических инвариантов поверхности в прикладной геоинформатике // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 59–69.
6. Вовк И. Г. Моделирование формы и оценка размеров систем в прикладной геоинформатике // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2(22). – С. 115–124.
7. Вовк И. Г. Математическое моделирование в прикладной геоинформатике // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 94–103.
8. Голиков Ю. А. Теория притяжения супермаркета // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 114–125.
9. Сульгина Л. Ю. О возможности построения геоинформационной системы торговой сети поселения // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 94–106.
10. Бровар В. В., Магницкий В. А., Шимбирёв Б. П. Теория фигуры Земли. – М.: Геодезиздат, 1961. – 256 с.
11. Гравиразведка. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1981. – 397 с.
12. Виноградов И. Н. Математическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1977. Т. 4. – 1532 с.
13. Прохоров М. Ф. Советский энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. Т. 1. – 1632 с.
14. Фихтенгольц Г. Основы математического анализа. 3. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. Т. 2. – 465 с.
15. Лаптев Г. Ф. Элементы векторного исчисления. М.: Наука, 1975. – 336 с.
16. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. М.: «Мир», 1982. – 304 с.

© И. Г. Вовк, 2015

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УКРУПНЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАДИРНИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-09-48

Валерий Геннадьевич Сальников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-09-48

Надежда Михайловна Рябова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-09-48, e-mail: ryabovanadezhda@mail.ru

Для обеспечения входного контроля геометрических параметров укрупненных секций, предназначенных для возведения градирни на Няганской ГРЭС, была разработана методика, основанная на использовании высокоточного тахеометра, которая применяется непосредственно на монтажной площадке.

Ключевые слова: геодезический контроль, градирни, электронный тахеометр.

GEODETIC CONTROL OF GEOMETRIC PARAMETERS OF COOLING STACK PREASSEMBLED MEMBERS WITH METAL FRAME

Georgy A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)361-09-48

Valery G. Salnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Post-graduate student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)361-09-48

Nadezhda M. Ryabova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)361-09-48, e-mail: ryabovanadezhda@mail.ru

Special technique was developed to provide incoming inspection of geometric parameters of preassembled members used for cooling stack construction at Nyaganskaya hydroelectric power plant. The technique based involving high-precision total station is applied directly on the mounting area.

Key words: geodetic control, cooling stack, total station.

При возведении градирни с металлическим каркасом применяются укрупненные секции, имеющие форму трапеции (рис. 1), а форма стальной металлической градирни до отметки 33175 м имеет вид усеченной пирамиды, выше – тороид вращения. Стальной несущий каркас башни по высоте имеет семь ярусов, а в плане – 20 граней. Каркас собирается из 140 укрупненных элементов градирни – укрупненных секций. Каждый такой элемент подразделяется на семь типоразмеров. Конструктивное решение каркаса градирни подчинено возможностям монтажа укрупненных монтажных секций, равным по высоте одному ярусу, а по ширине одной грани.

Пространственная жесткость каркаса обеспечивается угловыми стойками, горизонтальными кольцами и диагональными связями, располагаемыми в каждой укрупненной монтажной секции.



Рис. 1. Монтаж первого яруса башенной градирни НГРЭС

Согласно требованиям [1] расхождение проектных и фактических размеров укрупненных секций при их изготовлении и монтаже не должно превышать $\pm 5,0$ мм (рис. 2).

Для обеспечения входного контроля укрупненных секций на монтажной площадке на Няганской ГРЭС была разработана методика определения геометрических параметров, основанная на использовании высокоточного тахеометра. Исходя из величины допуска на изготовление укрупненных секций, средняя квадратическая ошибка измерений не должна превышать 1,5-2,0 мм.

Сборка укрупненных секций производится из заводских элементов непосредственно на монтажной площадке, располагаемой возле градирни. Для реализации предлагаемой методики применяется стенд, который в простейшем случае представляет собой бетонную площадку, на которую укладываются все сборные элементы укрупненной секции. Укладка укрупненной секции может производиться вертикально (стоя или боком) или горизонтально.

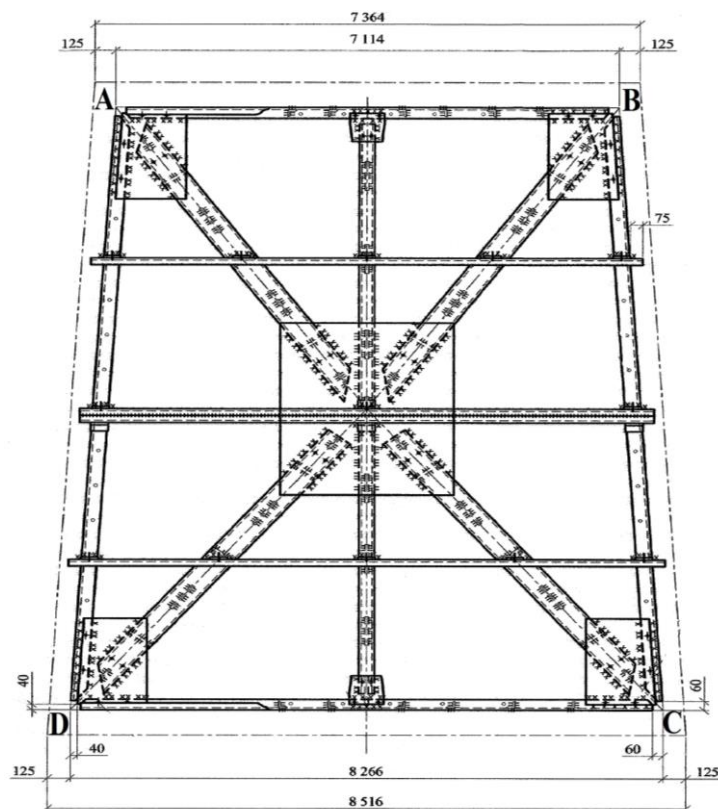


Рис. 2. Схема сборной укрупненной секции

Если укрупненная секция установлена вертикально (рис. 3, а, в), то методика проверки геометрических параметров производится в следующей последовательности. Тахеометр устанавливается рядом с конструкцией секции, после чего задаются условные координаты станции. Затем поочередно в безотражательном режиме с ошибкой 1,0-1,5 мм определяются координаты точек А, В, С, D (положение точек А, В, С, D задается одинаковым относительно вершин секции). Для повышения точности определения координат точек А, В, С, D измерения производится не менее трех раз. После этого производится вычисление расстояний АВ, ВС, CD, DA и диагоналей АС, BD с последующим сравнением полученных промеров с проектными данными. Если измеренные расстояния и диагонали находятся в допуске, то переходят к окончательной сварке и креплению основных элементов укрупненной секции. В противном случае сборные элементы укрупненной секции подвергаются рихтовке, после чего измерения повторяются вновь.

Если укрупненная секция располагается горизонтально, то методика проверки геометрических параметров следующая. Тахеометр устанавливается рядом с конструкцией таким образом, чтобы с одной станции можно было выполнить определение координат всех точек (А, В, С и D). После введения условных координат (например, $X=100,000$ мм и $Y=200,000$ мм) с помощью мини-призмы путем ее поочередного переноса выполняется определение координат указанных точек (рис. 3., б). После этого также вычисляются расстояния АВ, ВС, CD,

DA, диагонали AC, BD и производится сравнение полученных результатов с проектными данными.

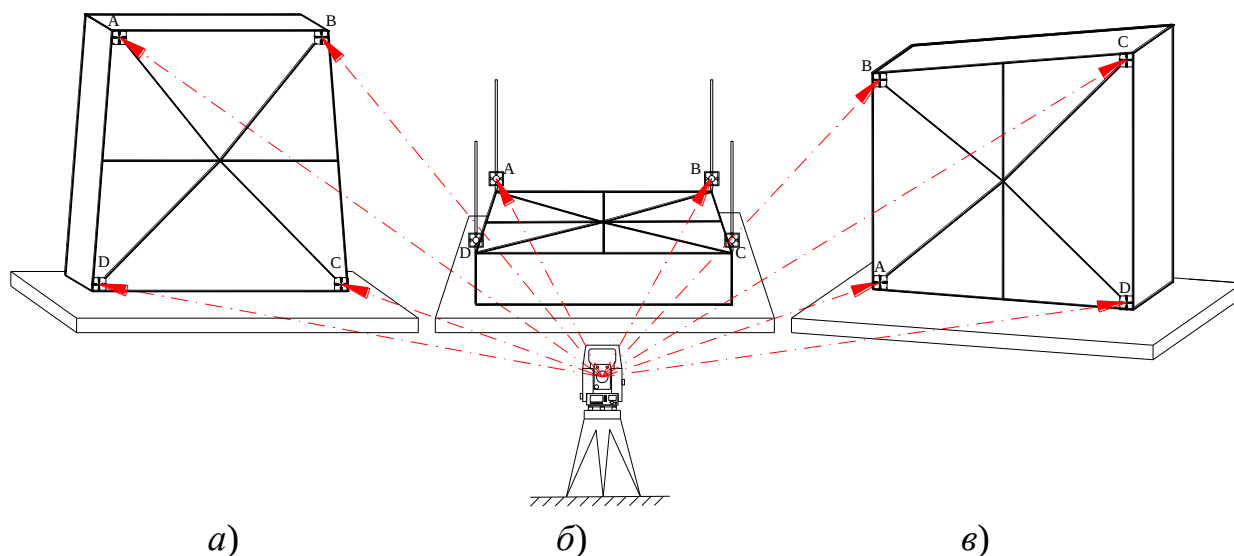


Рис. 3. Схема проверки геометрических параметров укрупненной секции при укладке:

a), в) вертикальное положение; *б)* горизонтальное положение

Для повышения точности измерений применяется стенд, который представляет собой площадку, на которой располагаются подпорные стаканы (рис. 4).

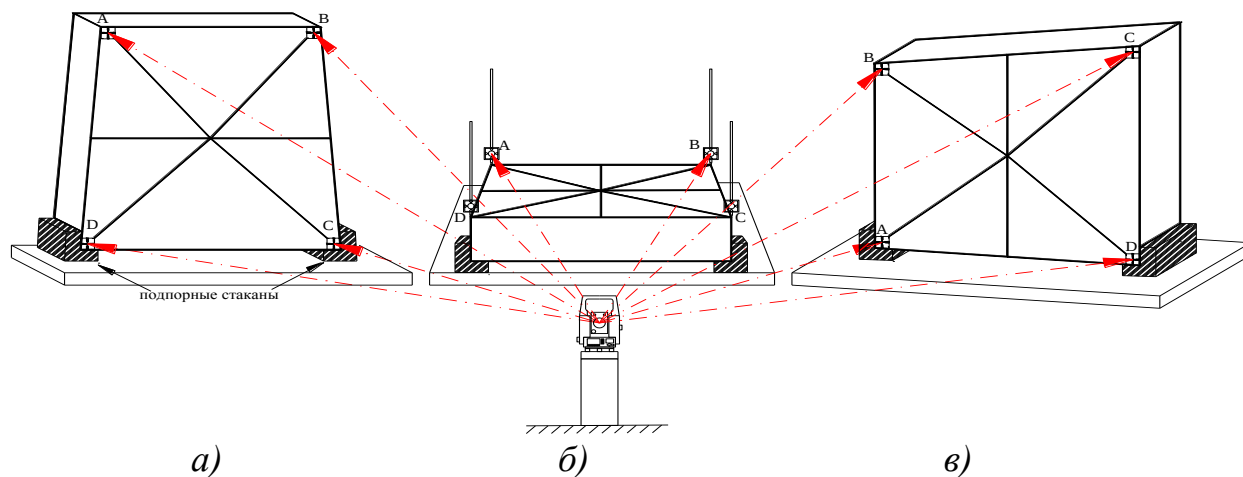


Рис. 4. Схема проверки геометрических параметров укрупненной секции с использованием подпорных стаканов, при укладке:

a), в) вертикальное положение; *б)* горизонтальное положение

Подпорные стаканы, которые исполняют роль шаблона, устанавливаются по проектным размерам определенного типа укрупненной секции. После этого

все сборные элементы укрупненной марки укладываются в подпорные стаканы, расположенные в вершинах четырех углов. Для удобства выполнения измерений и повышения скорости поверки укрупненных секций тахеометр можно устанавливать на металлическую тумбу с принудительным центрированием.

После окончательной выверки геометрических параметров секции производится их сварка на соответствующих ярусах [92]. Для этого секции соединяют друг с другом через крестовые узловы вставки, а затем с помощью крана она поднимается на положенный ярус. Каждый ярус вытяжной башни градирни имеет свой проектный радиус нижнее и верхнее сечения (рис. 5).

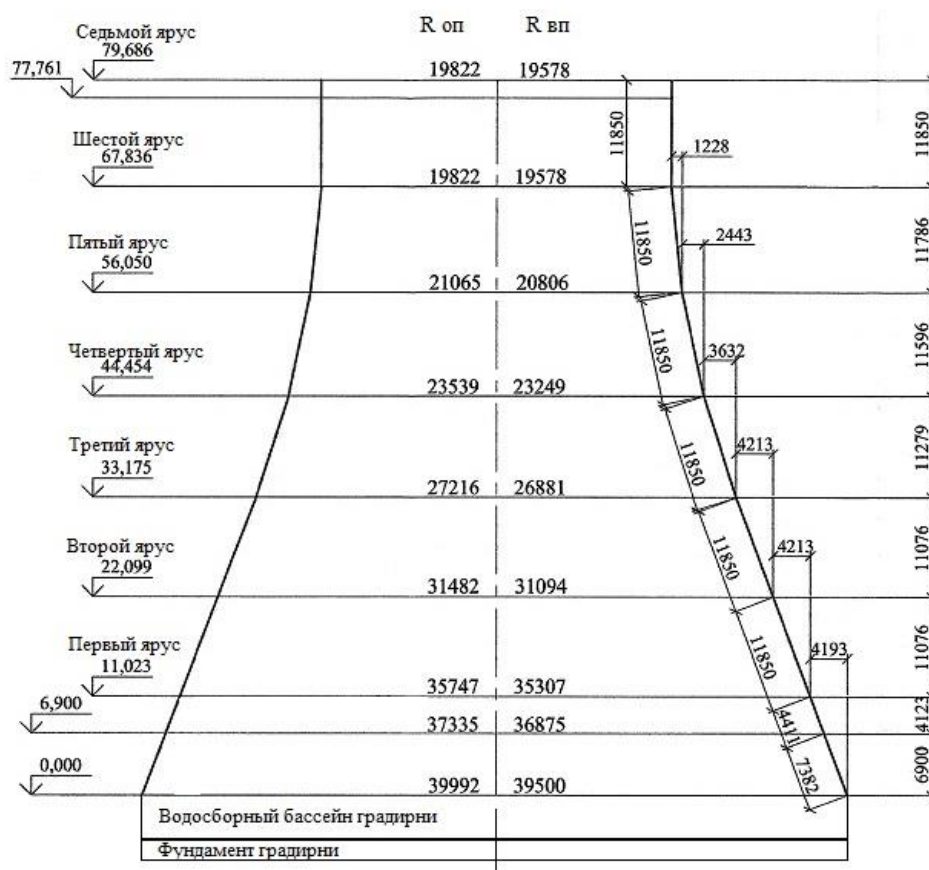


Рис. 5. Геометрическая схема каркаса вытяжной башни градирни:

$R_{оп}$ – проектный радиус описанной окружности градирни;

$R_{вп}$ – проектный радиус вписанной окружности градирни

Высота каждой укрупненной секции не должна превышать $\pm 5,0$ мм относительно проектной высоты и в сечении яруса [11–14]. Из рисунка 5 видно, что расстояния от центра градирни до характерных точек укрупненной марки, измеряются по вписанному и описанному радиусам градирни. Например, первый радиус имеет высоту, равную 11023 м, в верхнем сечении расстояние по $R_{оп}$ равно 35747 м, а по $R_{вп}$ равно 35307 м (рис. 6).

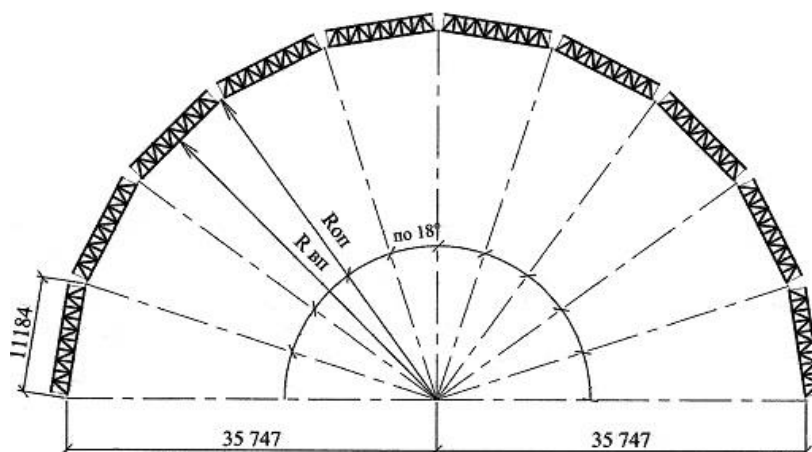


Рис. 6. Верхнее сечение первого яруса градирни

Монтаж укрупненных секций последующего яруса можно производить только после выверки и сварки всех монтажных соединений предыдущего яруса, включая соединительную решетку и планки. Контроль установки секции в проектное положение на каждом ярусе производится тахеометром с пунктов рабочего обоснования [15].

Таким образом, данная методика позволяет производить контроль основных размеров и диагоналей сборных элементов укрупненных секций градирни непосредственно на монтажной площадке и со средней квадратической ошибкой измерения порядка 1,5-2,0 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции – М.: Госстрой СССР, 1987. – 90 с.
2. Рябова Н. М., Сальников В. Г. Методика исследования влияния рефракции на цифровые нивелиры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–18.
3. Сальников В. Г. Технология геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата мощностью 420 МВт // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 18–24.
4. Рябова Н. М. Исследование влияния различной освещенности на отчеты по рейке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 42–46.
5. Никонов А. В., Бабасов С. А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 71–78.

6. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдения за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–87.

7. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е. Разработка программ наблюдений тахеометром на нивелирной станции способом из середины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 163–169.

8. Никонов А. В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 93–101.

9. Сальников В. Г. Геодезические работы при возведении градирен большой высоты // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 72–77.

10. Олейник А. М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 37–40.

11. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 16–26.

12. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.

13. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.

14. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.

15. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.

© Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, 2015

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ MICROMINE

Андрей Александрович Басаргин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-35, e-mail: abaspirant@mail.ru

Рассмотрены вопросы использования информационных технологий при создании и эксплуатации автоматизированных систем управления горными работами для предприятий горного профиля на примере геоинформационной системы K-MINE.

Ключевые слова: банк геопространственных данных, унифицированное хранение, цифровые модели, структура базы данных.

GEOLOGICAL 3D MODEL-BUILDING BY MICROMINE GIS TECHNIQUES

Andrey A. Basargin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior lecturer, Department of Applied Informatics and Information Systems, tel. (383)343-18-35, e-mail: abaspirant@mail.ru

GIS application for creation and operation of mining enterprises automated control systems is considered by the example of K-MINE GIS.

Key words: geospatial data, uniform storage, digital models, database structure.

Процесс создания геологических моделей состоит из нескольких этапов и в зависимости от объекта моделирования (вид полезного ископаемого, структура, топология, густота разведочной сети) может несколько изменяться.

Общая структура процесса создания трехмерных геологических моделей приведена на рис. 1. Он состоит из следующих этапов [1-4]:

- разработка структуры базы данных для хранения первичной информации по данным геологической разведки;
- наполнение базы информацией геологического и геофизического опробования;
- статистический анализ первичных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы, выявление закономерностей;
- построение скважин в пространстве модели, группировка по профилям;
- выделение и оконтуривание рудных и нерудных интервалов по стратиграфическому принципу, уточнение интервалов по значениям бортового содержания (интерпретация геологических данных);
- уточнение границ пространственного размещения пород, с учетом тектонических нарушений, а также за данными геофизических исследований (сейсмика, гравиметрия, электроразведка);

- каркасное моделирование месторождения (выделение рудных тел и пород сопутствующей вскрыши, моделирование пластов, аномалий, ловушек и пр.);
- создание пустых блочных моделей;
- геостатистический анализ данных разведки, вариография, определение законов пространственной изменчивости геологических характеристик компонентов;
- моделирование содержания компонентов математическими методами: ближайшего соседа (полигональный метод), обратных расстояний в степени (IDW), крайгинга (в модификациях) и др.;
- моделирование гидродинамических систем, расчет массопереноса, загрязненности, химического состава и пр.;
- уточнение контуров распространения пород в месторождении по заданным кондициям.



Рис. 1. Схема формирования цифровых моделей месторождений с использованием ГИС Micromine

Последовательность формирования моделей месторождений различных видов полезных ископаемых имеет существенные отличия на этапе интерпретации данных разведки. Во всех остальных аспектах методика моделирования практически идентична и может лишь незначительно меняться.

Аналогично, для месторождений, которые уже находятся в эксплуатации, моделирование может несколько отличаться от представленного выше. Для них, как правило, уже создан и ведется набор горно-графической документации

(планы, разрезы, карты) касательно контуров распространения пород в месторождении, уточненных по результатам эксплуатационной разведки, опробований и фактической отработки. Поэтому для моделирования контуров таких рудных тел и пород вскрыши используются уточненные графические данные. На этапе подготовки первичных данных учитывается изменение контуров распространения разновидностей на границе между текущим положением горных работ и конфигурацией месторождения в разведочных контурах [2-8].

Для работы с данными геологического опробования предусмотрен комплекс процедур. Для накопления геологических данных используется центральная база данных рис. 2. Доступ к данным осуществляется по технологии клиент-сервер, что позволяет распределить работу по созданию, наполнению и анализу данных между несколькими операторами.

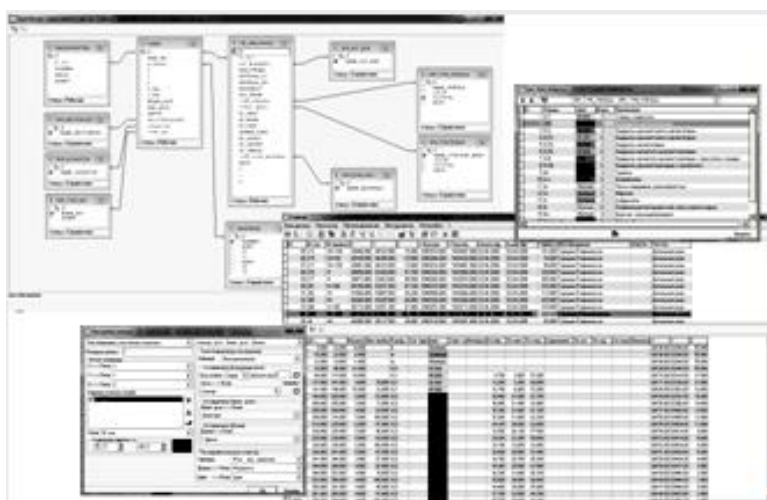


Рис. 2. Центральная база данных геологического опробования скважин

Система содержит процедуры для разработки структуры базы данных, настройки связей таблиц, реализации реляционных отношений. Это позволяет выполнить настройку базы для месторождений любых видов полезных ископаемых и хранить в базе данных произвольные наборы семантической и фактографической информации о скважинах и данных разведки.

Завершающим этапом для создания моделей месторождений руд является блочное моделирование. Этот процесс заключается в создании пустых блочных моделей, ограниченных каркасами; интерполяция значений содержания компонентов на базе установленного закона распределения и уточнение контуров пород по заданным кондициям [3-7].

При моделировании распределения компонентов учитывается большое число факторов: характер изменчивости геологических характеристик, структура и морфология месторождения, густота и равномерность разведочной сети. В связи с этим используются различные методы пространственной интерполяции: полигональный, обратных расстояний в степени IDW, крайгинга (обычный, индикативный, полииндикативный) [6–13]. После формирования

блочной структуры выполняют корректировку каркасных моделей путем исключения областей с некондиционными породами (рис. 3) [5-9].

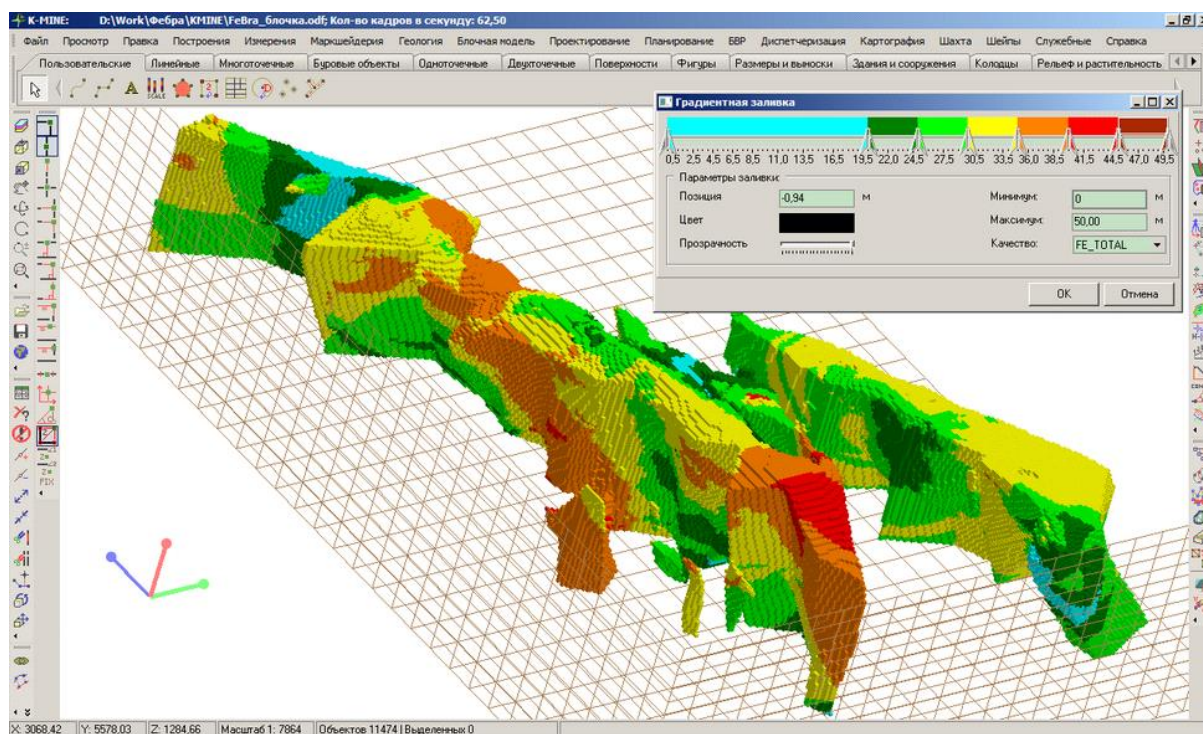


Рис. 3. Блочная модель месторождения для различных видов полезного компонента

Сформированная трехмерная модель месторождения в дальнейшем может быть использована для подсчета запасов месторождения или его участков, геолого-экономической оценке, задачах календарного планирования и определения экономически целесообразных контуров отработки.

С помощью ГИС Micromine в настоящее время выполнено моделирование месторождений железистых кварцитов, богатых железных руд, бурых железняков, коренных титановых руд, урановых руд, месторождений золота и марганца.

Месторождения нерудных полезных ископаемых характеризуются широким многообразием. ГИС Micromine нашла свое применение при моделировании месторождений гранитов, огнеупорных и тугоплавких глин, кварцевых песков, мела, известняков, доломитов, каолинов, сырья для кирпичной промышленности, строительных русловых песков и др.

При формировании моделей месторождений нерудных полезных ископаемых используются подходы аналогичные и для месторождений руд. Однако специфика каждого вида сырья вносит свои коррективы. Так, для гранитов, очень важным является четкое определение зон выветривания и контактов пород, радиологические показатели и трещиноватость массива; для огнеупорных глин и каолинов – пространственная изменчивость мощности пласта и разделение глин на сорта по химическим показателям опробования для

дальнейшей селективной добычи; для известняков и доломитов – точное определение зон выветривания и карстообразования [5-10].

Естественно, что многообразие нерудных полезных ископаемых накладывает отпечаток на функциональность программного обеспечения. В модуле моделирования месторождений предусмотрены процедуры геометризации залежей, пластов, тел, которые имеют характерный вид залегания для различных видов полезных ископаемых.

В составе модуля геологического моделирования для нерудных полезных ископаемых интегрирован блок интерпретации данных в разведочных профилях. Блок содержит набор функций для построения геологических разрезов. Среди них функции геометрического построения с моделированием пород по чередованию сверху вниз, снизу вверх, по мощности пород, автовыбор, моноклиально с возможностью восстановления скважин по глубине по средним значениям мощности слоя и т.д. (рис. 4) [5-15].

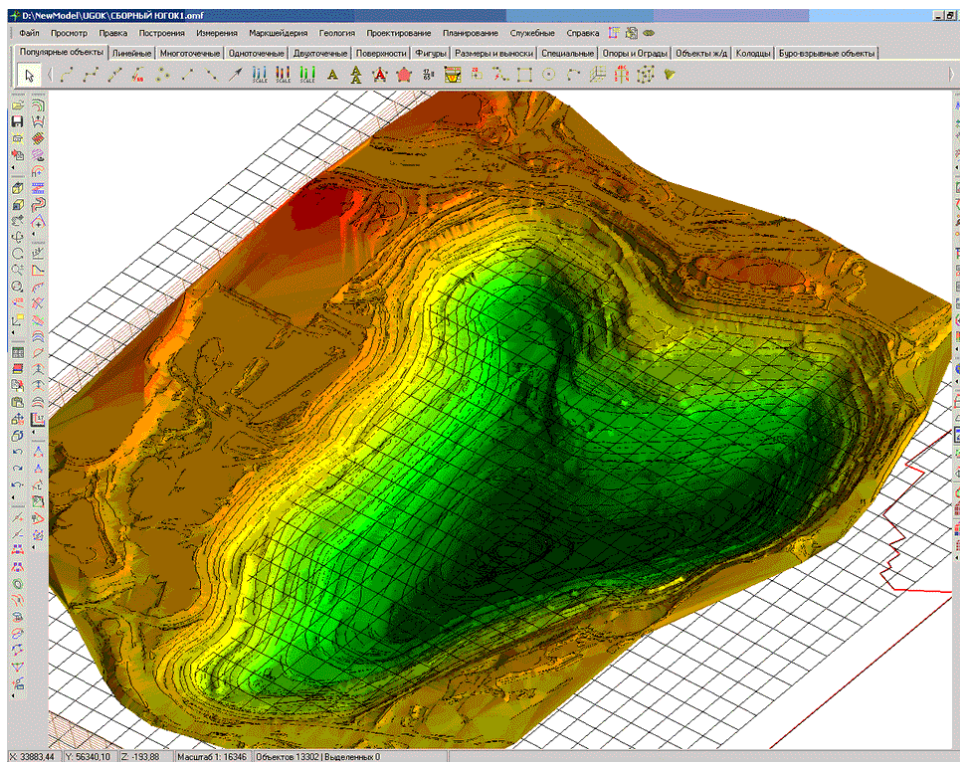


Рис. 4. Трехмерная модель угольного месторождения

ГИС Micromine является современной системой, которая может применяться для решения полного спектра задач при моделировании месторождений полезных ископаемых различного вида. Математический аппарат системы постоянно совершенствуется, пополняется новыми процедурами и функциями пространственного моделирования систем. В ближайших перспективах развития системы является возможность использования данных дистанционного зондирования при поиске и разведке полезных ископаемых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П. Структурно-функциональная модель геодезической пространственной информационной системы координат // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 6. – С. 140–148.
2. Карпик А. П. Оценка возможностей мониторинга земель территорий спутниковым методом // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 3–6.
3. Карпик А. П. Информационное обеспечение геодезической пространственной информационной системы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 70–73.
4. Карпик А. П. Основные принципы формирования геодезического информационного пространства // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 73–78.
5. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: Построение и анализ. – М.: МЦНМО. – 2012. – 560 с.
6. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд: пер. с англ. – Л.: «Недра». – 2010. – 360 с.
7. Groshong R. H., Jr. 3D structural geology: a practical guide to surface and subsurface map interpretation. – Berlin: SpringerVerlag. – 1999. – 324 p.
8. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: «Недра». – 2002. – 424 с.
9. Автоматизация горных работ с ГИС Micromine. – Режим доступа: <http://kai.com.ua>.
10. Применение наземного лазерного сканирования для съемки разрезов и подсчета запасов руды / В. А. Середович, А. В. Середович, А. В. Иванов, А. К. Карпов // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 135–140.
11. Бударова В. А. Опыт создания карт 3D сейсморазведки с использованием геоинформационных технологий // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 187–191.
12. Морозов К. В. Комплекс программ построения геолого-геометрической модели месторождения. Горная Геомеханика и Маркшейдерское дело. – СПб.: ВНИМИ, 1999. – 85 с.
13. Басаргин А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 31–35.
14. Карпик А. П. Технология изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений кузбасса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 24–28.
15. Антонович К. М. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 18 (2). – С. 15–19.

© А. А. Басаргин, 2015

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MATHCAD-15

Борис Анатольевич Харченко

Сибирская государственная университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)179-98-94, e-mail: boris.1979@mail.ru

В статье представлен программный комплекс, составленный в среде MathCad-15, позволяющий в автоматизированном режиме выполнять построение математических моделей для аппроксимации тренда, стандарта, автокорреляционной функции и осуществлять оценку нормальности распределения процесса осадки инженерных сооружений по данным, полученным в процессе геодезического контроля за эксплуатируемыми зданиями и сооружениями.

Ключевые слова: программный модуль, аппроксимация тренда, аппроксимация стандарта, автокорреляционная функция.

ANALYSIS AND PREDICTION OF THE BUILDINGS DEFORMATIONS USING THE GEODETIC DATA ARE BASED ON THE PROGRAM PRODUCT THE MATHCAD-15

Boris A. Kharchenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student, tel. (923)179-98-94, e-mail: boris.1979@mail.ru

The article discusses the program complex is based on the MathCad-15, which builds mathematical models in an automated way to approximate the trend, the standard, the autocorrelation function and evaluates normality upsetting process structures according to geodetic control.

Key words: program complex, approximation of the trend, approximation of the standard, the autocorrelation function.

Введение. В современных мегаполисах расположение высотных зданий среди уже имеющейся инфраструктуры (метрополитен, автомагистрали, производственные площадки и т.д.) несёт в себе опасность деформаций оснований этих зданий в период их эксплуатации. Поэтому актуальным является не только наблюдение за осадками оснований и деформацией эксплуатируемых зданий, но и прогноз этих деформаций в краткосрочный и долгосрочный периоды.

Контроль и прогнозирование деформаций крупных инженерных сооружений осуществляются по геодезическим данным, которые являются составной частью общего технического контроля по выявлению технического положения инженерного объекта. Структура, принципы и методы геодезического контроля подробно изложены в работах таких авторов, как Жуков Б.Н. [1, 14], Гуляев Ю.П. [2-6], Хорошилов В.С. [5, 6, 11, 12], Джоел ван Кроненброк [7, 15] и др. О методах обработки геодезических измерений и прогнозировании деформаций сооружений по геодезическим данным детально описано в работах Гуляева Ю.П. [4, 8, 9] и Гуляева Ю.П., Хорошилова В.С. [10].

В [10] подробно описывается поэтапное выполнение процедуры математического моделирования процессов деформации сооружения по результатам геодезических данных, полученных в период строительства и эксплуатации высотного здания МГУ. В работах [2,9,10] приводится обоснование выбора того или иного периода наблюдений, оценка нормальности распределения процесса осадки сооружения и алгоритм построения прогнозной кинематической модели.

Целью данной статьи является создание «... «кнопочной» методики в виде готового программного продукта» [10], а именно программного модуля оценки нормальности распределения процесса осадки, аппроксимации тренда, стандарта и автокорреляционной функции на базе программного комплекса MathCad-15.

Программный модуль для оценки нормальности распределения процесса осадки сооружения. В качестве исходных данных при создании программных модулей использовались значения осадок четырёх марок за трёхлетний период наблюдения с 3,4 по 6,5 год эксплуатации сооружения. Для сравнения полученных прогнозных значений с фактическими были выбраны значения осадок марок на 22,8 год эксплуатации здания.

Для оценки нормальности распределения процесса осадки сооружения в MathCad-15 разработана функция $\mu x(R)$, аргументом которой является матрица исходных значений осадок марок размером $M \times N$, где M – количество строк равное количеству марок, N – количество столбцов, соответствующее количеству циклов наблюдений. На «выходе» получается матрица $N1$ (рис. 1) размером $6 \times N$, каждая строка которой соответствует определённому параметру оценки нормальности распределения [13].

$$N1 = \begin{pmatrix} 53,0 & 56,5 & 59,0 & 59,5 \\ 13,33 & 17,0 & 12,67 & 17,0 \\ 3,65 & 4,12 & 3,56 & 4,12 \\ 0,0 & -0,14 & -0,19 & -0,14 \\ 1,75 & 1,49 & 1,55 & 1,49 \\ 0,07 & 0,07 & 0,06 & 0,07 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матрица значений параметров, рассчитанных и составленных функцией $\mu x(R)$

Так первая строка матрицы $N1$ соответствует статистической оценки математического ожидания осадки $\hat{m}_x(t_j)$, вторая строка представляет собой дисперсию процесса осадки $\hat{\sigma}_x^2(t_j)$, в третьей строке отображаются стандарты осадки $\hat{\sigma}_x(t_j)$, четвертая и пятая строки состоят из значений оценок асимметрии $\hat{A}_x(t_j)$ и эксцесса $\hat{E}_x(t_j)$ распределения случайной величины осадки, ше-

стая строка матрицы – это коэффициенты вариации осадки $\hat{v}_x(t_j)$. Расчет значений этих параметров выполняется функцией $\mu_x(R)$ по формулам:

$$\hat{m}_x(t_j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i(t_j) \quad (1)$$

$$\hat{\mu}_x(t_j) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i(t_j) - \hat{m}_x(t_j))^2 \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_x(t_j) = \sqrt{\hat{\mu}_x(t_j)} \quad (3)$$

$$\hat{A}_x(t_j) = \frac{\hat{\mu}_{x_3}(t_j)}{[\hat{\sigma}_x(t_j)]^3} \leq 3 \quad (4)$$

$$\hat{E}_x(t_j) = \frac{\hat{\mu}_{x_4}(t_j)}{[\hat{\sigma}_x(t_j)]^4} \leq 3 \quad (5)$$

$$\hat{v}_x(t_j) = \frac{\hat{\sigma}_x(t_j)}{\hat{m}_x(t_j)} \quad (6)$$

Полученные результаты показывают, что развитие осадки можно считать линейным, а распределение значений осадки в каждом сечении процесса – нормальным. Подробнее об интерпретации полученных результатов можно ознакомиться в работах [1 – 4].

Аппроксимация тренда. Для прогноза среднего значения процесса осадки $\hat{H}_x(t_j)$ составлены две функции $\mu_x(R)$ и $\mu_x'(R)$, в виде линейной и экспоненциальной зависимости соответственно. Аргументом этих функций является матрица размером $M \times 2$, первый столбец которой состоит из периодов наблюдений, а второй из соответствующих им средних значений осадок инженерного сооружения. Выбор той или иной функции зависит от характера изменения тренда на период основания прогноза.

Аппроксимация тренда в виде линейной зависимости выражается уравнением (7), а экспоненциальной – уравнением (8).

$$\hat{H}_x(t_j) = a + b \cdot t_j \quad (7)$$

$$\text{где, } b = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{m}_{xi} - \bar{m}_x) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}; a = \bar{m}_x - b \cdot \bar{t}.$$

$$\mathbf{H}_x(t_j) = \alpha \cdot e^{\beta \cdot t_j} \quad (8)$$

$$\text{где, } \beta = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln \hat{m}_{xi} - \ln \bar{m}_x) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}; \ln \alpha = \ln \bar{m}_x - \beta \cdot \bar{t}.$$

Результатом вычисления функций $mx(R)$ и $mx'(R)$ является матрица аналогичная исходной, к которой добавляются три столбца: аппроксимированные значения тренда соответствующего периода и коэффициенты аппроксимации, по которым выполняется прогноз осадки на выбранный период.

Теснота связи между экспериментальными данными и аппроксимирующей прямой оценивалась путем вычисления коэффициента корреляции r_{mt} по формуле

$$r_{mt} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \hat{m}_{xi} \cdot t_i - \sum_{i=1}^n \hat{m}_{xi} \cdot \sum_{i=1}^n t_i}{\sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n \hat{m}_{xi}^2 - \left(\sum_{i=1}^n \hat{m}_{xi} \right)^2} \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 \right)} \quad (9)$$

Коэффициент корреляции r_{mt} отражает только прямолинейную зависимость, которая является частным случаем нелинейной [11], поэтому было вычислено корреляционное отношение η_{mt} по формуле

$$\eta_{mt} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{m}_{xi} - \mathbf{f}_{xi})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{m}_{xi} - \bar{m})^2}} \quad (10)$$

Коэффициент корреляционного отношения для линейной зависимости составил 0,961, а для экспоненциальной – 0,956.

Аппроксимация стандарта. Исходными данными при аппроксимации стандарта $\mathbf{S}_x(t_j)$ являются обратные значения периода наблюдения t_j и соот-

ветствующие им обратные значения стандартов $\sigma_x(t_j)$. Для вычисления аппроксимированных значений коэффициентов c и d составлена функция $\sigma_x(R)$, итогом вычислений которой является матрица, содержащая аппроксимированные значения стандарта соответствующего периода и коэффициенты аппроксимации, по которым выполняется прогноз значения стандарта на выбранный период, согласно формуле

$$\frac{1}{\sigma_x(t_j)} = c \cdot \frac{1}{t_j} + d \quad (11)$$

$$\text{где, } c = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_x(t_j)} - \frac{1}{\sigma_x} \right) \cdot \left(\frac{1}{t_j} - \frac{1}{t} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{t_j} - \frac{1}{t} \right)^2}; \quad d = \frac{1}{\sigma_x} - c \cdot \frac{1}{t}.$$

Корреляционное отношение $\eta_{\sigma t}$ при аппроксимации стандарта вычислено по аналогии с формулой (10) и составило 0,368.

Вычисление и аппроксимация автокорреляционной функции. Исходными данными для вычисления автокорреляционной функции $r_x^0(t_{jk}, t_{jl})$ являются центрированные значения процесса осадки $\bar{x}_i(t_j)$, которые были вычислены на этапе оценки нормальности распределения процесса. Вычисление корреляционных моментов $\hat{K}_x(t_{jk}, t_{jl})$ выполнено по формуле

$$\hat{K}_x(t_{jk}, t_{jl}) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n [\bar{x}_i(t_k) \cdot \bar{x}_i(t_j)] \quad (12)$$

Далее были вычислены нормированные значения автокорреляционной функции, согласно выражению [10]

$$r_x^0(t_{jk}, t_{jl}) = \frac{\hat{K}_x(t_{jk}, t_{jl})}{\sigma_x(t_{jk}) \cdot \sigma_x(t_{jl})}, \quad (13)$$

и составлена нормированная автокорреляционная матрица $\mathbf{r}$, которая имеет вид, согласно полученным значениям, как показано на рис. 2.

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,974 & 0,975 & 0,974 \\ 0,974 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 0,975 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \\ 0,974 & 1,0 & 1,0 & 1,0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Нормированное выражение автокорреляционной матрицы

Исходными данными для аппроксимации нормированной автокорреляционной функции $\hat{f}_x$ являются коэффициенты корреляции на соответствующий период наблюдения. Для вычисления аппроксимированных нормированных значений автокорреляционной функции в программном комплексе MathCad-15 составлена функция $gx'(R)$, итогом вычислений которой является матрица, содержащая аппроксимированные значения нормированной автокорреляционной функции соответствующего периода и коэффициенты аппроксимации α и β , по которым выполняется прогноз значения нормированной автокорреляционной функции на выбранный период, аналогично выражению (8).

Корреляционное отношение η_{tt} при аппроксимации коэффициентов нормированной автокорреляционной функции вычислено по аналогии с формулой (10) и составило 0,976.

Заключение. В данной статье представлены разработанные программные модули оценки нормальности распределения процесса осадки, аппроксимации тренда, стандарта и автокорреляционной функции, на базе программного комплекса MathCad-15, на основе работ [2,9,10]. Все рассмотренные выше виды аппроксимации можно выполнять в автоматизированном режиме, охватывая большее количество марок и периодов наблюдений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуков Б. Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 376 с.
2. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений: монография. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
3. Гуляев Ю. П. Опыт преподавания магистрантам курса «Геодезический мониторинг деформаций оснований и сооружений» // Мониторинг геологических, литологических и эколого-геологических систем. Труды Международной научной конференции. – М.: МГУ, 2007. – С. 218.
4. Гуляев Ю. П. О прогнозировании деформации сооружений по геологическим данным // Геодезия и картография. – 1983. – № 12. – С. 17–21.
5. Гуляев Ю. П., Максименко Л. И., Хорошилов Е. В. Параметры осадок фундаментов как характеристики состояния зданий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 5. – С. 44–48.
6. Гуляев Ю. П., Хорошилов В.С., Родионова Ю. В. Методика выявления по геодезическим данным степени аварийности высотных зданий и повышение эффективности оценки их состояния // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 66–71.
7. Джоел ван Кроненброк. Современное состояние решения задач геодезического мониторинга сооружений для плотин ГЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар.

науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 33–50.

8. Рекомендации по прогнозированию деформаций сооружений гидроузлов на основе результатов геодезических наблюдений / под науч. ред. Ю. П. Гуляева. – Л.: ВНИИГ, 1991. – 60 с.

9. Гуляев Ю. П. О точности математического описания процесса деформации основания фундамента // Геодезия и картография. – 1975. – № 10. – С. 27–33.

10. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе кинематической модели: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 93 с.

11. Хорошилов В. С. Разработка информационной системы «Геодезический контроль геометрических параметров в строительстве» // Вестник СГГА. – 2005. – Вып. 10. – С. 84–88.

12. Хорошилов В. С. Оптимизация выбора методов и средств геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 117–125.

13. Павловская О. Г., Хорошилов В. С. Статистические исследования оползневых процессов по результатам геодезических наблюдений // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 16 (3). – С. 15–19.

14. Жуков Б.Н. Роль, теория и практика геодезического контроля технического состояния зданий и сооружений // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 111–116.

15. Джоел ван Кроненброк. Применение технологий ГНСС для деформационного мониторинга сооружений // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 17 (1). – С. 29–40.

© Б. А. Харченко, 2015

СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОТНОЙ СЕТИ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТЭС

Геннадий Геннадьевич Китаев

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, главный специалист цеха зданий и сооружений, e-mail: ggkit@mail.ru

Антон Викторович Никонов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

В статье рассматриваются некоторые схемы построения высотной сети на территории главного корпуса энергоблока 420 МВт Серовской и Няганской ГРЭС. Даются рекомендации по развитию высотной сети на территории энергопредприятий.

Ключевые слова: высокоточное нивелирование, тахеометр, осадка.

SCHEME OF HEIGHT NETWORK TO MONITORING BUILDINGS ON POWER PLANTS

Gennady G. Kitaev

Sibrechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnya St., Chief specialist of department buildings and structures, e-mail: ggkit@mail.ru

Anton V. Nikonov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D. student of Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

In article some schemes of creation of a high-rise network in the territory of the main case of the power unit of 420 MW of the Serov and Nyagan GRES are considered. Recommendations about development of a high-rise network in the territory of the power enterprises are made.

Key words: precise leveling, total station, vertical displacement.

Геодезические наблюдения за осадками фундаментов и деформациями строительных конструкций зданий и сооружений тепловых электростанций (ТЭС) проводятся в соответствии с положениями Методических указаний [1].

В Указаниях отмечается, что между исходными реперами создается жесткая система основных ходов, а предельное количество штативов основного хода между реперами не должно превышать 14. Данные требования не дают полного представления о порядке и схеме построения нивелирной сети на территории ТЭС. По этой причине некоторые организации, не имеющие опыта работ на энергопредприятиях, при наблюдениях за осадками прокладывают высотные ходы в виде отдельных, не связанных между собой линий, либо применяют методы измерений, не отвечающие требованиям нормативных документов [1, 2]. Например, распространенной ошибкой при наблюдениях за осадками является использование параметров ходов государственного нивелирования I класса. В

частности некоторые исполнители [4] при работе на промплощадке применяют допуск на невязку нивелирного хода $2\text{мм}\sqrt{L}$, предельную длину плеч 40 – 50 м, ссылаясь на Инструкцию [3], но при этом, почему то забывают о том, что ходы I класса должны прокладываться одновременно по двум линиям нивелирования. Такая путаница возникает из-за того, что термин «класс» используется как Инструкцией [3], так и ГОСТ [2] – при этом в документах речь идет о совершенно разных по точности и методике выполнения работ. Многими авторами для исключения таких противоречий предлагалось для работ на промплощадке использовать термин «разряд» или термин «инженерное нивелирование» [5-7]. Употребление термина «разряд» закрепилось в гидротехническом строительстве [8, 9], но при актуализации ГОСТ [2] разработчики не посчитали нужным узаконить этот термин для применения его в других областях.

В Руководстве [10] предлагается развивать сеть нивелирных ходов в три ступени: первая ступень – ходы между реперами; вторая ступень – система основных и вспомогательных ходов по осадочным маркам зданий и сооружений; третья ступень – ходы по маркам оборудования. При этом предполагается повышение точности измерений при переходе от 1 к 3 степеням. В действительности на энергопредприятиях выполняется нивелирование только I класса [1], что вполне обосновано. Во-первых, реперы не связывают проложением отдельных ходов, а включают их в сеть полигонов, которые охватывают все здания и сооружения предприятия. Во-вторых, определение осадок фундаментов оборудования выполняется с такой же точностью, что и осадок зданий и сооружений. Например, предельная стрела прогиба фундамента турбоагрегата не должна за межремонтный период превышать 4 мм для плиты длиной 40 м (0,0001) [1], для чего достаточно измерять превышение с СКО на станции $m_{\text{ст}}=0,15$ мм. Наивысшая точность геометрического нивелирования ($m_{\text{ст}}=0,04 – 0,08$ мм) достигается при соблюдении ряда условий: многократность измерений; длина плеч 3 – 6 м; визирование на один и тот же штрих рейки при взгляде «назад» и «вперед» и т.д. Столь тщательно нивелирование выполняется при проведении пуско-наладочных работ на головных образцах турбоагрегатов, например для определения центровок роторов [11], но данные измерения не связаны с измерениями осадок, и поэтому их нельзя считать третьей ступенью нивелирования. Следует отметить, что в условиях действующего предприятия (резкие перепады температуры, вибрация, сильные воздушные потоки) результат измерений при работе вблизи функционирующего оборудования может содержать не выявляемые погрешности [12]. При работе с цифровыми нивелирами в условиях плохой освещенности и вибраций превышения могут содержать непредсказуемые по величине и знаку ошибки [13, 14].

Неправильное понимание сущности разделения ходов на ступени иногда приводит к созданию в главном корпусе нескольких не связанных между собой замкнутых ходов, каждый из которых имеет отдельную связь с репером (рис. 1.) [4].

Такую схему развития сети нельзя назвать рациональной. Превышение между рядом расположенными марками, но входящими в разные ходы может содержать неоправданно большие ошибки, в том числе накопленные в ходах

связи. Висячие ходы в два штатива, хотя и допускаются Указаниями [1], все же должны прокладываться в исключительных случаях, а не использоваться повсеместно.

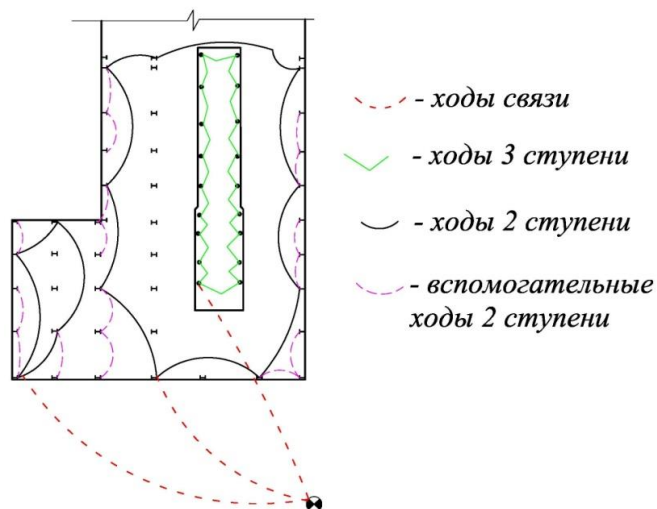


Рис. 1. Фрагмент схемы нивелирования

Применение цифровых нивелиров позволяет записывать данные в память прибора. Однако разветвленная сеть основных и вспомогательных ходов требует введения номера каждой осадочной марки в память прибора, что увеличивает время полевых работ. По этой причине, некоторые исполнители прокладывают по всем маркам сооружения один основной ход, без вспомогательных (висячих) ходов (рис. 2) [15].

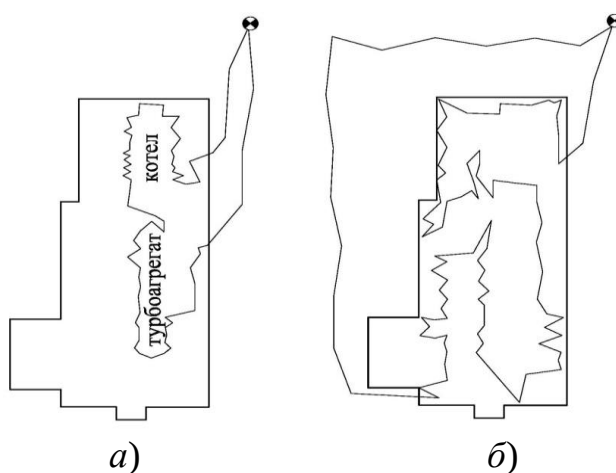


Рис. 2. Принципиальная схема нивелирных ходов на блоке ПГУ-420МВт:

- а) замкнутый ход по маркам оборудования (котел и турбина);
- б) замкнутый ход по маркам на колоннах каркаса главного корпуса

При этом ход по осадочным маркам на котле и в фундаменте турбины (рис. 2, а) прокладывается независимо от хода по маркам на колоннах каркаса

главного корпуса (рис. 2, б). Ход по маркам оборудования состоит из 44 станций, ход по маркам на колоннах из 55 [15]. Столь протяженные ходы не позволяют проводить текущий контроль измерений, т.к. оценить точность работ можно только после замыкания полигона. Если невязка хода будет заметно отличаться от нуля, то для нахождения грубой ошибки придется повторять проложение всего хода или разбивать его на полигоны. Кроме того, протяженные ходы могут содержать большие погрешности, компенсирующие друг друга и не выявляемые по величине невязки.

В конкретном случае [15] нивелирование выполнялось в двух направлениях (прямо/обратно). Отсчеты на станции по задней (З) и передней (П) рейкам брались в следующей последовательности: ЗППЗ, без изменения высоты прибора. При наведении на каждую рейку выполнялось трехкратное взятие отсчетов. Такое большое количество отсчетов (6 по каждой рейке) бессмысленно брать при одном горизонте прибора, так как это не приводит к повышению точности из-за зависимости измерений. Также лишено смысла проложение хода в обратном направлении, так как в ГОСТ [2] указано, что в этом нет необходимости, если ход замкнутый.

На рис. 3 представлена классическая для энергетической отрасли схема нивелирных ходов, показанная на примере главного корпуса энергоблока ПГУ-420 МВт, основанного на парогазовой технологии.

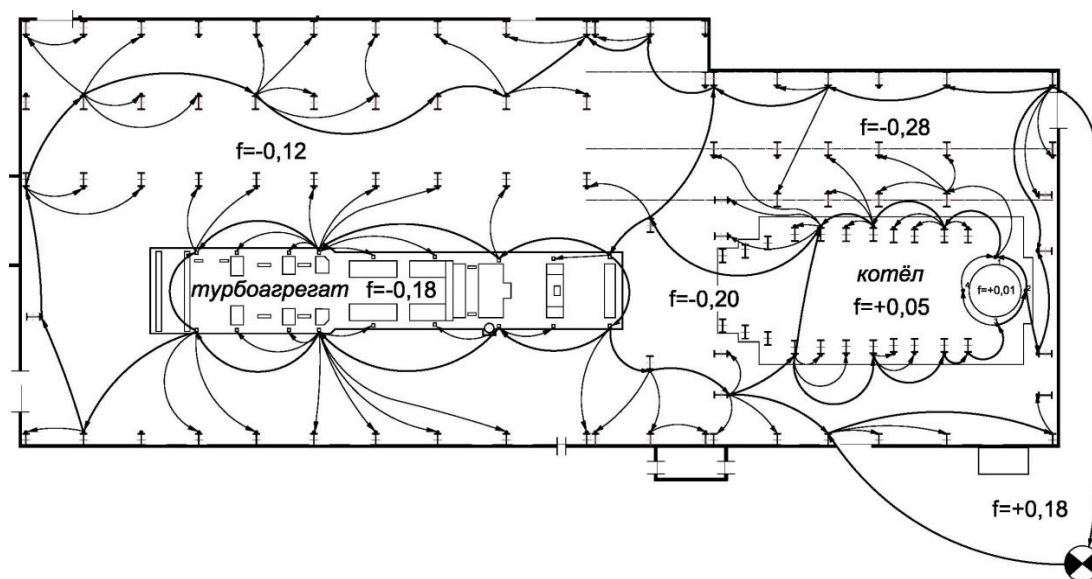


Рис. 3. Схема нивелирных ходов на блоке ПГУ-420 МВт

В конкретном случае невязки полигонов незначительны ($f < 0,3$ мм) и совместное уравнивание сети не приведет к заметному изменению превышений (после ввода поправок). В случае, если невязка полигона вокруг турбоагрегата заметно меньше, чем в смежных полигонах, целесообразно уравнивать этот полигон как свободный и принимать во внимание только одно связующее превышение для вычисления параметра «абсолютная осадка» [16].

На значительное число марок, установленных на территории действующей электростанции, нет возможности отвесно установить нивелирную рейку длиной 1 м. Это связано с монтажом на колонны каркаса главного корпуса пожарных гидрантов, проведением кабельных линий и т.д. Отметки таких марок могут быть получены тригонометрическим нивелированием с использованием компактных визирных целей [17].

Расчеты и практика показали, что тригонометрическое нивелирование электронными тахеометрами может соответствовать по точности геометрическому [7, 18–22]. При небольших углах наклона визирного луча ($<3^\circ$) минимизируется как влияние ошибок измерения расстояний на результат нивелирования, так и ошибки за наклон рейки. Поэтому, если нивелирование выполняется с использованием реек необходимо визировать на штрих, расположенный приблизительно на уровне вращения зрительной трубы. Для соответствия точности измерений I классу (разряду), при использовании компактных целей следует углы наклона ограничить величиной 10° . Тригонометрическое нивелирование целесообразно применять для измерения отдельных превышений, которые затруднительно определить другими способами из-за стесненных условий производственного цеха.

Выводы :

1. Нивелирная сеть на территории ТЭС должна представлять собой систему замкнутых, примыкающих друг к другу полигонов, включающих исходные реперы. Данная сеть считается однородной по точности, так как все превышения измеряются по одной методике: в два горизонта при длине плеч до 25 м.

2. Сеть основных ходов дополняется вспомогательными ходами в 1 штатив (максимум 2 штатива). Это позволяет уменьшить число превышений в основных ходах и повысить точность передачи отметки от реперов до самых удаленных марок.

3. Отдельные превышения целесообразно измерять методом тригонометрического нивелирования короткими лучами ($S < 20$ м).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментом и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. СО 153-34.21.322-2003. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005. – 56 с.

2. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Межгос. стандарт. – Введ. 01.07.2013. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с. Режим доступа: <http://standartgost.ru/ГОСТ%2024846-2012#page-1>.

3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)–03-010-03.2004. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

4. Производство наблюдений за осадками и деформациями зданий и сооружений энергоблока ПГУ 420 ст.№9 с выделением первого пускового комплекса – энергоблок ст. № 9: информационный отчет № 8 : И-3754-ИГД / ООО «Инженер»; рук. Ковалев С. С.; исполн. Коновалов И. А. [и др.]. – Екатеринбург, 2014. 37 с.

5. Карлсон А. А. О классификации точного нивелирования короткими лучами // Геодезия и картография. – 1993. – № 6. – С. 11–13.

6. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования / Уставич Г. А. и [др.] // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 6–13.

7. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Уставич Г. А. и [др.] // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
8. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. – М.: Энергия, 1980. – 200 с.
9. Указания по производству основных геодезических работ на строительстве гидрозвуков (по плано-высотному обоснованию). – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 104 с.
10. Жуков Б. Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 376 с.
11. Жуков Б. Н., Уставич Г. А. Определение центровок роторов турбоагрегатов геометрическим нивелированием // Геодезия и картография. – 1977. – № 7. – С. 25–30.
12. Нестеренок В. Ф. О нормировании точности геометрического нивелирования для измерения деформаций // Геодезия и картография. – 1992. – № 3. – С. 16–18.
13. Никонов А.В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
14. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.
15. О проведении наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений третьего пускового комплекса на территории Няганской ГРЭС за июль 2014 г.: краткий технический отчет : № ВНГРЭС-003 / ОАО «Фортум»; рук. Криницын Г. К.; исполн. Волгин А. Р. [и др.]. – Нягань, 2014. – 116 с.
16. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Исследование точности определения отметок марок при определении осадок фундаментов технологического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 88–92.
17. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
18. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.
19. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования / Ю. И. Беспалов, Ю. П. Дьяконов, Т. Ю. Терещенко // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
20. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 16–26.
21. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
22. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.

ТОЧНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕТРОСПЕКТИВЕ И ПЕРСПЕКТИВЕ (ПО ИСТОРИЧЕСКИМ ЭПОХАМ)

Георгий Николаевич Тетерин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, профессор, тел. (923)706-45-43, e-mail: teterin-books@yandex.ru

Мария Леонидовна Синянская

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)010-35-56, e-mail: mariyateterina8888@mail.ru

В статье дается описание общей истории геодезии, начиная с 9-8 тысячелетий до н. э. Отмечены механизмы и законы развития геодезии. Дается краткая характеристика важнейших моментов развития геодезии по всем четырем эпохам, начиная с первой (землемерной) и заканчивая последней, в которую вступили (геоинформационной). Описание дается в плане методологической триады: предмет науки, метод и объект приложения.

Ключевые слова: история геодезии, парадигмы, эпохи.

THE ACCURACY OF GEODETIC MEASUREMENTS IN RETROSPECT AND PROSPECT (HISTORICAL ERAS)

George N. Teterin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Professor, tel. (923)706-45-43, e-mail: teterin-books@yandex.ru

Maria L. Sinensky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., tel. (913)010-35-56, e-mail: mariyateterina8888@mail.ru

The article gives a description of the General history of geodesy, since 9-8 millennia BC. Marked the mechanisms and laws of development of geodesy. Brief description of the most important moments in the development of geodesy in all four eras, starting with the first (surveying) and ending with the last, in which he joined (GIS). The description is given in terms of methodological triad: the subject of science, method, and the application object.

Key words: history of geodesy, paradigm of the era.

Геодезия изначально являлась измерительной системой знаний, что подтверждается функциональным назначением ее терминов. В системах и технологиях выполнявшихся измерений находили свое концентрированное выражение все виды и успехи геодезической деятельности. Прогресс и переход от эпохи к эпохе характеризовался повышением точности измерений [13]. На рис. 1. представлена логистическая кривая, характеризующая цикличность развития геодезии [1, 2, 11]. Ступени этой кривой представляют собою периоды (эпохи) развития геодезии. Горизонтальная ось абсцисс определяет историческое время, на

котором дана его шкала, соотнесенная с эпохами. Ось ординат определяет точность измерений, рост (повышение) точности. На рис. 1 приведены наиболее характерные особенности этих эпох.

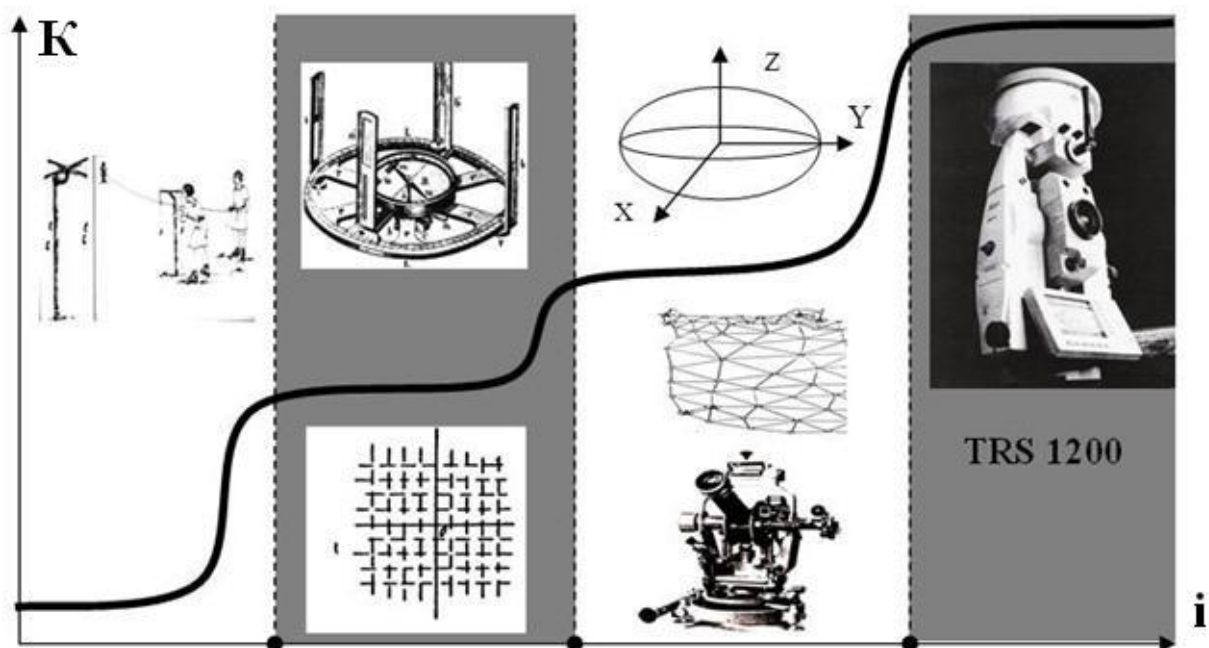


Рис. 1. Логистическая кривая развития геодезии

Данный рисунок – геометрическая схема эволюции геодезии по эпохам. Она является графической интерпретацией логистического закона развития геодезии [1, 7, 8, 10].

Геометрическая схема логистического закона развития геодезии определяется следующей формулой:

$$y_i = 10^{-2i}, \quad (1)$$

где y_i – точность измерений;

i – шкала времени (горизонтальная ось на рисунке 1).

На этой оси значение $i=1$ определяет землемерную эпоху, $i=2$ – геометрическую, $i=3$ – топографо-геодезическую, $i=4$ – геоинформационную.

При этом под y , понимается, с одной стороны, величина, характеризующая погрешностью измерений, а с другой – повышение точности измерений при переходе от эпохи к эпохе, которую можно обозначить константой:

$$K = y_i / y_{i+1} = 10^2. \quad (2)$$

Таким образом, последовательность эпох характеризуется повышением точности измерений на два порядка. Как было отмечено, геодезия является измерительной наукой и в показателях точности измерений концентрированно выражен прогресс и в системе измерений, и в технологиях, и в теории.

Каждый цикл развития состоит из революционной и эволюционной частей. При этом каждый цикл может представляться как революционная + эволюционная части или как эволюционная + революционная. Чтобы установить длительность всех эпох и их датировку необходимо и достаточно определить длительность революционной части, по меньшей мере, двух соседних эпох. Революционная часть есть совокупность точек предопределенности (изобретения, открытия и т. д.) [11].

Во второй эпохе революционная часть представляется следующими точками предопределенности: геометрия Евклида, географическая система координат, диоптры Герона Александрийского, градусные измерения Эратосфена и т. д. Для третьей эпохи: открытие зрительной трубы, таблицы логарифмов, мензульная съемка, декартова система координат, эллипсоидальность фигуры Земли и т.д. [3, 9, 14, 15]. Для последней четвертой эпохи революционная часть начинается с 1950-х гг. Ее точками предопределенности были следующие открытия и изобретения: ЭВМ, компьютеры, лазерное сканирование и измерения, космические спутники и космическая геодезия, свето- и радиодальномеры, электронные и цифровые системы, различные базы данных и т.п. [5, 6, 9].

Длительность перечисленных революционных частей соответственно равна 500, 160, 50 лет. Обозначим ΔT – длительностью цикла, эпохи, а Δt – длительностью революционной части.

Примем

$$\alpha_i = \Delta T_i / \Delta T_{i+1}, \quad (3)$$

$$\beta_i = \Delta t_i / \Delta t_{i+1}. \quad (4)$$

С учетом длительности революционных частей определяется ΔT второй и третьей эпох (2000, 450). Таким образом, значения α и β получаются равными соответственно 4,5 и 3,0. Наличие этих коэффициентов позволяет определить длительность всех исторических эпох и их датировку [15]. В соответствии с этим дата первой исторической эпохи, по крайней мере, ее революционной части, относится примерно к девятому тысячелетию до н.э. Учитывая последние археологические исследования, начало земледелия относят к десятому тысячелетию до н.э. Согласно приведенным расчетам дата завершения четвертой эпохи приходится на середину XXI в. (в соответствии с двумя вариантами расчетов 2050-2060 гг.). Коэффициенты α и β определяют ускорение исторических событий и именуются как сжатие исторического времени. Точность рассматриваемых расчетов невысока – 10-15%. Но, тем не менее, все эпохи расставлены по шкале исторического времени.

Точность измерений в полной мере характеризует каждую эпоху. В соответствии с логистическим законом можно установить их точностные границы [11, 15]. Тогда получим, что «коридор» точности в пределах i -й эпохи будет определяться границами:

$$y_i = \{10^{-2(i-1)} - 10^{-2i}\}. \quad (5)$$

В числовых выражениях для всех четырех эпох это характеризуется:

$$y_i = 10^{-2i} = \{10^0 - 10^{-2}; 10^{-2} - 10^{-4}; 10^{-4} - 10^{-6}; 10^{-6} - 10^{-8}\}. \quad (6)$$

Точность измерений в соответствии с формулой (1) характеризуется относительной погрешностью. Если погрешность определять в градусной или линейной (абсолютной) мере, то формула (1) представляется в виде:

$$y_i = a_j 10^{-2i}, \quad (7)$$

где $j = 1, 2, 3$ – процессы измерений, соответственно: линейные, угловые и нивелирные;

a_j – максимальная погрешность в j -х измерениях первой эпохи.

В соответствии с формулами (1) и (7) и константой перехода между эпохами (2), границы «коридора» точности измерений во всех исторических эпохах даны в табл. 1.

Таблица 1

«Коридоры» точности измерений по историческим эпохам

Геодезические процессы	Эпохи			
	1	2	3	4
Линейные	$1 \cdot 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-8}$
Угловые	$28^\circ - 0,3^\circ$	$17' - 0,2'$	$10'' - 0,1''$	$0,1'' - 0,001''$
Нивелирные	100м-1м	100см-1см	10мм-0,1мм	0,1мм-0,001мм

Таким образом, значения a_j принимают следующий вид:

$$a_j = \{a_1, a_2, a_3\} = \{1, 28, 100\}$$

Приведенные значения погрешностей в таблице 1 получены на основе рассматриваемого логистического закона и формул (1) и (7). Соответствие этого закона действительной практике и точности измерений достоверно подтверждается только для третьей эпохи (таблица 1). Для проверки точности измерений в древнее время были выполнены расчеты (пробивка туннеля на острове Самос), в результате которых получено, что реальная точность вполне отвечает данным таблицы 1 (вторая историческая эпоха – $i=2$). По технологии геодезических работ предусматривался в плановом обосновании пробивки туннеля прямолинейно-прямоугольный ход. В соответствии с расчетами точность трассирования (построения) прямой линии получилась равной $5'$, что вполне отвечает значениям закона (1). Кроме того, точность построения прямого угла при строительстве Гизехских пирамид достигала $1,5'$. В тех же самых расчетах (остров Самос), точность нивелирования была равной средней квадратической погрешности (СКП) на станции и равнялась 1-2 см, а точность нивелирования на 1 км хода составляла 10-20 см.

Имея в виду константу (постоянную) перехода $K=10^2$, в итоге можем получить для всех четырех исторических эпох значения точности построения прямого угла ($y_{пу}$), прямой линии ($y_{пл}$) и нивелирования (y_n):

$$y_{пу} = \{2,5^\circ; 1,5'; 0,9''; 0,01''\},$$

$$y_{пл} = \{8^\circ; 5'; 3''; 0,03''\},$$

$$y_n = \{10\text{м}; 10\text{см}; 1\text{мм}; 0,01\text{мм}\}.$$

Каждая эпоха имела свою парадигму и свое фундаментальное выражение в соответствующей системе измерений, технологии и теории. Следовательно, переход от одной исторической эпохи к другой означал смену систем измерений, технологий и теоретической основы [12, 13]. То есть повышение точности измерений на два порядка при переходе к новой эпохе обязательно сопровождалось формированием новых систем измерений, новой технологии и обновлением теории. В целом это характеризовалось формированием новой парадигмы (табл. 2) [4].

Таблица 2

Парадигмы

Наименование исторических эпох	Начало и конец эпохи	Терминология	Школы	Пространство	Результаты методы	Понимание
Землемерная	С 9000-8000 до 1000 тыс. до н. э.	Землемерная	Писцовая	Полисы	Система межевания, чертежи размежевания	Землемерное
Геометрическая	С сер. 1000 тыс до н. э. до 1500 г.	Геометрическая	Александрейский университет, школа агрименсоров	Империи	Города, каналы, дороги, географические карты, кадастр	Геометрическое
Топографо-геодезическая	С 1500 г. до 1950 г.	Топографо-геодезическая	Топографические училища, геодезические академии	Земной шар	Топографические карты, системы координат, геодезические сети	Топографо-геодезическое
Геоинформационная, глобальная	С 1950 г. до сер. XXI в.	Координатная, геопостранственная	Университеты геодезического профиля, геосистем и технологий	Земное, околоземное, космическое	Глобальные, общеземные СК, геопространственные базы данных, наземно-воздушные, наземно-космические	Координатно-геометрическое, геопространственное

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тетерин Г. Н. Теория развития и метасистемное понимание геодезии. – Новосибирск: Сибпринт, 2006. – 162 с.

2. Тетерин Г. Н. История геодезии (до XX в.). – Новосибирск: ООО «Альянс-Регион» 2008 – 300 с.
3. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Биографический и хронологический справочник (Геодезия, до XX в.). – 2009. – 516 с.
4. Тетерин Г. Н. Феномен и проблемы геодезии. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 95 с.
5. Тетерин Г. Н. История геодезии – двадцатый век (Россия, СССР). – Новосибирск: СГГА, 2010. – 403 с.
6. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Биографический и хронологический справочник (геодезия, картография – двадцатый век). Т. II. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 592 с.
7. Тетерин Г. Н. Четыре парадигмы и законы развития в геодезии // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 4. – С. 30–34.
8. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Геометрическая концепция и теория развития (предопределенности) геодезии: монография. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 239 с.
9. История геодезии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://istgeodez.com>.
10. Синянская М. Л. Прямоугольность как геометрический фактор развития геодезии // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 11–15.
11. Синянская М. Л. Логистический закон развития геодезии как пространственно-временная предопределенность // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 54–63.
12. Тетерин Г. Н. «Геометрическое» и «Геофизическое» в геодезии // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 1 (14). – С. 26–33.
13. Тетерин Г. Н. Символ устаревшей идеологии // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 47–52.
14. Тетерин Г. Н. О координатизации – термине и понятии // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 32–41.
15. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Теория развития геодезии и факторы предопределенности // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 3–11.

© Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская, 2015

ТОЧНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ДРЕВНЕЕ ВРЕМЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРОБИВКИ ТУННЕЛЯ НА ОСТРОВЕ САМОС)

Мария Леонидовна Синянская

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)010-35-56, e-mail: mariyateterina8888@mail.ru

В статье описывается технология геодезических работ в древнее время, отмечается точность таких работ на примере пробивки туннеля встречными ходами на острове Самос. Дается геодезическое обеспечение прямолинейно-прямоугольного хода строительства туннеля.

Ключевые слова: точность измерений, средняя квадратическая погрешность, хоробата.

PRECISION SURVEYING IN ANCIENT TIMES (FOR EXAMPLE, PUNCHING TUNNEL ON THE ISLAND OF SAMOS)

Maria L. Sinensky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate, tel. (913)010-35-56, e-mail: mariyateterina8888@mail.ru

The article describes the technology of surveying in ancient time, there is the accuracy of such works on the example of a perforation tunnel counter moves on the island of Samos. Given a geodesic support straight-rectangular course of the construction of the tunnel.

Key words: accuracy, root mean square error, hororata.

Получить представление о точности геодезических работ в древнее время можно по сохранившимся до нашего времени сооружениям. Наиболее характерен для определения точности работ в древнее время достоверный и доступный для расчета пример – пробивка туннеля на острове Самос. По исследованиям раскопок на этом острове известно, что длина этого туннеля 1036 м. Пробивка туннеля осуществлялась одновременно с двух концов – с северного и южного. На стыке двух пробивок несовпадение в плане достигает 6 м, а по высоте – 1 м. Определено, что внутри туннеля по правой стороне пола пробит канал, в котором по деревянным желобам текла вода [1, 2, 5, 7].

Геодезическое обеспечение строительства туннеля выполнено в виде прямолинейно-прямоугольного (рис. 1.) и нивелирного ходов. Нивелирный и плановый хода были проведены в пределах доступной точности и превысили длину туннеля не менее чем в 1,5 раза. Самое точное нивелирование представлялось как водное, в частности с применением хоробаты, брус в которой (с выемкой для воды) имел длину 6 м [4].

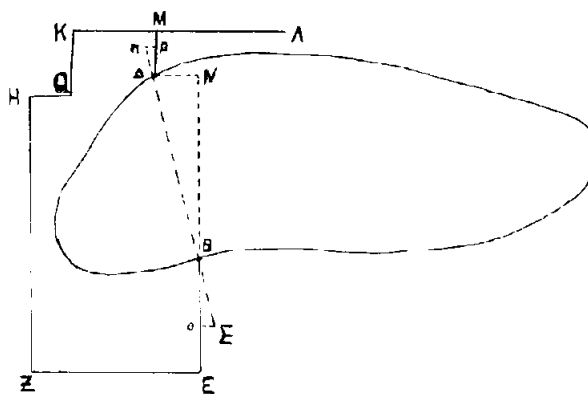


Рис. 1. Прямолинейно-прямоугольный ход

Высотная точность. Чтобы установить точность нивелирования на станции (μ), воспользуемся формулой подсчета средней квадратической погрешности (СКП) для хода, состоящего из n -го количества станций:

$$m_n = \mu\sqrt{n} \quad (1)$$

где n – число станций (одна станция – одно уложение инструмента) в нивелирном ходе (250, имея в виду, что длина нивелирного хода 1,5 км, а длина хоробаты 6 м, откуда $n=1500/6$);

μ – точность нивелирования на станции;

m_n – СКП нивелирного хода.

Общая точность нивелирования ($m_{\text{общ}}$) определяется величиной нестыковки в 1 м и состоит из двух частей: точности нивелирного хода между точками входа и выхода из туннеля (m_n), точности, полученной при пробивке туннеля (m_r – ошибка горизонтирования):

$$m_{\text{общ}}^2 = (\mu\sqrt{n})^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\Delta 50000}{\rho}\right)^2, \quad (2)$$

где Δ – ошибка горизонтирования при пробивке туннеля в секундах;

5000 – протяженность половины туннеля в см;

ρ – константа перехода из градусной меры в радианную ($\rho=206265''$).

Второй член в правой части формулы (3) определяет точность пробивки туннеля по горизонтали от начала (или от конца) до середины. При этом Δ определяет ошибку в направлении оси, допущенной при пробивке туннеля. Величина ошибки пробивки туннеля в заданном направлении не может быть менее 3'. Ранее [4] было определено, что ошибка в направлении при использовании диоптры колеблется от 3' до 15'. В VI в. до н.э., вероятно, диоптры еще не использовались. При пробивке туннеля на острове Самос для горизонтирования возможно использовалось какое-либо устройство с использованием воды [1, 2, 7, 10]. Значение $\sqrt{2}$ характеризует точность нивелирования, связанную с

входом и выходом, одинаковую, поэтому второй член выражения умножен на $\sqrt{2}$ [3].

Из формулы (2) можно установить соотношение между μ и Δ , значения которых определяются соответственно ошибками в нивелирном ходе и в туннеле. Эти соотношения приведены в табл. 1. Из них вытекает, что наиболее вероятные значения Δ и μ соответственно равны 4,8' и 1,1 см.

Таблица 1

Таблица возможных значений СКП нивелирного хода

Δ (мин)	m_n (см)	m_r (см)	μ (см)
3	77,4	1	4,9
4	55,3	1,4	3,5
4,5	37,9	1,5	2,4
4,8	17,4	1,6	1,1
$m_n = m_r$			4,3

В любом случае, исходя из приведенных расчетов, ошибка на станции в нивелирном ходе была близка к 1 см. Из этого следует, что ошибка нивелирного хода:

$$m_n = \mu \sqrt{n} = 1 \text{ см} \sqrt{250} = 15,8 \text{ см}.$$

Имея в виду, что длина хода равнялась 1,5 км, получим, что СКП нивелирного хода (нивелирования) на 1 км хода равняется примерно 10 см. Этот показатель вполне соотносится с соответствующими характеристиками логистического закона этого периода развития [9, 10].

Второй вариант расчетов (замкнутый ход). Если предположить, что две части нивелирования (в ходе и в туннеле) составляют в целом замкнутый нивелирный ход, длиной в 2,5 км, то применяем формулу:

$$f = m_{\text{пр}} \sqrt{L}, \quad (3)$$

где f – невязка нивелирного хода;

$m_{\text{пр}}$ – предельная СКП;

L – длина замкнутого нивелирного хода в км.

При значении $f=1$ м и $L=2,5$ км, получим, что $m_{\text{пр}}=62$ см. Откуда следует, что ошибка на 1 км хода будет равна около 20 см. Следовательно, в эту эпоху ошибка нивелирования характеризовалась величиной 10 см на 1 км хода и более; порядка 1 см была ошибка на станции.

Плановая точность. Как известно, нестыковка в плане двух «пробивок» туннеля составила около 6 м. Эта величина в какой-то мере показатель точности геодезических измерений при пробивке туннеля с двух сторон.

На каждой станции допускались три вида ошибок: линейные, угловые и ошибка трассирования [1, 2, 7]. Примем угловую ошибку на станции в 5', а ли-

нейную – 1:1000. Примем, что стороны хода были длиной 50 м, а число сторон такого хода будет порядка 30. Тогда линейная ошибка по ходу:

$$m_L = \mu_L \sqrt{n} = 5\sqrt{30} = 27,4 \text{ см}$$

а общая угловая ошибка:

$$m_y = \mu_y \sqrt{n} = 5\sqrt{30} = 27,4'$$

На входе в туннель строился прямоугольный треугольник для определения направления оси туннеля [1, 2, 4, 7]. Пусть линейные ошибки двух катетов этого треугольника одинаковы и равны m_a . Тогда общая ошибка будет равна:

$$m_L = m_L = \sqrt{m_a^2 + m_a^2} = m_a \sqrt{2}$$

из этого получим:

$$m_a = \frac{m_L}{\sqrt{2}} = \frac{27,4}{1,4} = 19,6 \text{ см}$$

Исходя из прямоугольности треугольника, получим, что направление оси туннеля определяется как:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}. \quad (4)$$

Дифференцируя (4) и подставляя соответствующие значения, получим:

$$\frac{m_a^2}{\cos^4 \alpha} = m_a^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{b^2}{a^4} \right). \quad (5)$$

Для простоты дальнейших расчетов в целях определения приближенного значения m_a будем полагать, что $a=5b$. Такое соотношение между катетами вполне справедливо с учетом конфигурации хода и длины туннеля (1036 м). При этом, учитывая, что длина хода равна 1,5 км, получим, что $a+2b=1500$ м или $5b+2b=1500$ м, откуда следует, что $b=214$ м и $a=1071$ м. Получим, что:

$$m_a = \frac{m_a \cos^2 \alpha \sqrt{26}}{5a}. \quad (6)$$

Чтобы получить значение m_a в градусной мере правую часть выражения (6) умножим на постоянную – радиан ($\rho=206265''$) и подставим $a=107100$ см, $m_a=19,6$ см. Также учтем, что длина туннеля около 1 км, и полагая, что $a=5b$, то, $b \approx 200$ м, тогда $\operatorname{tg} \alpha=0,2$, а $\cos \alpha=0,98 \approx 1$ ($\alpha=11^\circ 03'$), получим $m_a=38''$.

Будем полагать, что относительная ошибка всего хода в целом (1,5 км) в размере 1:1000 дает величину 1,5 м, тогда:

$$m_a = \frac{1,5 \text{ м}}{\sqrt{2}} \approx 106 \text{ см},$$

т.е. в 5 раз больше чем приведенная выше (19,6 см). В этом случае m_α будет увеличена также в 5 раз, т.е. при $m_\alpha=106$ см, получим $m_\alpha=3'26''\approx 3,5'$. По вычисленному значению угла α производилась пробивка с двух сторон [1, 2, 7]. Имея в виду, что ошибки угловых измерений по ходу и ошибки в ориентации значительно больше указанной величины (3,5'), то в дальнейшем расчетной величиной m_α можно пренебречь.

Обозначим ошибки при пробивке туннеля с двух сторон как m_1 и m_2 , тогда СКП туннеля выразим как m_T . Полагая, что $m_1=m_2$, получаем:

$$m_T = m_1 \sqrt{2} \quad (7)$$

Таким образом, окончательная СКП (известна и равна 6 м) $m_{\text{общ}}$ выйдет как результат ошибок, допущенных при прокладке прямолинейно-прямоугольного хода (m_x) и пробивке туннеля (m_T). Получим, что:

$$m_{\text{общ}}^2 = (\mu_y \sqrt{n})^2 + (m_1 \sqrt{n})^2, \quad (8)$$

где μ_y – СКП на станции, за счет ошибки в построении прямого угла на каждой станции, а также ошибки трассировки;

n – число станций в ходе.

Значения m_x и m_T могут быть выражены как в метрической (линейной) форме, так и в угловой, тогда:

$$m_{\text{общ}}^2 = \left(\frac{\mu_y \sqrt{n} S}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{m_1 \sqrt{2} S}{\rho} \right)^2, \quad (9)$$

где S – длина половины туннеля (500 м).

Выражая μ_y относительно всех других членов выражения (9), получим:

$$\mu_y = \frac{206265''}{60'' 500 \text{ м} \sqrt{30}} \sqrt{36 - \left(\frac{\sqrt{2} m_1 60'' 500 \text{ м}}{206265''} \right)^2} \quad (10)$$

Задавая различные значения m_1 будем получать μ_y . В результате вычислений получена следующая табл. 2:

Таблица 2

Таблица возможных значений плановой СКП

m_1, m_2 (мин)	m_T (мин)	m_x (мин)	μ_y (мин)
10	14,1	38,8	7,1
15	21,2	35,8	6,5
20	28,2	30,8	5,6
25	35,3	22,6	4,1
$m_T = m_x$			5,3

Исходя из общей величины нестыковки северного и южного туннелей, равному 6 м, точность ориентировки туннеля (m_1 и m_2) колеблется от 10' до 25'. Ошибка в трассировании сторон хода (и построении прямого угла) на станции изменяется соответственно от 4,1' до 7,1'. В то же время ошибки m_1 и m_2 в ориентации оси туннеля были, с учетом приведенных в таблице результатов, больше в 2-6 раз. Если принять соотношение между μ_y и m_1 , в 4-5 раз, то значение $\mu_y = 5,6'$ и $m_1 = 20'$, наиболее реально для геодезических измерений, выполнявшихся в исследуемое время при решении различных инженерно-технических задач [3, 6].

Так, в геодезических работах в эллинистическую эпоху при проложении прямолинейно-прямоугольных ходов, суммарная ошибка в построении прямого угла и трассирования имела значение 5-6'. Анализ точности рассмотренного выше нивелирования показал, что ошибка горизонтирования при пробивке туннеля была близкой к 5' [3]. Точность построения прямого угла в особых условиях (например, при строительстве пирамид) с использованием египетского треугольника могла достигать 1,5-2' [5, 6, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гудфилд Д. Тоннель Эвполина [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kachestvo.net/news.php?id=658>.
2. Задача про туннель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geodesist.ru/forum/threads>.
3. Тетерин Г. Н. О точности геодезических измерений (исторический аспект, тенденции развития) // Геодезия и картография. – 1997. – № 8. – С. 49–53.
4. Тетерин Г. Н. История геодезии (до XX в.). – Новосибирск: ООО «Альянс-Регион» 2008 – 300 с.
5. Тетерин Г. Н. Биографический и хронологический справочник (Геодезия, до XX в.). – Новосибирск: СГГА. – 2009. – 516 с.
6. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Геометрическая концепция и теория развития (предопределенности) геодезии: монография. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 239 с.
7. Apostol T.M. The Tunnel of Samos [Электронный ресурс] / T.M. Apostol // ENGINEERING & SCIENCE. – 2004. – № 1. – С. 30–40. – Режим доступа: <http://www.freerepublic.com/focus/chat/2221910/posts>.
8. Синянская М. Л. Прямоугольность как геометрический фактор развития геодезии // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 11–15.
9. Синянская М. Л. Логистический закон развития геодезии как пространственно-временная предопределенность // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 54–63.
10. Тетерин Г. Н., Синянская М. Л. Теория развития геодезии и факторы предопределенности // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 3–11.

© М. Л. Синянская, 2015

УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО РЕШЕНИЯ

Амридон Гемзаевич Барлиани

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (983)319-99-31

В статье предлагается параметрическая версия уравнивания и оценки точности нивелирных сетей на основе обобщенного решения.

Ключевые слова: уравнивание, нивелирная сеть, обобщеннообратная матрица, рекурсивный алгоритм.

LEVELING NETWORK ADJUSTMENT BASED ON GENERALIZED SOLUTION

Amridon G. Barliani

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof., Department of Applied Informatics and Information Systems, tel. (983)319-99-31

Parametric version for leveling networks accuracy evaluation and adjustment based on generalized solution is considered.

Key words: adjustment, leveling network, generalized inverse matrix, recursive algorithm.

Хорошо известно, что для определения искомых параметров в геодезических сетях (высот реперов, координат геодезических пунктов) выполняются измерения, число которых намного больше необходимых. То есть в геодезических сетях всегда присутствуют избыточные измерения. Присутствие избыточных измерений, а также тот факт, что измерения сопровождаются неизбежными случайными ошибками наблюдений, приводят к неоднозначному определению искомых параметров в геодезических сетях. В связи с этим возникает задача уравнивания геодезических сетей.

Параметрический способ уравнивания геодезических сетей предполагает, что между вектором истинных значений измеряемых величин Y и вектором точных значений определяемых параметров X существует следующая функциональная связь:

$$Y = \varphi(X). \quad (1)$$

Запишем систему параметрических уравнений в линейном виде:

$$A\Delta + L = 0, \quad (2)$$

где $\Delta = X - x^0$ – вектор-столбец точных значений поправок к приближенным значениям параметров; $L = Y - \varphi(x^0)$, а матрица частных производных

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_1^0} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_2^0} & \Lambda & \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_k^0} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_1^0} & \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_2^0} & \Lambda & \frac{\partial \varphi_{n1}}{\partial x_k^0} \end{pmatrix}.$$

Вследствие того, что результаты измерений сопровождаются ошибками наблюдений, поэтому при замене вектора истинных значений измеряемых величин Y , вектором измеренных значений y , в правой части выражения (2) получается неизвестный вектор ошибок, то есть:

$$A\Delta + l = \varepsilon, \quad (3)$$

где $l = \varphi(x^0) - y$ – вектор свободных членов, ε – вектор-столбец случайных ошибок измерения с ковариационной матрицей $K_\varepsilon = \sigma_\varepsilon^2 P^{-1}$.

Необходимо заметить, что если в геодезических сетях измерения выполнены равноточно, то ковариационная матрица имеет вид:

$$K_\varepsilon = \sigma_\varepsilon^2 P^{-1}, \quad (4)$$

где I – единичная матрица размера $n \times n$.

В системе уравнений (3) компоненты вектора ε неизвестны, поэтому число неизвестных $n - k$ больше числа уравнений n . В связи с этим линейная система уравнений (3) несовместна. Для решения несовместной системы применяют метод наименьших квадратов и переходят к совместной системе нормальных уравнений, которая имеет вид:

$$A^T A \hat{\Delta} + A^T l = 0.$$

Решают эту систему и получают оценку вектора поправок к приближенным параметрам $\hat{\Delta}$, которая при подстановке в уравнение (3) дает вектор остатков с минимальной нормой:

$$A \hat{\Delta} + l = V. \quad (5)$$

Предлагается иной подход, основанный на методе обобщенного решения. Рассмотрим предлагаемую методику для уравнивания нивелирных сетей с точно измеренными величинами. Обобщенное решение системы уравнений (3) дает оценку вектора Δ которая может быть записана так [1, 2]:

$$\tilde{\Delta} = -A^{\sim} l,$$

где $A^{\sim}$ – рефлексивно-обратная матрица с минимальной нормой для A , удовлетворяющая свойствам:

$$A^{\sim} A A^{\sim} = A^{\sim}; (A^{\sim} A)^T = A^{\sim} A. \quad (6)$$

Можно считать $\tilde{\Delta}$ обобщенным решением, а матрицу $A^{\sim}$ обобщеннообратной матрицей к A .

Пусть произвольная прямоугольная матрица представлена в блочном виде:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_k), \quad (8)$$

где a_j – вектор-столбец высоты n .

На основании доказанной теоремы [2] можно записать рекурсивный алгоритм последовательного обращения матриц, который имеет вид:

$$A_j^{\sim} = \begin{pmatrix} A_{j-1}^{\sim} - d_j \cdot b_j^T \\ b_j^T \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где

$$d_j = A_{j-1}^{\sim} \cdot a_j, \quad (10)$$

$$c_j = a_j - A_{j-1} \cdot d_j. \quad (11)$$

Процедура начинается с первого столбца. $A_1 = a_1$. Так как A_1 состоит из одного столбца, $A_1^{\sim}$ находится по следующей формуле:

$$A_1^{\sim} = a_1^{\sim} = \frac{a_1^T}{\|a_1\|^2}. \quad (12)$$

Затем по формулам (9) с учетом формул (10), (11) последовательно вычисляются $A_2^{\sim}, A_3^{\sim}$, пока не будет получена $A_k^{\sim} = A^{\sim}$.

В этих условиях при уравнивании нивелирных сетей присоединение столбцов $a_2, a_3, \dots, a_{k-1}$ блочной матрицы (8) по формуле (9) b_j будет определяться по выражению:

$$b_j = \frac{c_j}{\|c_j\|^2}. \quad (13)$$

Для присоединения последнего столбца a_k матрицы (8) используем формулу:

$$b_j = \frac{(A_{j-1}^*)^T \cdot d_j}{1 + \|d_j\|^2}. \quad (14)$$

Вектор уравненных значений неизвестных параметров $\tilde{x}$ можно выразить через вектор-столбец приближенных параметров x^0 и вектор-столбец поправок $\tilde{\Delta}$ следующим образом:

$$\tilde{x} = x^0 + \tilde{\Delta}.$$

Вектор-столбец уравненных измерений $\tilde{y}$ определяется по формуле:

$$\tilde{y} = y + v.$$

Для вычисления среднеквадратических ошибок уравненных параметров воспользуемся известной формулой[2]:

$$m_{\tilde{x}_j} = \mu \|a_j^*\|.$$

где $\|a_j^*\|$ – евклидова норма для j – ой строки обобщеннообратной матрицы A^* , μ – среднеквадратическая ошибка единицы веса.

А среднеквадратические ошибки уравненных измерений получим по выражению[2]:

$$m_{\tilde{y}_j} = \mu \|a_i a_j^*\|.$$

где a_i – i -ая строка матрицы коэффициентов параметрических уравнений поправок A ; a_j^* – j -ый столбец обобщеннообратной матрицы A^* ; $\|a_i a_j^*\|$ – евклидова норма.

Рассмотрим уравнивание нивелирной сети, представленной на рис. 1. Исходные репера имеют отметки: $x_A = 100,238$ м. и $x_B = 121,322$ м. На основании

результатов измерений находятся приближенные значения необходимых параметров (отметок реперов), они равны соответственно:

$$x_1^0 = x_A + y_1 = 110,542 \text{ м}; \quad x_2^0 = x_B + y_3 = 130,674 \text{ м};$$

$$x_3^0 = x_1^0 + y_5 = 140,750 \text{ м}; \quad x_2^0 = x_1^0 + y_6 = 157,083 \text{ м}.$$

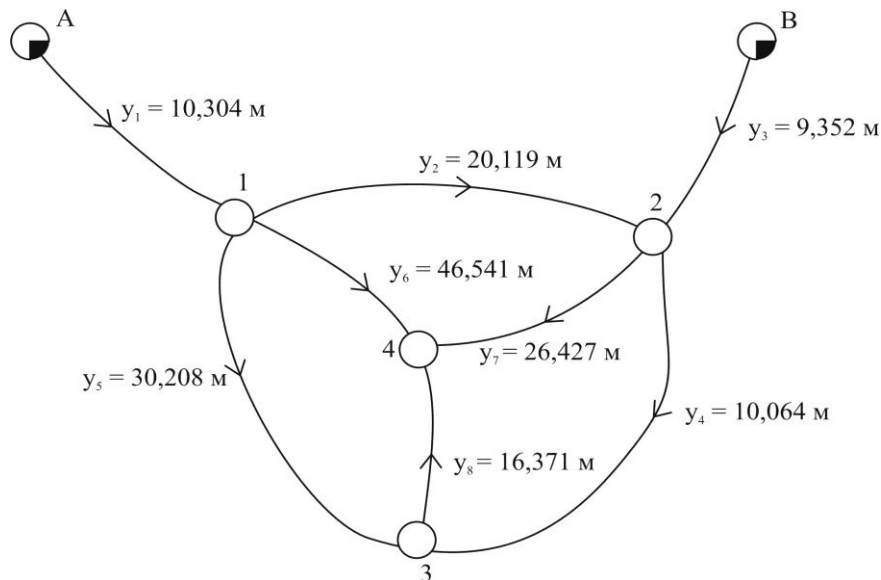


Рис. 1. Несвободная нивелирная сеть

Матрицу коэффициентов параметрических уравнений поправок можно определить уже известным образом и запишем ее транспонированном виде:

$$A^T = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

По предложенному алгоритму находится обобщеннообратная матрица $A^{\sim}$, которая равна:

$$\begin{pmatrix} 0,02264 - 0,20000 & 0,02264 - 0,00377 & -0,20377 & -0,22264 & -0,02264 & 0,01887 \\ 0,02264 & 0,20000 & 0,22264 & -0,20377 & -0,00377 & -0,02264 & -0,22264 & 0,01887 \\ 0,02830 & 0,00000 & 0,02830 & 0,24528 & 0,24528 & -0,02830 & -0,02830 & 0,27358 \\ -0,16038 & 0,00000 & -0,16038 & -0,05660 & -0,05660 & 0,16038 & 0,16038 & 0,21698 \end{pmatrix}.$$

Результаты уравнивания и оценки точности по предложенному методу и методу наименьших квадратов представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

№ параметров	Вычисленные параметры	Метод обобщенного решения			Метод наименьших квадратов		
		$\hat{\Delta}$, м	$\hat{x}$, м	$m_{\hat{x}}$, мм	$\hat{\Delta}$, м	$\hat{x}$, м	$m_{\hat{x}}$, мм
1	110.542	0.0015	110.5435	5.116	0.0032	110.5452	9.207
2	130.674	-0.0049	130.6691	5.116	-0.0032	130.6708	9.207
3	140.750	-0.0138	140.7362	5.340	-0.0118	140.7382	11.118
4	157.083	0.0118	157.0948	4.741	0.0148	157.0978	11.118

Таблица 2

№ превышений	Изменные превышения	Метод обобщенного решения			Метод наименьших квадратов		
		V , м	$\hat{x}$, м	$m_{\hat{y}}$, мм	V , м	$\hat{x}$, м	$m_{\hat{y}}$, мм
1	10,304	0,0015	10,3055	5,657	0,0032	10.3072	9.207
2	20,119	0,0066	20,1256	7,583	0,0066	20.1256	7.517
3	9,352	-0,0049	9,3471	5,657	-0,0032	9.3488	9.207
4	10,064	0,0030	10,0670	8,034	0,0034	10.0674	8.192
5	30,208	-0,0154	30,1926	8,034	-0,0150	30.1930	8.192
6	46,541	0,0103	46,5513	7,420	0,0116	46.5526	8.192
7	26,427	-0,0013	26,4257	7,420	-0,0000	26.4270	8.192
8	16,371	-0,0123	16,3587	8,397	-0,0115	16.3595	8.405

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что точность, как уравненных параметров, так и уравненных превышении значительно повышаются с применением предложенного метода по сравнению с методом наименьших квадратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барлиани А. Г. Псевдорешение и метод наименьших квадратов // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск: СГГА, 2008. Т. 1, ч. 1. – С. 160–163.
2. Барлиани А. Г. Разработка алгоритмов уравнивания и оценки точности свободных и несвободных геодезических сетей на основе псевдонормального решения: монография. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 135 с.
3. Падве В. А. Потенциал универсального синтезированного алгоритма МНК-оптимизации геодезических данных // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 4. – С. 34–42.
4. Новый этап развития геодезии - переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения угольных месторождений / А. П. Карпик, А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.
5. Карпик А. П. Разработка методики качественной и количественной оценки кадастровой информации // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 137–142.
6. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Технология изучения измерений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.

© А. Г. Барлиани, 2015

СОЗДАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Анна Петровна Чахлова

ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Россия, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, 16 а, ведущий инженер, тел. (812)331-53-36, e-mail: annachahlova@rambler.ru

Ярослава Георгиевна Пошивайло

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: yaroslava_po@mail.ru

В статье рассмотрен такой новый вид планов, как инженерные топографические планы. Представлено назначение и понятие данного вида планов. Даны рекомендации о содержании и наполнении планов масштаба 1:200/1:100 для целей проектирования в горной местности в районе залегания скальных пород.

Ключевые слова: инженерный топографический план, содержание, наполнение, скальные породы, вертикальный топографический план.

NEED OF CREATION OF ENGINEERING TOPOGRAPHICAL PLANS FOR CREATION PROJECTS OF MOUNTAIN DISTRICT

Georgy A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Professor of the Department of Engineering Geodesy and Mine Survey, tel. (383)361-06-35, e-mail: yaroslava_po@mail.ru

Anna P. Chakhlova

Open Company «Rosengineering Stroitelstvo» 354392, Russia, Sochi, Adler area, Esto-Sadok, Achipsimsky St, 16a, the engineer-geodesist, tel. (812)331-53-36, e-mail: annachahlova@rambler.ru

Yaroslava G. Poshivailo

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Associate Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics, tel. (383)361-06-35, e-mail: yaroslava_po@mail.ru

In article such type of plans, as engineering topographical plans are considered. Appointment and concept of this type of plans is described. Recommendations about the contents and filling of plans of scale 1 : 200/1 : 100 for design in the mountain district around a bedding of rocky breeds are made.

Key words: engineering topographical plan, contents, filling, rocky breeds, vertical topographical plan.

Для разработки проекта строительства инженерных сооружений используются результаты геодезических изысканий. Как правило, после создания проекта и генплана все объекты наносятся на топографическую основу в виде общего контура расположения сооружений (рис. 1).

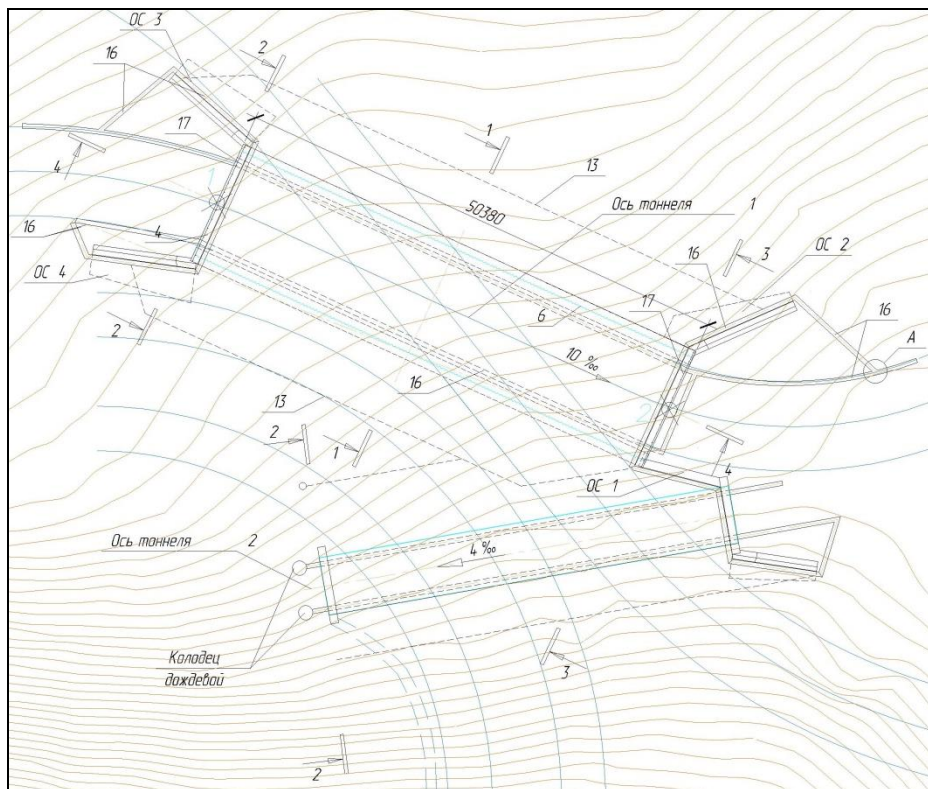


Рис. 1. Фрагмент генерального плана тоннельных переходов

При этом зачастую на фрагментах генплана указываются главные оси сооружения и расстояния между ними. Однако, для условий горной местности данной информации зачастую оказаться не достаточно. Это связано с тем, что в предгорных и горных районах зачастую преобладают скальные породы, которые требуют больших затрат при их разработке. Кроме того, такой характер рельефа значительно ограничивает территорию, необходимую для размещения проектируемых сооружений, так как приходится учитывать и обходить скальные породы, обрывы, откосы и т.д. В связи с этим для целей проектирования и дальнейшего строительства инженерных сооружений в горных условиях нами предлагается создавать инженерные топографические планы. Под инженерным топографическим планом необходимо понимать топографические планы масштабов 1:500, 1:200 и 1:100, на которых нанесены объекты проектирования с указанием линейных размеров не только между главными осями сооружений (рис. 2), но и размеров до основных конструктивных элементов каждого объекта, а также до основных форм рельефа (до обрыва, скалы, расщелины).

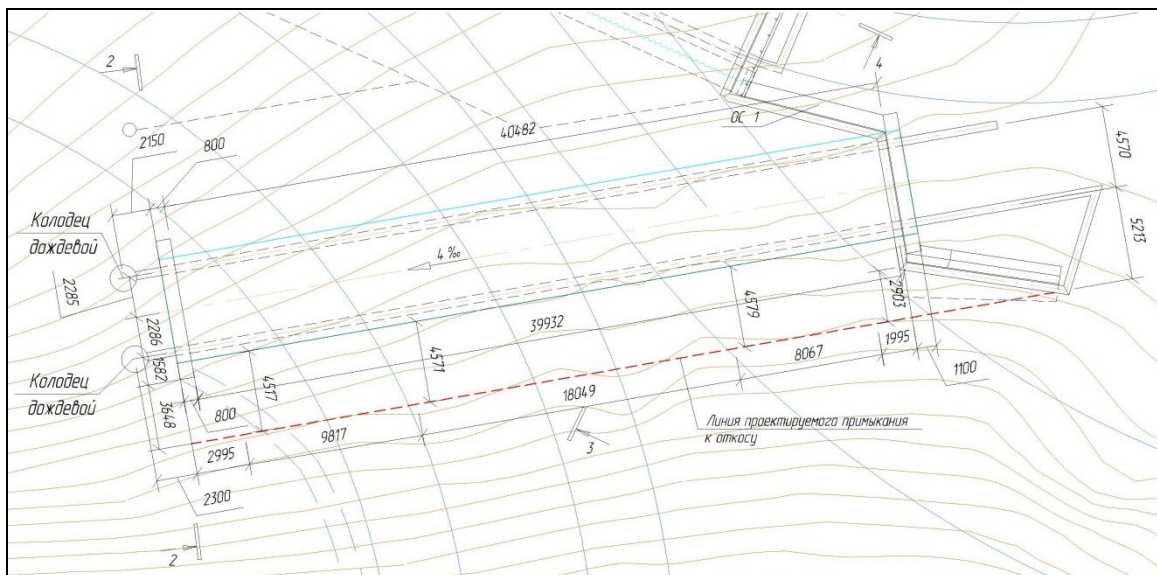


Рис. 2. Фрагмент инженерно-топографического плана

Рассмотрим технологическую схему создания инженерных топографических планов, предназначенных для проектирования тоннельных переходов, представленных на рис. 1.

Согласно требованиям [2] грунты подразделяются на песчаные грунты, суглинки и супеси, скальные грунты, глинистые грунты, крупнообломочные грунты, грунты с органическими примесями, насыпные грунты и лёсс.

Из данных типов грунтов наиболее трудоемкими при разработке являются скальные и крупнообломочные грунты. При отсутствии в структуре скального типа грунтов трещин и пустот он может быть использован в качестве основания или опорных частей сооружений. Поэтому в местах залегания скальных пород необходимо тщательно подходить к инженерно-изыскательским работам.

Крупнообломочный тип грунтов при плотном их сложении так же может использоваться в качестве основания при строительстве инженерных сооружений.

Согласно требованиям [3] грунты высокой трудности разработки разрабатываются взрывами на выброс (или сброс) или бульдозерами и экскаваторами после проведения взрывного рыхления.

Для рыхления взрывным способом скальных грунтов рекомендуется применять шнуровые или скважинные заряды, а также котловые шпуров.

Для бурения шпуров и скважин применяются бурильные молотки (пневматические перфораторы) и станки, действующие от передвижной компрессорной установки. Взрывные работы осуществляют тремя способами [3]:

- рыхлением скальной породы на куски определенного габарита с последующей уборкой их механизированным способом (взрывание на рыхление грунта);
- полным или частичным удалением породы силой взрыва за пределы выемки (на выброс) или с образованием полувыемок (на сброс);

– взрыванием контуров на блоки правильной формы при массивных слабо-трещиноватых и плотных породах горизонтальной слоистости и раздельности.

Разработка выемок в скальных грунтах производится сразу с небольшим перебором во избежание последующей трудной и дорогостоящей работы по снятию оставшегося тонкого слоя скальных грунтов.

При взрывных методах разработки и рыхлении недоборы по основанию выемок не допускаются. Недоборы по поверхности откосов не должны превышать 0,2 м при условии обеспечения их устойчивости [3]. Величина переборов породы после окончательной зачистки дна и откосов выемок не должна быть больше значений, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые значения переборов при взрывных работах

Скальные грунты	Допустимые величины переборов при разработке, см	
	взрывным способом, методом шпуровых зарядов	отбойными молотками
Малопрочные, средней прочности и прочные трещиноватые	20	10
Прочные и очень прочные нетрещиноватые	10	5

Из табл. 1 следует, что при составлении топографических планов с целью более достоверного определения объемов выработки скальных пород масштаб отображения необходимо увеличивать. Кроме того, в местах наличия отвесных скал необходимо также указывать расстояния с ошибкой не более 1 см до границ выработки. Это обусловлено тем, что графическая точность топографических планов масштаба 1:500 в условиях предгорной и горной местности составляет 10 см, планов масштаба 1:200 – 4 см и планов масштаба 1:100 – 2 см. Согласно требованиям [4] средние ошибки отображения рельефа для условий горной местности не могут превышать 0,7 мм в выбранном масштабе плана. На местности это составляет 35 см для масштаба 1:500, 14 см для масштаба 1:200 и 7 см для масштаба 1:100. Соответственно, ошибка создания топографического плана масштаба 1:500 в условиях предгорной и горной местности не соответствует требованиям определения допустимой величины переборов породы. В связи с этим затраты и объемы работ по окончательной подготовке скальной породы к дальнейшему строительству будут определены со значительными ошибками. В связи с этим для повышения достоверности отображения горных форм рельефа нами рекомендуется создавать топографические планы масштаба 1:200 или 1:100. Также для повышения достоверности отображения в местах с резким изменением форм рельефа (обрыв скалы, наличие глубокой расщелины) нами рекомендуется на топографическом плане указывать и расстояние до выбранной точки.

Согласно требованиям [3] исходные инженерно-геологические данные для расчета контурных взрывов должны содержать: названия горных пород, указания строительных групп по трудности разработки, а также характеристику массивов пород по строению и выветриванию (расположение пластов и систем трещин относительно оси выемки, мощность отдельных пластов, их трещиноватость). В связи с этим требованием возникает необходимость отображать трещины, карстовые образования, расщелины на топографических планах [4] путем подписи самого наименования карстового образования и указания в виде дроби средней ширины и глубины карстовых образований (в числителе и знаменателе соответственно) в метрах (рис. 3).

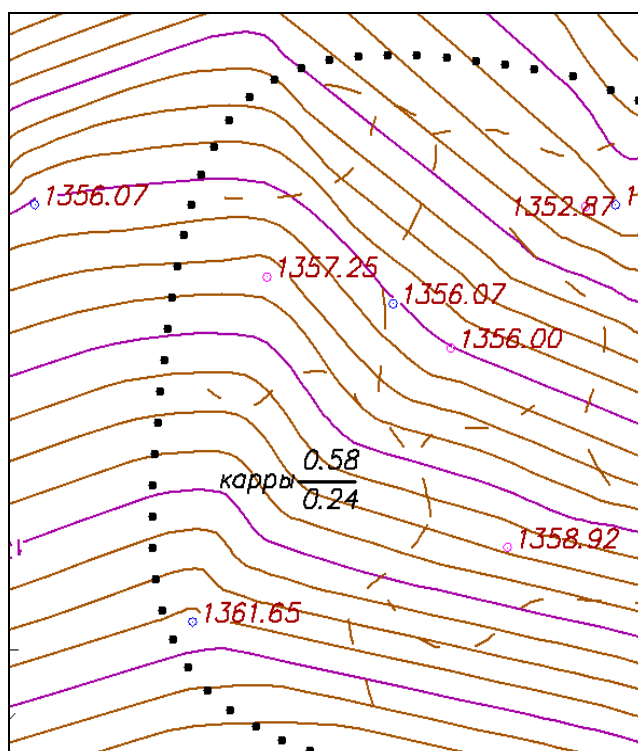


Рис. 3. Обозначение карр на топографическом плане

Расщелины рекомендуется обозначать по подобию вымоин. При невозможности определить глубину расщелины, в знаменателе дроби необходимо писать сокращенное *неопред.* Данный факт может говорить о том, что расщелины могут переходить в пещеры либо другие подземные карстовые образования, которые при последующем строительстве могут привести не только к удорожанию, но и к невозможности последующего строительства и эксплуатации объекта. Перед дробью необходимо делать подпись *расщ.*, что будет говорить о природе и характере формы рельефа [5].

Кроме отображения рельефа местности в крупном масштабе инженерный топографический план будет отличаться от топографического плана содержанием и наполнением. Под содержанием, в данном контексте, необходимо понимать все объекты, которые будут отображены на топографическом плане, а

под наполнением – дополнительная информация по данным объектам, представленная в различных форматах.

Для пояснения данных определений в табл. 2 приведен сравнительный анализ планов различных масштабов.

Таблица 2

Сравнительные характеристики топографических планов различного масштаба

Критерии	Масштаб плана				
	1:5000	1:2000	1:1000	1:500	1:200/1:100
Назначение	Разработка генеральных планов и проектов размещения строительства крупных, больших и средних городов	Разработка генеральных планов малых городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов	Составление технических проектов и рабочих чертежей застройки на не-застроенной территории или территории с одноконтурной застройкой	Составление исполнительного, генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки с густой сетью подземных коммуникаций, и др.[6]	Проектирование объектов в условиях со сложным рельефом, в районах густой городской застройки, ведения исполнительного генерального плана участка, разработки рабочих чертежей
Наполнение	Топографический план			Топографический план, снимки интересующих объектов местности [7]	Горизонтальный/вертикальный топографические планы, снимки объектов и склонов местности, снимки с метрическими данными, строительные чертежи и т.п.

Остановимся подробнее на наполнении планов масштаба 1:200 и 1:100. Одним из видов наполнения являются цифровые снимки поверхностей склонов (рис. 4).

Из представленного снимка видно, что склон имеет достаточно неоднородную поверхность, различимо большое количество выступов и трещин. Для оценки возможности проведения разработки данного откоса необходимо дать характеристику существующих трещин. Это возможно выполнить двумя способами. Первый способ заключается в выполнении цифровой камерой снимков расщелин (всех или по отдельности каждой) с установленной поверх них метрической шкалой (линейкой/рейкой с четкими делениями). Для небольших

расщелин и трещин можно производить снимки и измерение в наиболее широком месте, либо посередине. Для протяженных расщелин снимки необходимо делать в нескольких местах. Второй способ заключается в создании вертикального топографического плана склона в масштабе 1:200 или 1:100 [6, 7]. Плоскость проецирования для вертикальных топографических планов необходимо задавать параллельно оси проектируемого сооружения. В результате этого данные виды наполнения (снимки трещин, вертикальный топографический план) позволят получить достоверную информацию о склоне.



Рис. 4. Снимок поверхности склона в районе проектирования тоннельных переходов.

Для получения дополнительной топографической информации в месте проектирования на топографический план масштаба 1:200 или 1:100 необходимо наносить строительные чертежи. Целесообразность данного решения обу-

словлена возможностью уменьшения работ при разработке скальных грунтов, так как скальные породы достаточно прочны и могут служить опорной частью сооружения взамен затрат на применение железобетонных конструкций.

Кроме данных видов наполнения важную роль играет и мониторинг состояния скальных поверхностей в районе выполнения строительства. Если скальные поверхности до начала производства строительных работ уже имели трещины или они образовались уже после разработки грунта, то может проявиться динамический процесс их развития вследствие выветривания, возможных землетрясений, техногенных воздействий и других факторов. Поэтому перед началом выполнения строительно-монтажных работ нами рекомендуется повторно выполнять обследование склона в местах с большим количеством трещин и расщелин.

Таким образом, применение инженерных топографических планов позволит повысить достоверность топографо-геодезической информации в условиях горной местности и как следствие этого выполнять оптимальное проектирование по расположению объектов строительства на данном участке местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 // Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1989. – 286 с: ил.
2. Типы исследуемых грунтов // http://buroviki.ru/tipy_issleduemyh_gruntov.html
3. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог // Министерство транспортного строительства государственной всесоюзной дорожной научно-исследовательский институт (СОЮЗДОРНИИ). – М.: Транспорт, 1982. – 130 с.
4. Пошивайло Я. Г., Чахлова А. П., Уставич Г. А. Создание топографо-информационной системы для целей проектирования инженерных сооружений в горных условиях // Геодезия и картография. – 2013. – № 3. – С. 17–21.
5. Карпик А. П. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения угольных месторождений // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–5.
6. Чахлова А. П. Методика создания вертикальных топографических планов для горной местности // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 29–33.
7. Хасенов К. Б., Гольцев А. Г., Салпышев О. Д. Выверка строительных конструкций с использованием лазерных приборов // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 6–8.

© Г. А. Уставич, А. П. Чахлова, Я. Г. Пошивайло, 2015

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕКУЩИХ ДЕЖУРНЫХ ПЛАНОВ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Иван Иванович Кулага

ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Россия, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, 16а, инженер-геодезист, тел. (812)331-53-36, доб. 2561, e-mail: Ivan.Kulaga@roing.com

Анна Петровна Чахлова

ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Россия, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, 16а, инженер-геодезист, тел. (812)331-53-36, доб. 2234, e-mail: Anna.Chahlova@roing.com

Описана необходимость создания текущих дежурных планов в условиях горной местности во время строительства, разработана технология создания текущих дежурных планов.

Ключевые слова: текущий дежурный план, топографический план, коммуникации, инженерные сети.

ABOUT THE NEED OF CREATION OF PRESENT MONITOR PLANS OF THE CONSTRUCTION SITE IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Ivan I. Kulaha

Open Company «Rosengineering Stroitelstvo» 354392, Russia, Sochi, Adler area, Esto-Sadok, Achipsimsky St, 16a, engineering surveyor, tel. (812)331-53-36, 2561, e-mail: Ivan.Kulaga@roing.com

Anna P. Chakhlova

Open Company «Rosengineering Stroitelstvo» 354392, Russia, Sochi, Adler area, Esto-Sadok, Achipsimsky St, 16a, engineering surveyor, tel. (812)331-53-36, 2234, e-mail: Anna.Chahlova@roing.com

The article is described the need of the creation of present plans in mountainous terrain during construction and the technology of creating the present plans.

Key words: present monitor plan, topographical plan, utility systems, engineering networks.

Согласно [1] перед получением разрешения на строительство и разработкой проекта необходимо выполнить инженерные изыскания, которые в последующем обязательно входят в состав проектной документации. В рамках инженерных изысканий составляется топографический план масштаба 1:500 на территорию застройки. Во время строительства, в рамках технического надзора за качеством производства работ, выполняют исполнительные съемки, которые в виде исполнительного топографического плана передаются в отдел «Архитектуры и градостроительства» муниципального образования лишь на этапе ввода объекта в эксплуатацию [2].

Зачастую на территории строительства одновременно ведется возведение нескольких комплексных объектов под разными этапами в один период времени. При выполнении земляных работ возникает риск повреждения и порыва инженерных сетей. Для того чтобы избежать данной проблемы, предлагается

вести текущий дежурный план с начала строительства. Данный план должен обеспечить своевременное отображение фактически выполненных работ с целью сокращения временных издержек на поиски уже проложенных подземных коммуникаций и предотвращения их порывов, тем самым минимизируя возможные экономические издержки.

Более того составление текущих дежурных планов обусловлено тем, что во время строительства инфраструктурных объектов в условиях горной местности возможно внесение изменений в проект инженерных сетей до 30% от общего объема. Это связано с тем, что при проектировании инженерных сетей не всегда есть возможность учесть все особенности местности из-за сложного характера рельефа, геологической специфики грунтов. При плотной застройке в условиях горной местности возможность изменения положения подземных сетей, как в плане, так и по высоте ограничена особенностями рельефа, то изменение положения одной из нити коммуникаций автоматически влечет за собой необходимость корректировки проектного положения большинства других инженерных сетей [3].

Концепция создания текущих дежурных планов на площадке строительства заключается в том, что на генеральный план объекта наносят объекты с жесткими контурами и инженерные сети по данным исполнительных съемок, выполненных как в рамках текущего объекта строительства, так и смежного, в специализированной программной продукте. При этом условные знаки для отображения объектов местности необходимо использовать в соответствии с требованиями [2]. Каждый объект должен размещаться в соответствующем слое согласно классификации, разработанной в генподрядной организации, либо заказчиком [3, 4]. Кроме планового положения сети на сводном плане необходимо отображать высотные отметки поворотных точек коммуникаций, характеристики объектов строительства и другую сопутствующую информацию, которая позволит получать всю необходимую информацию об объекте и оперативно принимать проектные решения.

Так же для каждой линии коммуникаций необходимо создавать гиперссылку на электронный файл исполнительной схемы. Это позволит при необходимости в кратчайший срок извлечь из базы данных, созданной в специализированном программном продукте, необходимую исполнительную схему, в которой будет отображена информация, как по данному объекту, так и по исполнителю работ. После нанесения объектов по результатам исполнительной съемки, соответствующие объекты (либо их части) генерального плана необходимо удалять, либо переносить в невидимый слой при наличии изменений, что позволит оценить объем выполненных работ.

Объекты, попадающие в классификацию «Рельеф», «Растительность», «Грунты и микроформы земной поверхности», «Болота и солончаки» и подобные с нежесткими контурами на данном плане отображать не предполагается, за исключением случаев уже сформированных и не подлежащих изменению контуров объектов.

Данная концепция была разработана сотрудниками геодезической службы ООО «Росинжиниринг Строительство» во время строительства Олимпийских объектов и горнолыжного комплекса ОАО «Газпром», расположенном в

п.Эсто-Садок г.Сочи при помощи программного продукта AutoCad. На территории комплекса одновременно велось строительство нескольких объектов, принадлежащих к различным этапам строительства с привлечением субподрядных организаций.

В связи с изменениями фактического положения сетей относительно проектного, в том числе, вызванными влиянием природных и климатических факторов, существовала необходимость оперативно вносить изменения в рабочие проекты еще не уложенных сетей, для чего необходимо было учитывать все ранее уложенные сети и возведенные сооружения. При подписании исполнительной документации работ, выполненных субподрядными организациями, генподрядной организацией совместно с бумажной копией исполнительной схемы, запрашивался электронный файл с фактическим планово-высотным положением сети коммуникаций в формате *.dwg, оформленный согласно [5]. Далее имеющаяся информация с электронной версии переносилась на текущий дежурный план в программном комплексе AutoCad, с созданием гиперссылки на электронную версию. Текущий дежурный план создавался в единой системе координат и высот [8].

Текущий дежурный план и база данных исполнительных схем размещался в сетевой папке с доступом только заинтересованных лиц. При этом редактировать данные могли только сотрудники геодезической службы, все остальные лица имели доступ лишь для просмотра без возможности редактирования и удаления файлов. Данное ограничение доступа к базе данных позволило исключить проблему потери информации, но при этом возможность оперативного просмотра текущего дежурного плана для принятия решений как проектных, так и производственных сохранялась даже при удаленном доступе пользователя к системе.

Фрагмент текущего дежурного плана на площадке строительства представлен на рис. 1.

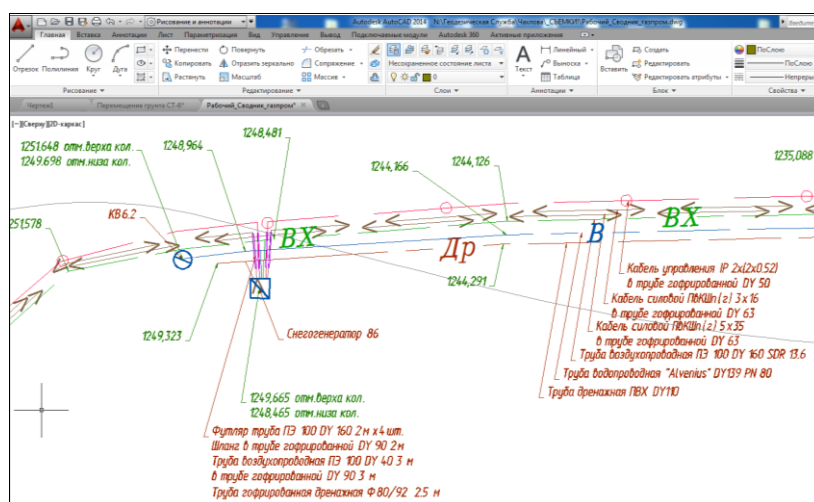


Рис. 1. Фрагмент текущего дежурного плана на территории строительства

Таким образом, на территорию всех объектов строительства был создан единый текущий дежурный план. Благодаря данному плану время на внесение

изменений в проектную документацию значительно сокращалось, что позволяло снизить различные виды издержек и не выходить за графики производства работ. Так же при производстве земляных и строительных работ по данным, полученным из текущего дежурного плана, риск порыва сетей сводился к минимуму. Кроме того, при устройстве объектов временного назначения была возможность оценить наглядно, без дополнительных натурных обследований, возможные точки подключения к существующим инженерным сетям, а так же определить места, не планируемые для производства строительно-монтажных работ с целью устройства временных путей подъезда и временных площадок складирования материалов. Для составления исполнительного топографического плана М 1:500 по окончании строительства объекта было предложено использовать методику, описанную в работе [9] совместно с тахеометрической съемкой и данными текущего дежурного плана. На данный момент предложение находится на рассмотрении руководства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 31.12.2014) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2015) (29 декабря 2004 г.).
2. Карпик А. П. Системная связь устойчивого развития территорий с его геодезическим информационным обеспечением // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 3–7.
3. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 12–16.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1989. – 286 с: ил.
5. ГОСТ 52439-2005. Модели местности цифровые. Каталог объектов местности.
6. ГОСТ 51606-2000. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования.
7. ГОСТ 51872-2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения.
8. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий / А. С. Толстиков, В. А. Ащеулов, К. М. Антонович, Ю. В. Сурнин // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 2 (18). – С. 3–6.
9. Широкова Т. А., Антипов А. В. Методика создания планов крупного масштаба по данным аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 12–16.

© И. И. Кулага, А. П. Чахлова, 2015

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ ПАМЯТНИКЕ XVII-XVIII ВЕКА «АНАНЫНО»*

Леонид Васильевич Быков

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644008, Россия, г. Омск, ул. Поселковая 2-я, 8, заместитель директора, кандидат технических наук, доцент, тел. (3812)223-973, e-mail: blv-55@yandex.ru

Лариса Вениаминовна Татаурова

Омский филиал Института археологии и этнографии СО РАН, 644077, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 15, кандидат исторических наук, доцент, старший научный сотрудник сектора археологии, тел. (3812)371-748, e-mail: li-sa65@mail.ru

Павел Викторович Орлов

Сибирская автодорожная академия, 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира 5, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (3812)650-755, e-mail: orlov-pv@mail.ru

Алексей Евгеньевич Анисимов

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, Институтская площадь, 2, студент 4-го курса землеустроительного факультета, тел. (3812)652-672, e-mail: alex.anisimov92@mail.ru

Роман Леонидович Полухин

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, Институтская площадь, 2, студент 4-го курса землеустроительного факультета, тел. (3812)652-672, e-mail: arthausforever@mail.ru

Сергей Владимирович Бартенев

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, Институтская площадь, 2, студент 4-го курса землеустроительного факультета, тел. (3812)652-672, e-mail: sergey.bartenev.93@inbox.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по геодезическому сопровождению археологических работ с помощью ГНСС технологий, электронной тахеометрии и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: ГНСС, электронная тахеометрия, аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, фотограмметрия, ортофотопланы, археология.

GEODETTIC WORKS AT THE ARCHEOLOGICAL XVII-XVIII CENTURY «ANANYINO»*

Leonid V. Bykov

Ltd. «Laboratory Automation geodetic and photogrammetric», 644008, Russia, Omsk, Poselkovaya 2-nd, 8, Deputy Director, Ph. D., associate professor, tel. (3812)268-910, e-mail: blv-55@yandex.ru

Larisa V. Tataurova

Omsk branch of Institute of Archaeology and Ethnography of Russian Academy of Sciences, 644077, Russia, Omsk, Marksa 15, Candidate of Historical Sciences, Docent, Senior research associate of sector of archeology, tel. (3812)229-800, e-mail: li-sa65@mail.ru

* «Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00036)».

Pavel V. Orlov

Omsk Siberian state automobile and road academy, 644080, Russia, Omsk, 5 Mira ave., Ph. D, a leading researcher, tel. (3812)650-755, e-mail: orlov-pv@mail.ru

Alexey E. Anisimov

Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, 644008, Russia, Omsk, Institutskaja area, 2, 4-year student of the Faculty of land management, tel. (3812)652-672, e-mail: alex.anisimov92@mail.ru

Roman L. Poluhin

Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, 644008, Russia, Omsk, Institutskaja area, 2, 4-year student of the Faculty of land management, tel. (3812)652-672, e-mail: arthausforever@mail.ru

Sergey V. Bartenev

Omsk State Agrarian University P. A. Stolypin, 644008, Russia, Omsk, Institutskaja area, 2, 4-year student of the Faculty of land management, tel. (3812)652-672, e-mail: sergey.bartenev.93@inbox.ru

The article presents the results of experimental studies on geodetic support archaeological work using GNSS technology, Total Station and aerial photography with UAV.

Key words: GNSS, Total Station, aerial photography, drone, photogrammetry, orthophotos, Archaeology.

В 2004 году, в Тарском районе Омской области, близ села Екатерининское, на берегу озера Ананьино была зафиксирована, как археологический памятник, деревня Ананьино - одно из первых русских поселений на территории Омского Прииртышья. Деревня была основана в начале XVII века. Исследование памятника было начато к. ист. н. Л. В. Татауровой в 2005 году и продолжается до сих пор. Раскопанные комплексы относятся к XVII-XVIII вв.

За весь период работ на памятнике раскопано 1270 м² площади на поселении и 360 м² на кладбище. Изучено два жилищных комплекса, включавшие пять жилищ. Зафиксировано около 1500 индивидуальных находок. Среди них монеты XVIII века, много предметов, относящихся к хозяйственно-бытовому комплексу: земледельческие орудия, охотничьи и рыболовные снасти, бусы, серьги, нательные крестики. Фрагменты изделий из кожи: обуви (чирки, голенище сапога, подошвы), части ремня. Представителен массив керамики, среди которой черно и красно лощеная; лепная и гончарная. Среди массовых находок встречены фрагменты китайского фарфора династий Мин и Цин (XVII-XVIII вв.) [1, 2].

С 2011 года на раскопках стали применяться современные геодезические методы фиксации местоположения находок, а также беспилотная аэрофотосъемка и цифровая фотограмметрическая обработка снимков в целях создания фотопланов, топографических планов, трехмерных моделей и ландшафтных моделей местности [3, 4].

В сезоне 2014 года были внедрены новые технологии, ранее не применявшиеся на данном памятнике. Для геодезического сопровождения раскопок была разработана система полевого кодирования археологических объектов, позволяющая в процессе тахеометрической съемки выполнять первичную классифи-

кацию находок. С целью актуализации ландшафтной модели местности была выполнена аэрофотосъемка памятника с помощью квадрокоптера с различных высот и под разными углами зрения.

Система полевого кодирования основана на использовании классификатора археологических объектов, предложенного авторами [1].

Классификатор был разработан в среде ГИС «Панорама» (рис. 1).

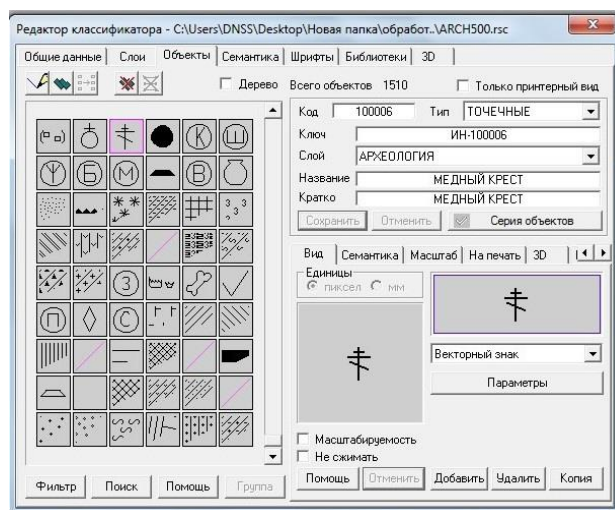


Рис. 1. Классификатор археологических объектов

Технология тахеометрической съемки предусматривает введение кода классификатора для каждого точечного, линейного или площадного объекта. С целью обеспечения совместимости данных, полученных с электронного тахеометра и ГИС, были разработаны прикладные программы. С их помощью исходный файл преобразуется к формату, совместимому с подсистемой импорта данных ГИС. Внедрение методики полевого кодирования позволило с минимальными затратами зафиксировать положение находок. В результате были получены детальные археологические планы.

Аэрофотосъемка выполнялась с целью актуализации ландшафтной модели местности в районе памятника. На сей раз использовался квадрокоптер «Fantom-2» с камерой GoPro hero 3+black edition. Была запроектирована плановая и перспективная съемка. Фотографирование выполнялось с высот: 8.5 м, 20 м, 100 м и 200 м. По плановым снимкам были созданы фотопланы и трехмерные модели местности в различных масштабах, а по перспективным снимкам – круговые панорамы местности, необходимые для последующей реконструкции памятника (рис. 2, 3). Привязка снимков осуществлялась с помощью ГНСС приемников и электронного тахеометра. Опорные точки предварительно маркировались контрастным материалом.

Фотограмметрическая обработка снимков выполнялась в ЦФС «Фотомод», разработка ЗАО «Ракурс» (Москва), и в программном комплексе «Фотоскан», ООО «Геоскан» (Санкт-Петербург).



Рис. 2. Фотопланы раскопа



Рис. 3. Панорамные снимки

В результате геодезических работ были созданы археологические планы, уточнена и детализирована ландшафтная модель местности и получены новые материалы в виде круговых панорам, необходимых для последующей реконструкции памятника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Этнографо-археологические комплексы народов Тарского Прииртышья: природная среда, этносы, источники / М. Л. Бережнова [и др.]. – Омск : Издат. дом «Наука», 2014. Т. 13. – С. 141–142.
2. Адаптация русских в Западной Сибири в конце XVI – XVIII веках (по материалам археологических исследований). / Л. В. Татаурова [и др.]. – Омск : Издатель Полиграфист, 2014. – С. 176–179.
3. Геодезия и ортофотометрия в археологии русских XVII-XVIII веков (на примере комплекса Ананьино-I в Тарском районе Омской области / Л. В. Татаурова [и др.] // Проблемы археологии, этнографии Сибири и сопредельных территорий: материалы итоговой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2013 г. – Новосибирск : Изд-во археологии и этнографии СО РАН, 2014. Т. XIX. – С. 340 – 344.
4. Геодезическое обеспечение археологических работ с применением БПЛА и методов стереофотограмметрии / Л. В. Быков [и др.] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 41–46.

© Л. В. Быков, Л. В. Татаурова, П. В. Орлов, А. Е. Анисимов,
Р. Л. Полухин, С. В. Бартенев, 2015

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)3432955

Виктор Александрович Скрипников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)3432955, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Маргарита Александровна Скрипникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)3432955, e-mail: m.a.skripnikova@ssga.ru

В статье рассмотрены особенности геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора.

Ключевые слова: реконструкция гидрогенератора, электронный тахеометр, вертикальное проектирование.

SURVEYING WORKS FOR HYDROGENERATOR RECONSTRUCTION

Georgy A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Victor A. Skripnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Margarita A. Skripnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55, e-mail: m.a.skripnikova@ssga.ru

Features of surveying works for hydrogenerator reconstruction are considered.

Key words: hydrogenerator reconstruction, total station, vertical plumbing.

В настоящее время на гидроэлектростанция России проводится реконструкция действующих и установка новых гидроагрегатов. Геодезические работы являются необходимой составляющей обеспечения монтажа нового гидроагрегата. При установке новых гидроагрегатов используются технология и допуски, приведённые в [1], [2].

Основными частями гидрогенератора являются турбина и генератор. В основном применяется вертикальная конструкция агрегата, в которой генератор располагается над турбиной. При монтаже гидрогенератора сначала производится монтаж турбины, а затем генератора. При этом центр турбины является базой, к которой затем соответствующим образом присоединяется генератор. При монтаже нового агрегата применяется в настоящее время высокоточные тахеометры. Тахеометр устанавливается над знаком, на котором вынесен центр турбины. По мере монтажа конструкций снизу-вверх знак надстраивают на необходимую высоту. Контрольные измерения по радиусам на горизонтах могут выполняться стрелой, центрируемой над знаком.

При реконструкции агрегатов геодезическое обеспечение монтажа является более сложной задачей, поскольку новое оборудование устанавливается совместно с установленными частями.

Для обеспечения реконструкции гидрогенератора при замене только турбины авторами работы [3] разработана технологическая схема проведения инженерно-геодезических измерений, которая включает в себя:

- определение вертикальности стенок статора генератора;
- измерение диаметра статора генератора по трём направлениям (три диаметра);
- определение положения центра статора генератора;
- перенос центра статора генератора вниз на уровень низа лопастей турбины;
- перенос центра опорного кольца турбины вниз на уровень низа лопастей турбины;
- определение высотного положения опорного кольца турбины;
- установка в проектное положение камеры турбины.

По разработанным методикам был выполнен монтаж двух гидроагрегатов. Рассмотрим основные проблемы при определении геометрического центра статора и его переноса на уровень низа камеры рабочего колеса при замене только турбины.

Фиксация центра статора выполнялась методом пересечением трёх струн. Высота горизонта натянутых струн определялась с учетом вертикальности стенок статора. Так как гидрогенераторы длительное время были в эксплуатации, то возможны деформации статора которые приводят к изменению радиуса статора и наклона его стенок. Данный фактор влияет на величину воздушного зазора между ротором и стенками статора. Причём на разных участках статора этот зазор будет разным. Поэтому при нахождении центра статора необходимо учитывать величину наклона его стенок и изменения радиуса.

На статоре первого гидрогенератора минимальные отклонения стенок от вертикали, относительного верхнего яруса были на середине статора. Этот уровень и был выбран для натяжения струн. На втором гидрогенераторе отклонения от вертикали были более значительны. Поэтому для натяжения струн были выбраны два уровня. Положение диаметров определялось серединами шести секторов статора. Величины сторон треугольника ошибок в месте пересечения струн не превышали 1,0 мм.

Прибор вертикального проектирования центрировался снизу под пересечением струн. Для второго статора смещение центра статора при смене гори-

зонта натяжения струн составило около 2.0 мм, что является предельным значением при определении центра статора. Для выбора центра статора в этом случае может быть несколько вариантов.

Первый вариант предусматривает определение среднего положения центра статора из двух и более горизонтов натяжения струн. Однако, в этом случае, из-за эллиптичности статора треугольник ошибок в точке пересечения струн может быть вытянутым и быть более 1 мм, что затруднит определение центра.

Для контроля эллиптичности кольца статора было выполнено измерение высокоточным тахеометром диаметров статора с верхней плиты фундамента генератора вдоль струн на четырёх горизонтах по схеме, приведённой на рис. 1. Разность диаметров статора по горизонтам достигает 5.0 мм, что подтверждается результатами измерений вертикальности стенок статора и должно учитываться при выборе горизонта для крепления струн.

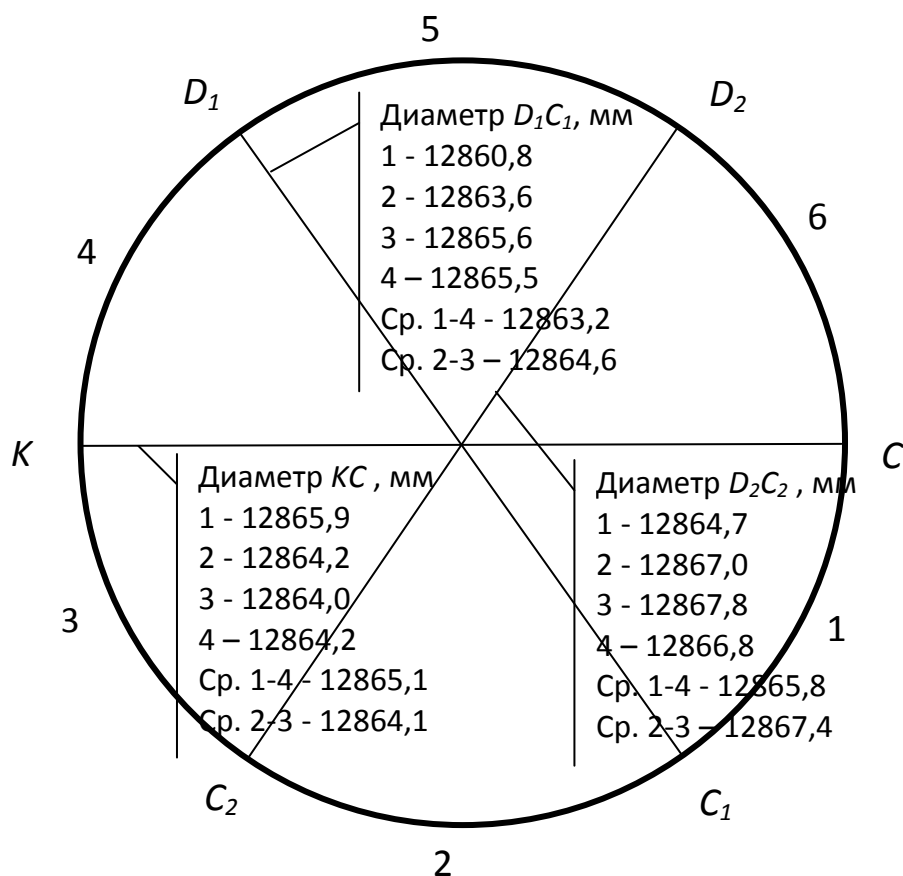


Рис. 1. Длины диаметров статора

Второй вариант предусматривает исполнительную съёмку статора по точкам фиксации вертикальности статора с применением высокоточного электронного тахеометра. Для этого на верхней плите фундамента генератора создаётся линейно-угловая сеть в виде геодезического четырехугольника.

В работах [4], [5] предлагаются методика измерений на станции и схема построения малых линейно-угловых сетей с применением высокоточных тахео-

метров. Экспериментальные измерения на макете сети показали, что точность определения взаимного положения пунктов, при применении тахеометра ТМ30 составит около 1 мм, что не превышает допуск для определения центра статора.

По полученным измерениям в САПР создаётся трёхмерная модель статора, по которой определяется, с учётом величины зазора между стенками статора и ротором, центр статора и места крепления струн.

Третий вариант фиксации центра статора основан на том, что до момента реконструкции гидрогенератор находился в рабочем состоянии и величины вибрации ротора не превышали допусков. Следовательно, необходимо при демонтаже генератора зафиксировать центр вала генератора с помощью струн. Этот вариант можно использовать в качестве контрольного для первого или второго варианта определения центра статора.

Как показал опыт работ, при определении центра опорного кольца турбины, необходимо выполнить контрольное определение центра по результатам исполнительной съёмки опорного кольца с применением электронного тахеометра по методике определения центра статора.

В качестве рекомендаций для выполнения измерений в шахте гидроагрегата следует отметить следующее:

- измерения следует выполнять только при остановленных соседних гидроагрегатах;
- знак, на котом отмечен центр статора, должен быть закреплён в камере рабочего колеса независимо от крепления пола;
- для вертикального проектирования центра статора на уровень низа камеры рабочего колеса, из-за высоких электромагнитных полей, не рекомендуется использовать электронные приборы, при работах хорошо показал себя оптический PZL.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические условия на монтаж гидрогенераторов / Минэнерго СССР. – М.: Информэнерго, 1975. – 123 с.
2. Агеев Ю. Н., Богданов Н. Н. Ремонт гидрогенераторов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд., 1982. – 200 с.
3. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Технологическая схема геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 46–51.
4. Скрипникова М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 131–134.
5. Скрипников В. А. Создание высокоточных малых линейно-угловых сетей с применением электронных тахеометров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 3. – С. 87–91.

© Г. А. Уставич, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, 2015

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДВИЖКИ АРКИ БУГРИНСКОГО МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ОБЬ

Петр Павлович Мурзинцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: petermur329@inbox.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, аспирант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Антон Викторович Никонов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: sibte@bk.ru

Рассмотрена технология ГНСС-измерений для обеспечения надвижки двух полусводов арочной металлической конструкции. Анализируется выбор контрольных точек и особенности геодезического обеспечения монтажа.

Ключевые слова: ГНСС-технологии, геодезическое обеспечение монтажа арочной металлической конструкции и двухсторонней надвижки.

GNSS-TECHNIQUES FOR SLIDING ARCH OF BUGRINSKY BRIDGE OVER OB RIVER

Petr P. Murzintsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55, e-mail: petermur329@inbox.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Post-graduate student, Department of Physical Geodesy and Remote, tel. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Anton V. Nikonov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Post-graduate student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55, e-mail: sibte@bk.ru

GNSS-measurements technique for sliding two semidomes of metal arch construction is considered. The choice of control points and features of geodetic support of mounting process are analyzed.

Key words: GNSS-techniques, geodetic support of metal arch construction mounting and two-way sliding.

В 2014 году коллекцию уникальных инженерных сооружений города Новосибирска пополнил еще один объект – пятый мост через великую сибирскую реку Обь. Полная длина мостового перехода с подходами по пойме реки составила 2091,2 м. За начальную точку моста приняли точку на задней грани шкафной стенки устоя № 1 – на левом берегу (ПК 109+33,66). За конечную точку, взята точка, на задней грани открылка устоя №30 (ПК 130+24,86) – на приемыкании насыпи на правом берегу).

В качестве автотранспортной артерии мегаполиса мост запроектирован, как магистральная улица общегородского значения непрерывного движения с расчетной скоростью 100 км в час.

Главной конструктивной особенностью мостового перехода, безусловно, является его уникальная металлическая арка. Длина арочного пролетного строения составляет 380 метров. (Арка - крупнейшая для стран СНГ и вторая аналогичной конструкции в мировом мостостроении, а если учесть экстремальные условия строительства и эксплуатации в Западной Сибири, то можно представить всю сложность решаемых задач, возникающих перед специалистами). Затяжка арки состоит из двух стальных коробчатых и двух главных стальных балок двутаврового сечения. Проезжая часть пролетного строения представляет из себя - металлическую ортотропную плиту, шириной 34.56 м. Стрела подъема комбинированной арки с затяжкой составила 74 м.

Надвижка арочного пролетного строения Бугринского моста выполнялась с использованием двухчастотных ГНСС приёмников Triumph-1 американской фирмы JAVAD в режиме реального времени (RTK) в местной системе координат (в СК арочного пролётного строения), в которой ось X совмещалась с осью арочного пролетного строения - от опоры 5 на опору 6. Достоинством этой условной системы координат является тот факт, что при определении прямоугольных координат «сразу» видны отклонения от оси X (совпадающей с осью опоры 5) и от оси Y.

Для обеспечения работы в режиме RTK каждый ГНСС приёмник оснащался SIM-картой, поддерживающей дополнительную опцию статического IP. В результате появилась возможность управления и получения данных с приёмников от удалённого компьютера со специализированным программным обеспечением, подключенным к сети Интернет. Если под «стандартной» надвижкой можно понимать технологический процесс надвижки пролетного строения с одного берега на другой, то в случае монтажа арки Бугринского моста следует отметить ряд особенностей. Надвижка осуществлялась с обоих берегов навстречу двух многотонных металлических конструкций друг другу. Успех этого важнейшего технологического процесса во многом определялся эффективной работой геодезической службы. На рис. 1 показан фрагмент надвижки полусводов металлической арки.

Технология надвижки с использованием ГНСС технологий в режиме реального времени включала в себя несколько этапов. Приёмники устанавливались на двух полусводах арки, и крепились к аванбекам специальными крепежами, обеспечивающими их вертикальность и неизменность планового положения в любой момент надвижки (рис. 2).



Рис. 1. Надвижка полусводов арки



Рис. 2. Установка приёмников ГНСС на двух полусводах арки

Два спутниковых приёмника устанавливались на подходах к мосту, на пунктах с известными координатами (в системе координат арочного пролётного строения) (рис. 3).

Далее выполнялась процедура запуска приёмников, вначале базовых, затем мобильных. При запуске базовой станции задавались координаты известного пункта в местной системе координат арочного пролётного строения. Процедура запуска приёмников выполнялись на контроллере, который подключается к нужному устройству через соединение Bluetooth.

После запуска приёмников в режиме RTK базовый приёмник начинал передачу корректирующих данных, которые записывались отдельным файлом и передавались в программу обработки (JAVAD Justin) при подключении через Интернет. Данные с роверов по протоколу NTRIP поступали на компьютер в программный комплекс Javad Justin.



Рис. 3. Пункт с известными координатами (база)

В программном комплексе Javad Justin вычислялись положения мобильных приёмников в СК арочного пролётного строения и затем сравнивались с проектными.

Дополнительно производился контроль перемещения пролётного строения с использованием электронного тахеометра со стороны опор, на которые производится надвижка (рис. 4).



Рис. 4. Контроль перемещения пролётного строения с использованием электронного тахеометра LeicaTS 06

Согласно проекту, монтаж арочного пролетного строения должен был производиться в 18 стадий. При этом величина смещения надвигаемого пролетного строения с оси мостового перехода не должна превышать 100 мм.

Некоторые геометрические параметры, характеризующие Бугринский мост, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические параметры Бугринского моста

Наименование участка	Границы	Схема (расчетные пролеты)	Длина, м
Левобережный пойменный участок	Опора 1, ПК 109+33,66 Опора 5, ПК 112+29,99	62,5+2x78+74,4	296,33
Русловой участок (арочная часть)	Опора 5, ПК 112+29,99 Опора 6, ПК 116+10,85	380	380,86
Правобережный пойменный участок	Опора 6, ПК 116+10,85 Опора 30, ПК 130+24,86	(77,5+2x78+74,5)+ (59,5+4x66+59,5)+ (74,5+105+74,7)+ 2x(41,5+2x42+41,5)+ (41,5+42+36,1)	1414,01

После каждого этапа производили геодезический контроль по заранее выбранным и закрепленным точкам. Контроль осуществлялся по 8 накерненным точкам на крайней паре блоков, видимых после надвижки на стапеле (по 4 точки на каждый блок), по 2-ум наклеенным отражательным маркам на первых блоках (ближайших к аванбеку), и по 2-ум отражательным маркам, наклеенным на аванбеке (осевая и контрольная), для проверки положения оси арочного пролетного строения.

Требования к точности геодезических работ, и непрерывному координатному обеспечению строительно-монтажных работ удалось выполнить, во многом благодаря эффективному применению ГНСС технологий.

8 октября 2014 года с участием Президента РФ Бугринский мост был успешно сдан в эксплуатацию.

За предоставленный материал авторы выражают глубокую признательность заместителю главного геодезиста ОАО «Сибмост» Савинову Владимиру Ильичу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М., Карпик А. П. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 53–66.
2. Мурзинцев П. П. Возможности применения спутниковых навигационных систем при монтаже пролетных строений // Науч.-техн. конф. преподавателей СГГА, 1996. – С. 90.
3. Мурзинцев П. П. Геодезическое обеспечение мониторинга мостовых переходов в Новосибирской области // Геомониторинг на основе соврем. технологий сбора и обработки информации, посвящ. 90-летию К. Л. Проворова: тез. докл. – Новосибирск: СГГА, 1999. – С. 92.
4. Мурзинцев П. П., Казаненко Н. А. Применение геодезических приемников для обеспечения строительства опор моста через пролив Босфор «Восточный» на остров «Русский» в г. Владивосток // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 155–160.

© П. П. Мурзинцев, Н. С. Косарев, А. В. Никонов, 2015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЯ НА СТАНЦИИ ЦИФРОВЫМ НИВЕЛИРОМ

Антон Викторович Никонов

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

Екатерина Леонидовна Соболева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Надежда Михайловна Рябова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Татьяна Михайловна Медведская

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье приведены результаты лабораторных исследований, в ходе которых была определена средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции цифровым нивелиром DiNi 0.3 для плеч нивелирования 48, 26 и 11 м.

Ключевые слова: цифровой нивелир, средняя квадратическая ошибка, точность.

DETERMINATION OF MSE FOR HEIGHT DIFFERENCE MEASUREMENT BY DIGITAL LEVEL AT THE STATION

Anton V. Nikonov

«Sibtechenergo», 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaya St., Geodetic engineer, e-mail: sibte@bk.ru

Ekaterina L. Soboleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Nadezhda M. Ryabova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55, e-mail: ryabovanadezhda@mail.ru

Tatyana M. Medvedskaya

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

The results of laboratory research are presented. In process of work, MSE of height difference measurement by digital level DiNi 0.3 at the station was determined. (for leveling lines 48, 26 and 11 m).

Key words: digital level, mean square level (MSE), accuracy.

В настоящее время для выполнения прецизионного нивелирования широко применяются системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки». В работах [1, 2] предложены программы наблюдений на станции при выполнении государственного и инженерного нивелирования с использованием цифровых нивелиров. На данный момент проведено заметное количество исследований, посвященных метрологическому обеспечению системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» как за рубежом [3-5], так и у нас в стране [6-9, 26]. Ряд работ посвящен влиянию освещенности, вибраций и рефракции на точность измерений цифровыми нивелирами [10-12, 23–25].

Основной метрологической характеристикой нивелира является средняя квадратическая ошибка (СКО) на 1 км двойного хода, которая указывается в паспорте прибора и свидетельстве о поверке. Методика определения указанной ошибки изложена в работах [13, 14]. Однако, в инженерно-геодезических работах принято использовать СКО измерения превышения на станции ($m_{ст}$), которая в соответствии с Методикой [14] определяется при первичной поверке инструмента. По величине ошибки $m_{ст}$ можно судить о пригодности нивелира к выполнению работ требуемой точности, а также выбирать оптимальную длину плеч при проектировании схем нивелирных ходов.

Целью наших исследований является определение зависимости СКО измерения превышения на станции от длины плеч. Ошибка $m_{ст}$ определялась для расстояний от нивелира до реек 48, 26 и 11 м. Для проведения исследований в подвальном помещении со стабильным температурным режимом ($t=+18^{\circ}\text{C}$) были закреплены две жесткие точки (дюбели, забитые в бетонный пол на расстоянии 2 м друг от друга). Первоначально, превышение между дюбелями было измерено нивелиром Konі-007 (ГДР) в два горизонта при длине плеч 5 м. Нивелирование производилось по двум шкалам инварной рейки с отсчитыванием до десятой доли деления отсчетного барабана. Каждый штрих дважды совмещался с биссектором. Полученное таким образом превышение составило $h=3,46\pm 0,013$ мм и было принято за эталонное.

В дальнейшем на дюбеля посредством кронштейнов устанавливались две штрих-кодовые рейки, которые в течение всего эксперимента сохраняли неизменно свое вертикальное положение (рис. 1). Превышение между дюбелями измерялось цифровым нивелиром DiNi-03 ($m_{км}=0,3$ мм). При каждом наведении на рейку брался только один отсчёт. Следует отметить, что на производстве, как правило, используется трехкратное взятие отсчетов при наведении на рейку. Однако, это не ведет к существенному повышению точности и используется для исключения сбоев электронной системы нивелира или грубых ошибок, связанных с одномоментными воздействиями внешней среды (порыв ветра, вибрация от проезжающего транспорта и пр.).



Рис. 1. Схема закрепления штрих-кодовых реек

Измерения выполнялись в соответствии с требованиями Методики [14]. Для расстояния 48 м было выполнено десять серий измерений (в каждой по 10 приемов); для расстояний 10 и 25 м – выполнено по 5 серий. Горизонт нивелира менялся на $5 \div 50$ мм перед каждым приемом и переходом к новой серии: подъемными винтами, либо изменением длины ножек штатива. Средние квадратические ошибки подсчитывались отдельно для каждой серии по формуле Гаусса (по отклонениям превышений от эталонного значения). Окончательно СКО определения превышения на станции вычислялась по формуле [14]:

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k m_i^2}{k}}, \quad (1)$$

где k – число серий; m_i – СКО превышения для i -ой серии.

Ошибка самой ошибки вычислялась по формуле

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2r}}, \quad (2)$$

где r – число избыточных измерений.

Результаты оценки точности выполненных измерений представлены в табл. 1. На рис. 2 показано как изменялось значение превышения в процессе выполнения 100 приемов. Значения превышения преобразовывались в статистический ряд, и затем по критерию Пирсона проверялась нулевая гипотеза о нормальности генеральной совокупности. Вычисленное эмпирическое значение критерия Пирсона $\chi^2_3 = 3,7$ не выходит за теоретический интервал

$\chi^2_T = [0,8; 12,8]$, полученный на уровне значимости $\alpha=0,05$ [15]. Следовательно, нулевая гипотеза не отвергается, то есть ошибки измерения превышения подчинены нормальному закону распределения (рис. 3).

Таблица 1

Результаты оценки точности измерений цифровым нивелиром DiNi 0.3

Расстояние, м	$h_{\text{ср}}$, мм	Число из- мерений n	$m_{\text{ст}}$, мм	m_m , мм	$h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$, мм
10	3,465	50	0,018	0,002	0,09
25	3,453	50	0,049	0,005	0,20
48	3,463	100	0,114	0,008	0,59

Из таблицы 1 видно, что при расстоянии до реек менее 25 м СКО измерения превышения в лабораторных условиях не превышает 0,05 мм. При нормальной для I класса длине плеч 50 м ошибка на станции равна 0,11 мм, хотя максимальные отклонения от эталонного значения могут достигать 0,35 мм даже в лабораторных условиях.

Рассмотрим результаты исследований, выполненных другими авторами. В статье [16] проводилось сравнение точности взятия отсчетов по рейке двумя нивелирами: Ni-007 и Trimble DiNi (т.е. такими же приборами, что и в нашем опыте). Принимались следующие расстояния от нивелира до рейки: 4,2 м; 10,1 м; 15,2 м; 21,4 м и 28,7 м. Для каждого расстояния выполнялось 25 отсчетов, а СКО подсчитывались по формуле Бесселя. Измерения, выполненные цифровым нивелиром, оказались на 10–15% точнее, чем оптическим. Средние квадратические ошибки взятия отсчета цифровым нивелиром для упомянутых расстояний оказались равными 0,015 мм; 0,025 мм; 0,030 мм; 0,040 мм и 0,050 мм соответственно. Ошибки измерения превышения на станции ожидаются в $\sqrt{2}$ большими. Например, для расстояний 10 м и 25 м они составят 0,03 мм и 0,06 мм, что вполне согласуется с нашими результатами из табл. 1.

В работе [17] приведен график зависимостей СКО измерений превышений на одну станцию от длины плеч. Данные получены в лабораторных условиях для оптических нивелиров, предназначенных для нивелирования I класса. Ошибки для расстояний 10 м, 25 м и 50 м составили соответственно 0,10 мм, 0,16 мм и 0,31 мм.

Из сопоставления точности измерений оптическими и цифровыми нивелирами в лабораторных условиях, приходим к выводу, что применение систем «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» позволяет повысить точность результатов примерно в три раза. Очевидно, это связано с тем, что при электронной фиксации отсчетов по рейке исключаются субъективные ошибки наблюдателя [18]. Однако, не следует забывать, что влияние на точность взятия отсчета некоторых неблагоприятных факторов [10–12], которые имеют место в реальных производственных условиях, может быть разным для оптических и электронных систем.

В табл. 2 приведем данные исследований нескольких оптических нивелиров, выполненные на полигоне НИИГАиК [19]. В табл. 3 поместим средние квадратические ошибки измерения превышений цифровым нивелиром DiNi в полевых условиях. Данные табл. 3 получены, как СКО отсчетов по рейке из работы [16], умноженные на $\sqrt{2}$.

Таблица 2

Результаты определения СКО измерения превышения на станции [19]

Нивелир	Средние квадратические ошибки $m_{ст}$ (мм) в зависимости от d (м)					
	5	10	20	30	40	50
НА-1	0,08	0,12	0,18	0,22	0,24	0,28
Н1	0,03	0,04	0,06	0,08	0,12	0,18
Koni-007	0,02	0,03	0,07	0,14	0,20	0,23
Ni-B5	0,04	0,06	0,12	0,23	0,29	0,35

Таблица 3

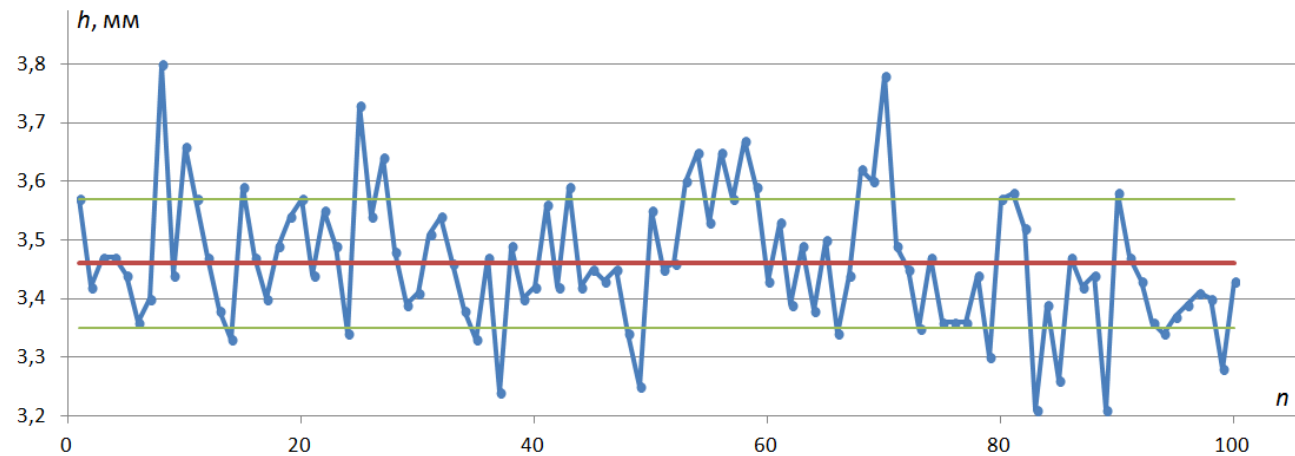
Результаты определения СКО измерения превышения нивелиром DiNi [16]

Положение Солнца	Средние квадратические ошибки $m_{ст}$ (мм) в зависимости от d (м)					
	5	10	15	20	25	30
лицом к Солнцу	0,11	0,13	0,19	0,21	0,28	0,32
спиной к Солнцу	0,05	0,09	0,11	0,18	0,23	0,30

Из сопоставления данных табл. 2 и 3, можно сделать вывод, что в полевых условиях система «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» дает худшие результаты, в сравнении с классическими нивелирами. Хотя переход от ошибки взгляда к ошибке измерения превышения на станции с использованием коэффициента $\sqrt{2}$, мог несколько занизить точность измерения цифровым нивелиром. В статье [20] приведены результаты исследований электронной измерительной системы (DiNi 12) и уровенного нивелира (Wild N3). После проложения опытных высотных ходов одновременно двумя нивелирами авторы [20] пришли к выводу, что использование DiNi 12 дает более точные результаты, чем Wild N3 ($\pm 0,26$ мм/км против $\pm 0,39$ мм/км).

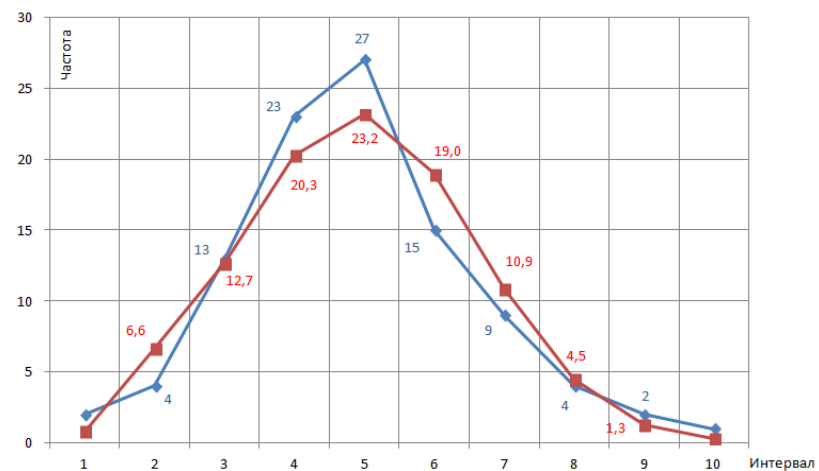
Для того чтобы сделать более объективные выводы о точности измерительной системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» необходимо произвести дополнительные исследования в полевых условиях.

Особый интерес представляет точность измерения превышения на станции цифровым нивелиром при длине плеч порядка 50 м, так как именно это расстояние принято считать оптимальным при выполнении государственного нивелирования I класса [21, 22].



зеленым – показан интервал $\pm\sigma$; красным – среднее значение превышения (3,46 мм)

Рис. 2. График изменения значений превышения для $S=48$ м



синим – эмпирический многоугольник распределения частот; красным – нормальная кривая

Рис. 3. Результат исследования статистического ряда ($n=100$) на нормальность распределения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич Г. А., Шаульский В. Ф., Винокурова О. И. Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования I, II, III и IV классов // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 5–11.
2. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования / Г. А. Уставич, С. В. Демин, Е. Л. Шалыгина, Я. Г. Пошивайло // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 6–13.
3. Takalo M., Rouhiainen P. Developmant of a system calibration comporator for digital levels in Finland // Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research. – 2004. – vol. 1. – PP. 119–130.
4. Scale determination of digital leveling systems using a vertical comparator / H. Woschitz, F.K. Brunner, H. Heister. FIG XXII Congress Washington, D.C. USA, April 2002.
5. Investigations of digital levels at the slac vertical comparator / G. Gassner, R. Ruland, B. Dix. IWAA 2004, CERN, Geneva, 4-7 October 2004.
6. Голыгин Н. Х., Лазуткин А. М., Пегливанян Г.Г. Исследование погрешности измерений цифровых нивелиров DINI-03 и DINI-12 с инварными штрих-кодowymi рейками // Приборы. – 2009. – № 4. – С. 52–56.
7. Установки для определения погрешности измерительной системы «цифровой нивелир – кодовая рейка» / А. В. Куликов, В. Т. Новоевский, А. А. Ильин, А. Н. Носов, К. В. Тукмачёв // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 242–245.
8. Определение средней длины метровых интервалов у штрих-кодowych реек на интерференционном компараторе СГГА / А.В. Куликов, А.А. Ильин, В.Т. Новоевский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 246–249.
9. Черепанов П. А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир + две штрих-кодowych рейки» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 119–122.
10. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.
11. Кузьмич А. И., Богданов С. С. Исследования влияния вибраций на современные цифровые нивелиры // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 18–21.
12. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // Геодезия и картография. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
13. Хасенов К. Б., Рахымбердина М. Е. Методика определения средней квадратической погрешности измерения превышения на 1 км хода на полевом компараторе в стесненных условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 128–132.
14. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института . – М.: ЦНИИГАиК, 1990. – 52 с.
15. Падве В. А. Элементы теории вероятностей и математической статистики: учеб. пособ. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 209 с.

16. Investigating the accuracy of digital levels and reflectorless total stations for purposes of geodetic engineering / Ashraf A.A. Beshr, Islam M. Abo Elnaga // Alexandria Engineering Journal. – 2011. – 50. – PP. 399–405.
17. Жуков Б. Н., Жуков Н. Б. Предложения о создании единой инструкции по нивелированию для инженерно-геодезических работ // Геодезия и картография. – 1998. – № 8. – С. 22–26.
18. Энгельс И. Л. Влияние психологического фактора на точность геодезических измерений // Геодезия и картография. – 1985. – № 2. – С. 30–33.
19. Зеленский А. М. Использование насадки ДНТ при исследовании нивелиров // Геодезия и картография. – 1972. – № 4. – С. 35–38.
20. On calibration of Zeiss DiNi12 [Электронный ресурс] / M. Takalo, P. Rouhiainen, P. Lehmuskoski, V. Saaranen. Режим доступа: http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/fullpapers/pdf/ws_com5_1/takalo-rouhiainen-lehmuskoski-saaranen.pdf
21. Нивелирование I и II классов (практическое руководство) / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1982. – 264 с.
22. Лысов Г. Ф. Об оптимальных расстояниях от нивелира до реек // Геодезия и картография. – 1975. – № 10. – С. 23–25.
23. Рябова Н. М., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 19–24.
24. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
25. Овчинников С. С. Влияние электромагнитных полей на точность показаний электронных геодезических приборов // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 18–23.
26. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г.А. Уставич и др. // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.

© А. В. Никонов, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, Т. М. Медведская, 2015

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ПОВЕРОЧНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И ТАХЕОМЕТРОВ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Антон Викторович Никонов

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

В статье предложено включить в локальную поверочную схему для средств измерения превышений электронные тахеометры. Описан высотный стенд для определения СКО измерения превышения на станции и на 1 км двойного хода.

Ключевые слова: локальная поверочная схема, тахеометр, нивелирование, точность.

IMPROVEMENT LOCAL VERIFICATION SCHEME FOR CALIBRATION LEVELS AND TOTAL STATIONS

Georgy A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaja St., engineer surveyor, e-mail: sibte@bk.ru

Key words: local verification scheme, total station, leveling, accuracy.

Для поддержания стабильности работы геодезических приборов необходимо проводить систематический контроль геометрических и оптико-механических характеристик, положенных в основу конструкции этих приборов и максимально устранять выявленные несоответствия в процессе эксплуатации [1]. Стабильность – качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик [2].

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (в частности при осуществлении геодезической и картографической деятельности), подвергаются поверкам. Под поверкой понимается совокупность операций, выполняемая для подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям [3]. Различают первичную и периодическую поверки. Первая осуществляется при выпуске средства измерений из производства (ремонта), вторая – при

эксплуатации или хранении средства измерений через установленные интервалы времени [4].

Применяемые в геодезическом производстве приборы относятся к рабочим средствам измерений (РСИ), т.е. предназначены для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Поверка и калибровка РСИ производится с помощью рабочего эталона (РЭ), а поверка рабочего эталона – с помощью исходного эталона (ИЭ) в соответствии с нормативными документами. Поверочная схема устанавливает соподчинение ИЭ, эталонов, заимствованных из других поверочных схем, РЭ и РСИ, указывает их погрешности и методы передачи размеров единиц физических величин от РЭ к РСИ при проведении поверочных работ [5]. По области применения поверочные схемы подразделяются на государственные и локальные (ЛПС). Локальные схемы предназначены для применения в масштабе отрасли или отдельного предприятия.

В Руководящем документе [5] представлены поверочные схемы для средств измерений углов, длины, приращений координат, превышений, азимута направления и ускорения силы тяжести. С момента введения указанной поверочной схемы [5], прошло 15 лет. За это время в геодезическом производстве получили распространение новые электронные приборы: цифровые нивелиры (ЦН), электронные тахеометры, лазерные сканеры и др. Это обстоятельство требует уточнения существующих поверочных схем. Например, в статье [6] для обеспечения поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка» предлагается новая поверочная схема. Данное предложение обусловлено тем, что исследование отдельно штрих-кодированной рейки и цифрового нивелира, как это предполагает существующие ЛПС [5], чрезвычайно сложно и не всегда оправдано. В статье [16] отмечается, что совместная калибровка системы «ЦН–штрих-кодированная рейка» даже предпочтительнее, чем независимая калибровка рейки, так как найденные в ходе совместной калибровки поправки, могут непосредственно учитываться при выполнении нивелирования.

В работах [7-11, 17–19] нами было установлено, что тригонометрическое нивелирование электронными тахеометрами может соответствовать по точности геометрическому нивелированию III и IV классов. Поскольку при исследованиях точности тригонометрического нивелирования труднодостижимо задействовать все существующие на сегодняшний день модели электронных тахеометров [20, 21], необходимо установить универсальную методику проведения поверок.

Электронные тахеометры по классификации относятся к комбинированным приборам, т.е. могут применяться для измерения углов и расстояний. Поэтому тахеометры включены как в ЛПС для средств измерения угла, так и в ЛПС для средств измерений длины в диапазоне до 30 км. Инструкция [12] предусматривает для тахеометров проведение поверок отдельно для угломерного и дальномерного блоков. Точностные характеристики современных электронных тахеометров ($m_a < 2''$, $m_s < 5$ мм) позволяют определять по измеренным вертикальным углам и наклонным дальностям превышения с ошибкой от 0,2

мм до 2 – 3 мм при расстояниях до визирных целей 5 – 300 м. В связи с этим, если тахеометром предполагается выполнять тригонометрическое нивелирование, необходимо проверять совместную работу его угломерного и дальномерного блоков. Для этого мы предлагаем дополнить существующую ЛПС для средств измерений превышений [5], включив в нее электронные тахеометры (рис. 1).

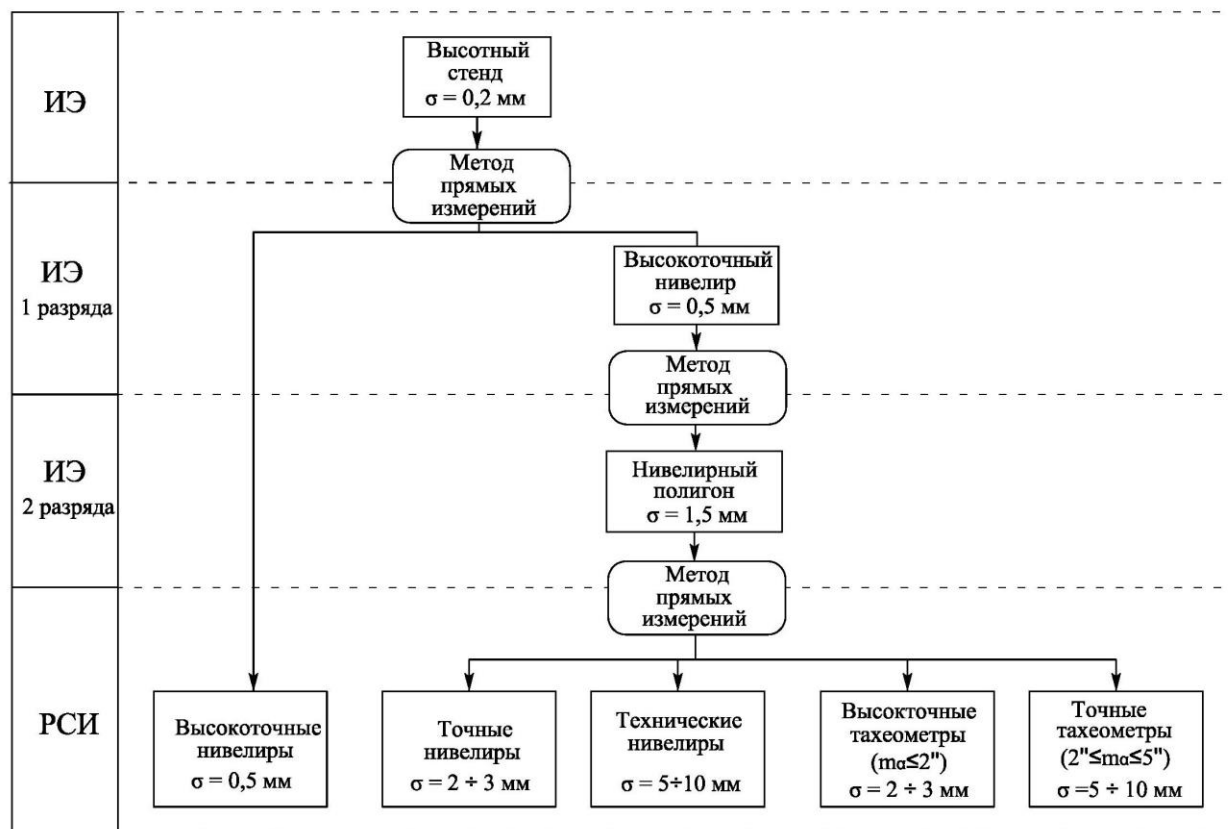


Рис. 1. Локальная поверочная схема для нивелиров и тахеометров

По аналогии с поверкой нивелиров, нами предлагается определять для тахеометров такие метрологические характеристики, как средние квадратические ошибки (СКО) измерения превышения на станции и на один километр двойного хода. Допустимая СКО измерения превышения на 1 км задается: 3 мм для высокоточных тахеометров, которыми предполагается выполнять нивелирование III класса и 7 мм для точных тахеометров (для нивелирования IV класса). Средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции будет несколько больше, чем для нивелиров, так как тригонометрическое нивелирование предполагается выполнять плечами до 250 м.

Определить СКО на станции и на 1 км хода можно на полевых стендах. В работах [13, 14] описан классический полевой стенд для поверки нивелиров. Стенд представляет собой нивелирную сеть, включающую четыре репера, которые заложены в углах правильного четырехугольника. Применение такого

стенда для поверки тахеометров возможно лишь в случаях, когда предполагается выполнять нивелирование плечами 50 – 100 м. При длине плеч нивелирования 200 м расстояние между реперами составит ~400 м. Практическая реализация полевого стенда при столь значительном расстоянии между реперами может оказаться затруднительной. По аналогичным причинам для наших целей не может быть принят круговой стенд [15]. Более реализуемым для поверки тахеометров является полевой стенд для стесненных условий, описанный в работе [15].

Для определения ошибки измерения превышения на 1 км двойного хода мы предлагаем выполнять измерения по следующей схеме (рис. 2). Выбирается прямоугольный участок местности длиной 150 – 250 м, шириной 30 – 40 м с однородной подстилающей поверхностью. В точках 1 – 4 устанавливают в шахматном порядке отражатели на деревянных штативах (рис. 3, а). Высота отражателей над поверхностью земли выбирается в пределах от 1,3 до 1,7 м. Высоты отражателей над поверхностью земли могут быть приблизительно одинаковыми. Если в ходе измерений планируется исследовать влияние вертикальной рефракции в зависимости от высоты отражателя, то соответственно высоты отражателей принимают разными, но не ниже 1,3 м над землей. Предлагается использовать адаптеры трегера в виде штока, на который может быть установлена нивелирная рейка длиной 1 м (рис. 3, б). Превышения между верхними частями адаптеров (или что одно и то же: между горизонтальными осями отражателей) определяют методом высокоточного геометрического нивелирования при длине плеч порядка 5 м. Превышения измеренные нивелиром принимают за эталонные ($m_h < 0,10$ мм).

При создании постоянного полевого стенда вместо штативов можно использовать металлические или бетонные тумбы с площадкой для установки трегера. Расположение отражателей в шахматном порядке имитирует неравенство плеч на станции 5 м, при этом накопление неравенства плеч при нивелировании в ходе 1–2–3–4–1 составляет 0 м. Измерения предлагается выполнять с разных станций, чтобы приблизить условия измерений к полевым и обеспечить независимость измеряемых превышений.

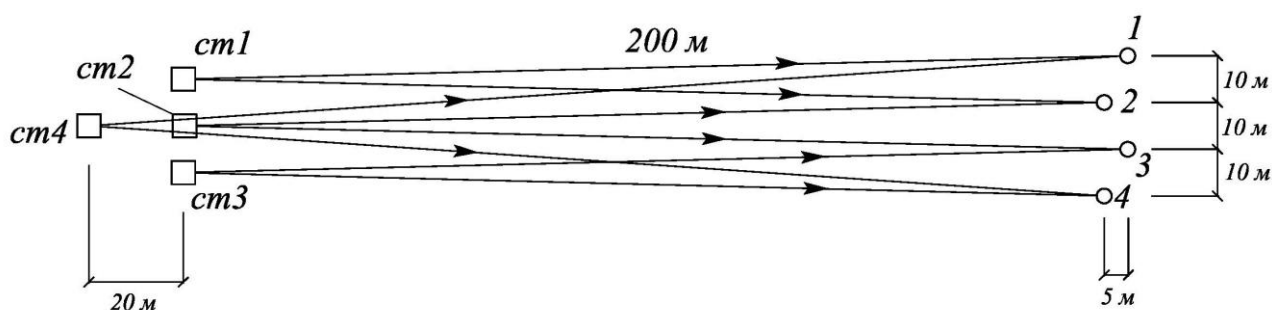


Рис. 2. Схема полевого высотного стенда для поверки тахеометра

Тахеометр устанавливается последовательно на станциях $ст1$, $ст2$, $ст3$ и $ст4$, с которых измеряются превышения h_{1-2} , h_{2-3} , h_{3-4} , h_{4-1} соответственно. Измерение превышений в порядке 1–2–3–4–1 составляет ход в прямом направлении. Затем со станции 4 после изменения горизонта инструмента, прокладывают ход в обратном направлении: 1–4–3–2–1. На этом заканчивается первая серия измерений, а длина двойного хода составляет примерно 1620 м. Поскольку длина хода должна быть не менее 10 км [13] выполняют не менее 6 серий измерений.

Указанную поверку следует считать первичной, т.е. выполняемой однократно при вводе прибора в эксплуатацию (после покупки или ремонта). Полную поверку (ход 10 км) целесообразно проводить для одного прибора данного производителя и модельного ряда. Остальные экземпляры приборов данного модельного ряда могут поверяться по укороченной программе (2 – 4 серии измерений).

Измерения на станции необходимо выполнять в два приема по одной из следующих программ:

- 1) $З_{кл} П_{кл} П_{кп} З_{кп}; З_{кл} П_{кл} П_{кп} З_{кп}$,
- 2) $З_{кл} З_{кп} П_{кп} П_{кл}; П_{кп} П_{кл} З_{кл} З_{кп}$.

Ведомость измерений, выполненных на полевом стенде, представлена в табл.

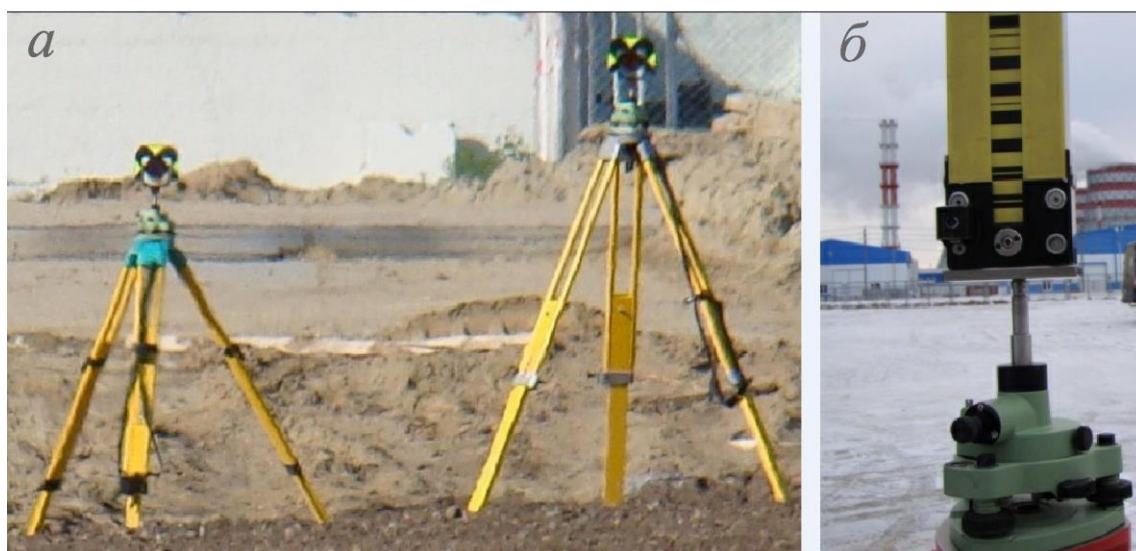


Рис. 3. Схема установки отражателей при проведении поверки

Средняя квадратическая ошибка измерения превышения на 1 км двойного хода подсчитывается по формуле [13, 14]:

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum f_h^2}{k \cdot L}}, \quad (1)$$

где $f_h = (f_{\text{прям}} + f_{\text{обр}})/2$ – невязка полигона, полученная как среднее значение невязок прямого и обратного ходов; k – число невязок f_h (число двойных замкнутых ходов); L – периметр полигона, км. Для нашего случая k принимается не менее 6, а периметр полигона $L=1,6$ км.

Также СКО превышения на 1 км двойного хода может быть определена по формуле [14]:

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum (f_{\text{прям}}^2 + f_{\text{обр}}^2)}{4n \cdot L}}, \quad (2)$$

где $f_{\text{прям}}$ и $f_{\text{обр}}$ – невязки полигона при выполнении нивелирования в прямом и обратном направлениях соответственно; n – количество невязок при проложении хода в прямом направлении (такое же количество невязок предполагается при проложении хода в обратном направлении).

Таблица

Ведомость измерений при определении СКО на 1 км двойного хода

№ серии	№ ст.	Превышение*, мм				Неравенство плеч, м $S_3 - S_{\Pi}$	Сумма длин плеч, м $S_3 + S_{\Pi}$
		h_3 , мм (номер цели)	h_{Π} , мм (номер цели)	№ превышения	h , мм		
1	ст1	-202,42 (1)	-105,94 (2)	$h_{1-2}=$	+96,48	+5,0	395
	ст2	-50,10 (2)	+148,40 (3)	$h_{2-3}=$	+198,50	-5,0	395
	ст3	+49,36 (3)	-196,81 (4)	$h_{3-4}=$	-246,17	+5,0	395
	ст4	-153,78 (4)	-202,25 (1)	$h_{4-1}=$	-48,47	-5,0	435
	Σ	-	-	$f=$	+0,34	0	1620
	Обратный ход						
	ст1	-197,63 (1)	-148,93 (4)	$h_{1-4}=$	+48,70	+5,0	435
	ст2	-154,78 (4)	+90,95 (3)	$h_{4-3}=$	+245,73	-5,0	395
	ст3	+206,51 (3)	+8,66 (2)	$h_{3-2}=$	-197,85	+5,0	395
	ст4	-202,57 (2)	-300,01 (1)	$h_{2-1}=$	-97,44	-5,0	395
	Σ	-	-	$f=$	-0,86	0	1620
* значения превышений h_3 и h_{Π} получены, как среднее из двух приемов, выполненных при КП и КЛ							

Ошибка измерения превышения на станции находится по формуле Бесселя

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где v_i – отклонение i -го значения превышения от среднего арифметического.

Кроме того, ошибка на станции вычисляется по формуле Гаусса

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}, \quad (4)$$

где Δ_i – отклонение i -го значения превышения от эталонного значения, полученного из геометрического нивелирования.

При выполнении измерений на высотном стенде в порядке 1–2–3–4–1 измеряется 4 превышения. В обратном ходе также измеряется 4 превышения, а в одной серии – 8. Следовательно, можно вычислить 8 разностей Δ . Если выполнять 6 серий измерений, то таких разностей окажется 48 и значение $m_{\text{ст}}$ будет определено достаточно надежно. Следует отметить, что найденная по 48 разностям ошибка будет характеризовать точность измерения превышения на станции двумя полными приемами.

Для точных нивелиров (типа Н-3) СКО измерения превышения на станции при длине плеч 100 м не должна превышать 1,5 мм [13]. Найдем предельные значения ошибок на станции для тахеометров исходя из условия

$$\frac{m_{\text{ст}} \sqrt{n}}{\sqrt{2}} \leq m_{\text{км}}^{\text{доп}}, \quad (5)$$

где n – число установок (штативов) тахеометра при проложении хода длиной 1 км; $\sqrt{2}$ – коэффициент для перехода к показателю точности для двойного хода; $m_{\text{км}}^{\text{доп}}$ – предельная ошибка на 1 км двойного хода (принимается равной 3 мм для III класса и 7 мм для IV класса).

Тогда при длине плеч 200 м ошибка на станции не должна превышать значений 2,7 мм и 6,0 мм для III и IV классов соответственно, а при длине плеч 150 м – 2,3 мм и 5,5 мм. В случае, если фактические значения ошибок $m_{\text{ст}}$ незначительно превысят указанные допуски (на 0,5 – 1,0 мм), то следует увеличить количество приемов при измерении превышения на станции. При большем превышении допусков можно заключить, что данный прибор не может быть использован для нивелирования соответствующего класса.

Близость значений $m_{\text{ст}}$, подсчитанных по формулам (3) и (4) будет свидетельствовать о компенсации рефракционных ошибок при нивелировании из середины. В случае их заметного расхождения производится анализ распределе-

ния по величине и по знаку значений Δ_i для каждого превышения. Анализ значений Δ_i может выявить наличие систематической ошибки рефракционного характера, связанной с разной высотой визирного луча над подстилающей поверхностью [11].

Преимуществами предложенного высотного стенда являются: сравнительно небольшие размеры (минимально возможные для длины визирного луча 200 м); возможность совместного определения СКО измерения превышения на станции $m_{ст}$ и на километр двойного хода $m_{км}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брежунова Н. К. Метрологическое обеспечение геодезических измерений // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: тезисы X Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи (8–12 апреля 2014 г., Красноярск) : в 2 т. Т.1. – Технические науки. Информационные технологии. Сообщения школьников. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. – Красноярск, 2014. – Режим доступа: <http://www.sibsau.ru/index.php/nauka-i-innovatsii/nauchnye-meropriyatiya/materialy-nauchnykh-meropriyatij>
2. РМГ 29-99 «Метрология. Основные термины и определения». – М : Издательство стандартов, 2000. – 46 с.
3. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «Об обеспечении единства измерений» // «Собрание законодательства РФ», 30.06.2008, № 26, ст. 3021.
4. Поверка геодезических приборов / А. И. Спиридонов, Ю. Н. Кулагин, М. В. Кузьмин. – М. : Недра, 1981. – 159 с.
5. РД 68-8.17-98 Локальные поверочные схемы (ЛПС) для средств измерений (СИ) топографо-геодезического и картографического назначения. – М: ЦНИИГАиК, 1999. – 39 с.
6. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 8–13.
7. Никонов А. В., Рахымбердина М. Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 16–26.
8. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
9. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.
10. Никонов А. В. К вопросу о влиянии вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 12–26.
11. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
12. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 «Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов». – М., 1999. – 31 с.
13. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института. – М.: ЦНИИГАиК, 1990. – 52 с.
14. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии: Произв.-практ. изд. – М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 248 с.

15. Хасенов К. Б., Рахымбердина М. Е. Методика определения средней квадратической погрешности измерения превышения на 1 км хода на полевом компараторе в стесненных условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 128–132.
16. Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator / H. Woschitz, Fritz K. Brunner, H. Heister // Zeitschrift fur Geodasie, Geoinformation und Landmanagement. – 2003. – 128. – PP. 11–17.
17. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
18. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
19. Никонов А. В., Бабасов С. А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 71–78.
20. Карпик А. П., Синякин А. К., Кошелев А. В. Тенденции развития геодезических измерительных приборов и систем // Вестник СГГА. – 1998. – Вып. 3. – С. 74–79.
21. Хорошилов В. С., Пономарев В. А. Современная геодезическая техника // Вестник СГГА. – 2005. – Вып. 10. – С. 99–103.

© Г. А. Уставич, А. В. Никонов, 2015

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА i ЦИФРОВЫХ НИВЕЛИРОВ

Антон Викторович Никонов

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Галина Викторовна Лифашина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье рассмотрены основные способы определения угла i оптических и цифровых нивелиров. Приведены формулы для вычисления угла i . Описаны особенности исправления и учета угла i при работе с цифровыми нивелирами.

Ключевые слова: цифровой нивелир, угол i , поверка.

THE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING ANGLE i DIGITAL LEVELS

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaja St., engineer surveyor, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Checheva

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Galina V. Lifashina

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Key words: digital level, angle i , calibration.

Для выполнения качественных геодезических измерений недостаточно использовать высокоточные приборы и наиболее рациональные методы работы с ними. Необходимо периодически контролировать соответствие реальных метрологических характеристик приборов их паспортным или нормативным значениям. Например, для нивелира главным геометрическим условием является параллельность визирной оси зрительной трубы оси цилиндрического уровня. В дальнейшем мы будем рассматривать методы определения угла i , образуемо-

го между осью цилиндрического уровня (горизонтальной плоскостью) и визирной осью зрительной трубы при проецировании их на отвесную плоскость.

При выполнении высокоточных работ контроль угла i выполняется, как правило, ежедневно, а при заметном изменении внешних условий в течение дня – несколько раз в день. Наименее устойчивыми к температурным воздействиям являются в основном уровенные нивелиры (НА-1). Более стабилен угол i у нивелиров с металлическим кожухом (Н-05, Ni004) и нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования (Ni002, Ni007). В настоящее время на производстве получили распространение измерительные системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». Рассмотрим основные способы определения угла i нивелиров.

В отечественной литературе выделяют три основных способа проведения поверки [1-4]:

- 1) нивелирование вперед;
- 2) нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед;
- 3) нивелирование с различными плечами.

При определении угла i любым из способов выполняют не менее 3-х приемов. Расхождение отдельных значений угла i для высокоточных нивелиров не должно превышать 3". В соответствии с требованиями нормативных документов [3, 4] угол i не должен превышать 10", в противном случае производится юстировка нивелира.

При нивелировании «вперед» необходимо измерять высоту инструмента над точкой с погрешностью не более 1 мм. Это не очень удобно, поэтому остановимся подробнее на втором и третьем способах.

Угол i по второму способу определяется в следующей последовательности (рис. 1). На равнинном участке местности в точках A и B , находящихся на расстоянии $S=40\div60$ м друг от друга, забивают колышки с гвоздями или костыли. На этих точках устанавливают отвесно рейки. Нивелир устанавливают посередине между кольями A и B (станция 1), приводят его в рабочее положение и берут отсчеты a_1, b_1 . Переносят нивелир в точку, удаленную от кола B на 5–10 м (S_1), и после приведения его в рабочее положение берут отсчеты по рейкам b_2, a_2 . Значение угла i вычисляют по формуле:

$$i = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{S} \rho = \frac{h_2 - h_1}{S} \rho. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим третий способ (рис. 2). На расстоянии порядка 50 м друг от друга, в точках A и B забиваются колья. Превышение между кольями определяют со станций 1 и 2 при разной длине плеч ($S_1 = 3\div5$ м). На станции 1 берут отсчеты a_1, b_1 , затем, не меняя фокусировки трубы, нивелир переносят в точку 2. На точке 2 сначала производят отсчет a_2 по дальней рейке, а затем b_2 по ближней.

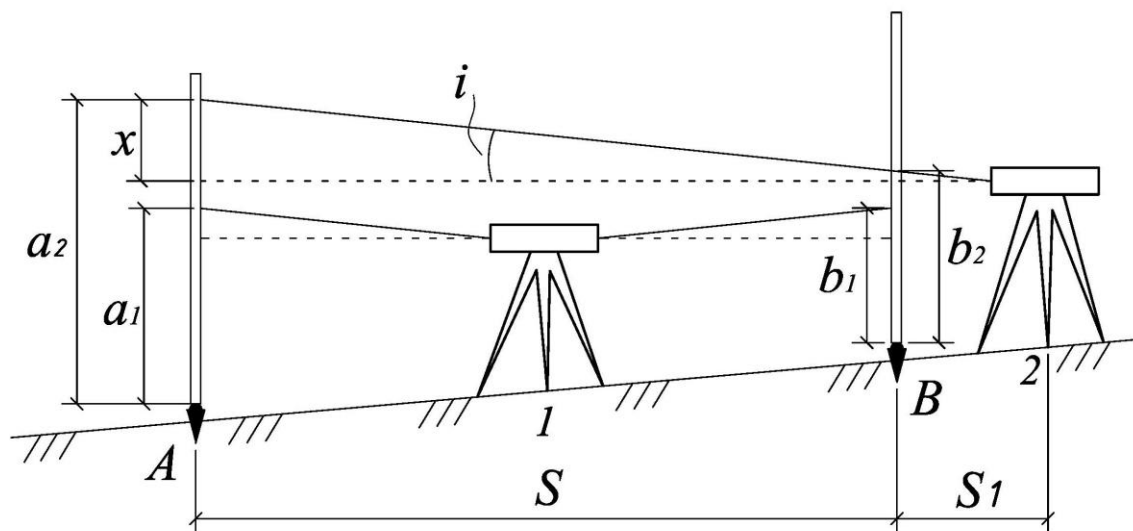


Рис. 1. Схема определения угла i вторым способом

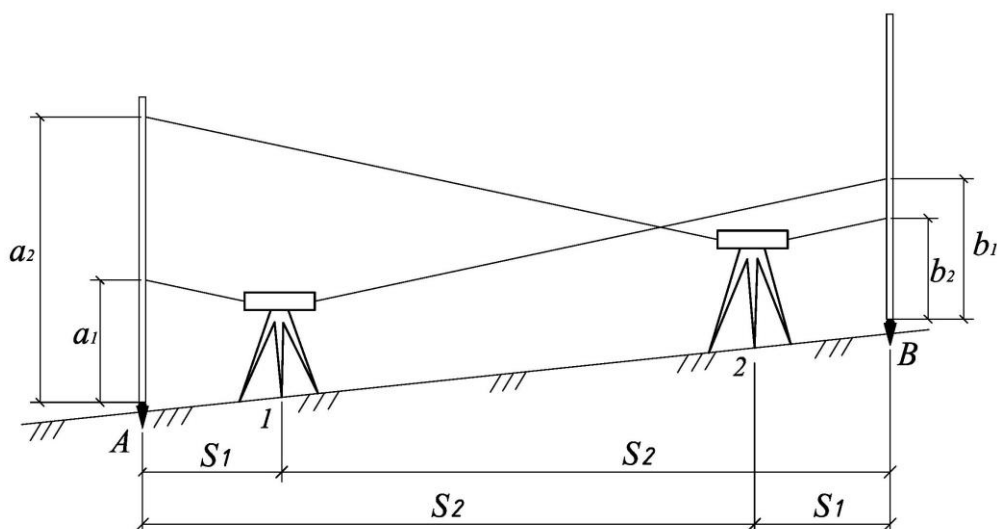


Рис. 2. Схема определения угла i третьим способом

Угол i в третьем способе вычисляют по формуле:

$$i = \frac{(a_2 + b_1) - (a_1 + b_2)}{2(S_2 - S_1)} \rho. \quad (2)$$

Иногда в знаменателе вместо неравенства плеч на станции $(S_2 - S_1)$ ставят длину плеча S_2 [5]. Такое упрощение делается в предположении, что отсчет по ближней рейке свободен от влияния угла i из-за малости расстояния S_1 , что при $S_1 < 5$ м вполне оправдано.

Известно, что при работе с цифровым нивелиром поправка за угол i в отсчет по рейке вводится программным обеспечением автоматически. При этом в расчет принимается значение угла i , определенное в ходе последней калибровки прибора и сохраненное в его памяти. В нивелирах типа DiNi12 используется следующая формула, по которой вычисляется окончательный отсчет по рейке (именно этот отсчет выводится на дисплее нивелира) [6]:

$$L = L_0 \pm L_x - K_1 + K_2 - K_3, \quad (3)$$

где L_0 – неисправленный отсчет по рейке; L_x – постоянная рейки (знак зависит от того, в каком положении установлена рейка – в нормальном или перевернутом); K_1 – поправка за кривизну Земли; K_2 – поправка за рефракцию; K_3 – поправка за наклон визирной оси. Ввод поправок за рефракцию и кривизну Земли может быть отключен пользователем.

Поправка K_3 – есть значение угла i в линейной мере (x) (рис. 1). Очевидно, поправка зависит от длины плеча нивелирования S и вычисляется по формуле

$$K_3 = x = \frac{i \cdot S}{\rho}. \quad (4)$$

Программным обеспечением цифрового нивелира предусмотрено 4 способа проведения калибровки (определения угла i). На рис. 3 представлена принципиальная схема каждого из способов [6, 7].

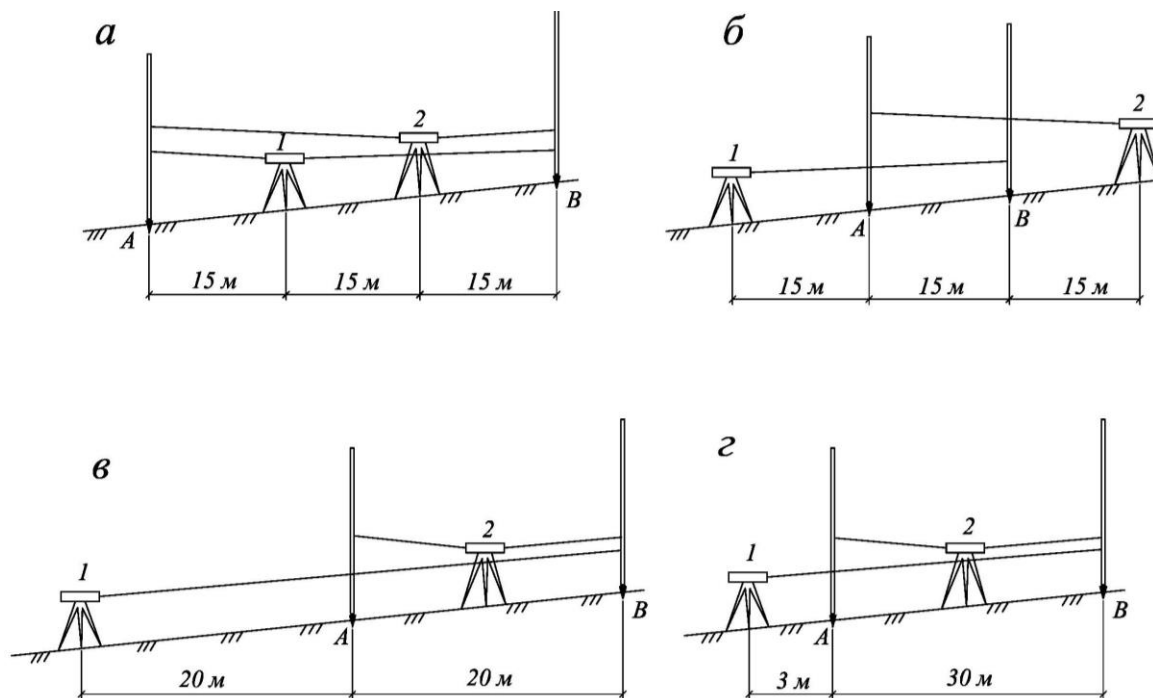


Рис. 3. Способы определения угла i цифрового нивелира:

а) метод Фёрстнера; б) метод Небаура; в) метод Куккамьяки; г) Японский метод

Из анализа приведенных способов видно, что метод Ферстнера (рис. 3а) похож на третий «отечественный» способ (рис. 2) с той лишь разницей, что используется меньшее неравенство плеч (по-видимому, чтобы уменьшить влияние ошибки за счет смещения фокусирующей линзы). Так называемый Японский метод (рис. 3г) – есть нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперед (второй ранее описанный способ, рис. 1). Согласно Руководству пользователя [7] угол i вычисляется программным обеспечением нивелира по формуле.

$$i = \frac{(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)}{(S_{a2} - S_{b2}) - (S_{a1} - S_{b1})} \rho, \quad (5)$$

где a и b – отсчеты по рейкам, установленным соответственно на точках A и B ; индексы 1 и 2 обозначают номер станции; S_{a2} – расстояние от рейки A до станции 2; S_{a1} – расстояние от рейки A до станции 1 и т.д.

Нетрудно заметить, что формула (2) является частным случаем формулы (5), когда длины плеч на станциях 1 и 2 соответственно равны.

Рассмотрим особенности поверки главного условия для цифровых нивелиров. Известно, что в цифровом нивелире имеются оптический и электронный каналы, в связи с чем поверка и юстировка главного геометрического условия должна производиться отдельно для каждого канала [8]. В ГОСТ [9] предлагается для электронного канала производить поверку третьим способом (рис. 2). Однако не учитывается тот факт, что полученные в ходе поверки отсчеты по рейке исправлены поправками в соответствии с формулой (3). Таким образом, подставляя в формулу (2) значения отсчетов, полученных в ходе «электронного» нивелирования, мы получим некорректное значение угла i , а точнее отличие фактического угла i , от его значения в памяти прибора. По указанным причинам, калибровку цифрового нивелира целесообразно проводить способами, предусмотренными производителем приборов (рис. 3). При этом отсчеты следует брать не в режиме «одиночных измерений», а с использованием пункта меню «поверка».

Для изучения особенностей проведения поверки цифрового нивелира, нами были выполнены лабораторные исследования. Сначала угол i определялся по так называемому способу Ферстнера при длине линии $AB=26,6$ м. Превышение между точками AB , многократно измеренное из середины, равно $h_{AB}=-20,09$ мм. Угол i , вычисленный программным обеспечением нивелира по формуле (5), составил $6,6''$. После этого измерения были выполнены по третьему способу, в соответствии с рис. 2. Результаты измерений представлены в табл. 1.

После определения угла i по способу Ферстнера, данный угол стал учитываться (формулы 3 и 4) при работе в режиме «нивелирный ход». Тогда следовало бы ожидать, что превышение h_{AB} измеренное со станций 3 и 4, расположенных в створе между точками AB , будет определено практически безошибочно (даже при неравенстве плеч 20,0 м). Несмотря на это, указанные превы-

шения содержат ошибки величиной $\sim 0,4$ мм. Можно предположить, что угол $i = 4,0''$, вычисленный по отсчетам со станций 3 и 4 – суть отклонение фактического угла i от значения $6,6''$, найденного по способу Форстнера.

Таблица 1

Результаты измерения превышения между точками АВ с четырех станций

Станция	Точка	Длина плеча, м	Отсчет, мм	h_{AB} , мм	Угол i	Примечание		
1	A	8,1	1578,38	-20,41	+6,6''	Способ Ферстнера в режиме «поверка»		
	B	18,5	1598,79					
2	B	8,1	1622,30	-19,74				
	A	18,5	1602,56					
3	A	3,0	1543,14	-20,47	+4,0''	Третий способ в режиме «нивелирный ход»		
	B	23,7	1563,61					
4	B	3,0	1554,25	-19,66				
	A	23,7	1534,59					

Вторая часть эксперимента заключалась в следующем. Снова определялся угол i по способу Форстнера ($i = +0,4''$) на базисе длиной ~ 43 м. Данные измерений показаны в табл. 2. В исследовательских целях, вместо полученного значения угла $i = +0,4''$ в память прибора было вручную введено максимально возможное значение $i = +100,0''$. После этого на табло нивелира появилось сообщение: «установите отсчет по рейке 1494». Имеется в виду, что после установки на точку А рейки с метрической шкалой, необходимо установить указанный отсчет путем смещения сетки нитей. Указанный отсчет получен программным обеспечением нивелира, следующим образом:

$$L_0 - \frac{i \cdot S}{\rho} = 1508,32 - \frac{100'' \cdot 29900}{206265} = 1493,82 \approx 1494. \quad (6)$$

Поскольку реальное значение угла i отличается от введенного в память прибора значения $100,0''$ мы не стали производить смещение сетки нитей.

Таблица 2

Результаты измерения превышения между точками АВ с двух станций

Станция	Точка	Длина плеча, м	Отсчет, мм	h_{AB} , мм	Угол i	Примечание
1	A	14,3	1612,25	-13,70	+0,4"	Способ Ферстнера в режиме «поверка»
	B	29,0	1626,01			
2	B	13,5	1522,02	-13,76		
	A	29,9	1508,32			
2	A	29,9	1504,73	-15,65	+100,0" вручную	в режиме «нивелирный ход»
	B	13,5	1520,38			

Не меняя положения прибора, со станции 2 были выполнены измерения на рейки, установленные в точках *A* и *B* отвесно и неподвижно посредством кронштейнов. Отсчеты, полученные в режиме «нивелирный ход», представлены в таблице 2.

Можно было ожидать, что после введения в память прибора значения угла $i=100,0''$, отсчет по рейке *A* будет равен 1493,82 (формулы 4 и 6). Однако, отсчет оказался равным 1504,73, то есть поправка в неисправленный отсчет составила -3,59 мм, вместо ожидаемых -14,50 мм. Мы не сместили сетку нитей, как это требовала встроенная программа цифрового нивелира DiNi0.3 и были предположения, что именно этим вызвано указанное несовпадение. Однако, положение сетки нитей неким образом не может влиять на взятие отсчета электронной системой нивелира.

Поскольку цифровые нивелиры широко применяются в геодезическом производстве при выполнении ответственных измерений [10-12], важно производить не только лабораторные исследования системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» [13-18], но правильно и периодически контролировать значение угла i нивелира в полевых условиях.

Подведем итоги наших исследований:

1) Поверку угла i цифровых нивелиров следует выполнять теми способами, которые предусмотрены программным обеспечением нивелира, в режиме «поверка». На наш взгляд, наиболее удачным является так называемый «Японский метод», так как для его реализации требуется забивать колья на расстоянии всего 30 м. Кроме того указанный способ описан в отечественной нормативной литературе [2 – 4].

2) После определения угла i нивелира по одному из четырех методов, заложенных в прибор, при необходимости производят смещение сетки нитей при визировании на метрическую рейку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов А.И., Кулагин Ю.Н., Кузьмин М.В. Поверка геодезических приборов. – М.: Недра, 1981. – 159 с.
2. Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1988. – 77 с.
3. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института. – М.: ЦНИИ-ГАиК, 1990. – 52 с.
4. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 «Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов». – М., 1999. – 31 с.
5. Рытов А. В. О способах определения угла i нивелира // Геодезия и картография. – 1972. – № 4. – С. 30–35.
6. Деймлих Ф. Геодезическое инструментоведение. – М.: Недра, 1970. – 584 с.
7. Руководство пользователя DiNi 12, 12T, 22. – Trimble. – 184 с.
8. Уставич Г. А. Геодезия: учеб. для вузов. В 2-х кн. Кн. 2. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 536 с.
9. ГОСТ Р 8.792–2012. Системы измерительные «Цифровой нивелир – кодовая рейка». Методика поверки. – Введ. 27.11.2012. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

10. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.
11. Новоселов Б. А., Новоселов Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 66–71.
12. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
13. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 8–13.
14. Установки для определения погрешности измерительной системы «цифровой нивелир – кодовая рейка» / А. В. Куликов, В. Т. Новоевский, А. А. Ильин, А. Н. Носов, К. В. Тукмачёв // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 242–245.
15. Куликов А. В., Ильин А. А., Новоевский В. Т. Определение средней длины метровых интервалов у штрих-кодовых реек на интерференционном компараторе СГГА // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 246–249.
16. Хасенов К. Б., Рахымбердина М. Е. Методика определения средней квадратической погрешности измерения превышения на 1 км хода на полевом компараторе в стесненных условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 128–132.
17. Рябова Н. М., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 19–24.
18. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич и др. // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина, 2015

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ MAPPROJECT В СРЕДЕ MAPINFO

Любовь Семеновна Любивая

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-09-48, e-mail: lubls@mail.ru

В статье рассмотрен программный продукт MapProject, созданный в среде MapInfo при участии автора, и позволяющий существенно сократить время проектирования объектов инфраструктуры.

Ключевые слова: программный продукт, объекты инфраструктуры, проектирование, среда MapInfo.

CONCEPT OF INFRASTRUCTURE UNITS DESIGN IN MAPPROJECT SOFTWARE USING MAPINFO ENVIRONMENT

Lyubov S. Lyubivaya

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)361-09-48, e-mail: lubls@mail.ru

MapProject software product developed by the author in MapInfo environment is considered. It allows for considerable reduction of infrastructure units designing time.

Key words: software product, infrastructure units, design, MapInfo environment.

Применение геоинформационных систем (ГИС) открывает новые возможности перед проектировщиками, занимающимися разработкой и проектированием генеральных планов объектов промышленного и гражданского строительства, автомобильных и железных дорог, трубопроводов[2, 3, 4, 7, 8], которые сегодня для проектирования объектов инфраструктуры используют отраслевой программный продукт **AutoCAD Civil 3D (Autodesk)**, а так же **CREDO (Кредо-Диалог)**.

Применение при проектировании ГИС, таких как полнофункциональная геоинформационная система **MapInfo Professional**, позволяет всем участникам проекта (заказчикам, проектировщикам, строителям) быть объединенными в единую информационную среду и, как следствие, иметь возможность обмениваться результатами и корректировками проекта без потери данных. Это ускоряет сам процесс проектирования и способствует принятию обоснованных решений. В дополнение к традиционным для СУБД функциям, MapInfo Professional позволяет собирать, хранить, отображать, редактировать и обрабатывать картографические данные, хранящиеся в базе данных, с учетом пространственных отношений объектов[1]. MapInfo Professional предоставляет раз-

личные способы представления данных: карта и список, легенда, отчет и тематические карты.

Среда программирования для MapInfo Professional, MapBasic , позволяет адаптировать MapInfo для решения самого широкого спектра задач и разрабатывать приложения для специалистов различного профиля. MapProject - программный продукт, созданный в среде **MapInfo** при участии автора и успешно применяемый в течение ряда лет в ОАО «Новосибгражданпроект».

MapProject - программный продукт, позволяющий существенно сократить время проектирования внешних инженерных сетей, таких как канализация, ливневая канализация, водопровод, газопровод, тепловые сети, дороги, железные дороги. 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[5, 6]. 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.

Начиная от геодезических изысканий и до строительных работ, от разработки концепции здания до его возведения и сдачи в эксплуатацию использова-

ние ГИС позволяет проектным группам извлекать необходимые данные из единой информационной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М., Карпик А. П. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 53–66.
2. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография. – Новосибирск: СГГА, 2004.
3. Карпик А. П., Осипов А. Г., Мурзинцев П. П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 279 с.
4. Лисицкий Д. В., Середович В. А. Автоматизированные информационно-измерительные системы: учеб. пособие. – Новосибирск: НИИГАиК, 1989. – 96 с.
5. Любивая Л. С., Полещенков В. Н. Точность обработки снимков цифровых фотоаппаратов по программе MapPhoto при обновлении крупномасштабных планов для целей проектирования и строительства // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 100–102.
6. Любивая Л. С., Полещенков В. Н. Совершенствование технологий создания и использования для кадастровых работ фотокарт крупного масштаба // Вестник СГГА. – 2003. – Вып. 8 – С. 113–114.
7. Середович В. А., Карпик А. П. Геоинформационные технологии – основа формирования единого информационного пространства // Тез. докладов третьего Сибирского конгресса по прикладной и индустриальной математике. Ч. III. – Новосибирск: СГГА, 1998. – С. 109–139.
8. Середович В. А., Карпик А. П. Современные технологии создания геоинформационных систем для целей управления // Материалы междунар. конф. «ИНТЕРКАРТО 3»: ГИС для устойчивого развития окружающей среды. – Новосибирск: Центр «Сибгеоинформ», 1997. – С. 167–168.

© Л. С. Любивая, 2015

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОМПЛЕКСА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК БЫВШЕГО СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Алексей Михайлович Яковенко

Институт геофизических исследований, 071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, площадка Меридиан, начальник лаборатории топогеодезических исследований, тел. (72251)2-31-46, e-mail: yakovenko@igr.kz

Сергей Борисович Субботин

Институт радиационной безопасности и экологии, 071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская 2, начальник лаборатории исследования опасных природно-техногенных процессов, тел. (72251)2-34-13, e-mail: subbotin@nnc.kz

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и информационных систем, тел. (383)343-29-55

Предложен комплекс геодезических работ для выделения участков с развитием процессов возможного катастрофического характера на территории испытательных площадок бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон, подземный ядерный взрыв, деформация дневной поверхности.

ON THE USE OF A NUMBER OF GEODETIC SURVEY TO ASSESS TECHNOGENIC DANGER OF TEST SITES OF THE FORMER SEMIPALATINSK TEST SITE

Alexey M. Yakovenko

Institute of Geophysical Research, 071100, Kazakhstan, Kurchatov, Meridian site, head of Laboratory of Topogeodetic Research, tel. (722-51)2-31-46, e-mail: yakovenko@igr.kz

Sergey B. Subbotin

Institute of Radiation Safety and Ecology, 071100, Kazakhstan, Kurchatov, head of Laboratory for Research of Dangerous Natural and Man-Caused Processes, tel. (72251)2-34-13, e-mail: subbotin@nnc.kz

Georgy A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. Department of engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

A number of geodetic survey has been proposed for determination of sites with the development of processes of a possible catastrophic nature on the territory of test sites of the former Semipalatinsk Test Site.

Key words: Semipalatinsk Test Site, underground nuclear explosion, deformation of a daylight surface, geodetic monitoring.

Территория бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) на протяжении 40-ка лет с 1949 года подвергалась воздействию ядерных испытаний, за это время было проведено 456 ядерных взрывов [1]. Ядерные взрывы проводились в различных средах: в атмосфере, на земле и под землей, на различных испытательных площадках: «Опытное поле», «Балапан», «Дегелен», «Сары-Узень» и др. Схема основных испытательных площадок на территории СИП показана на рис. 1.

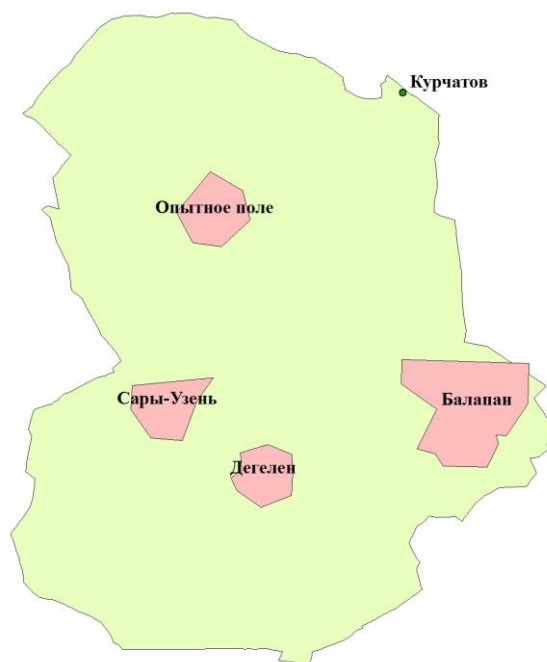


Рис. 1. Схема основных испытательных площадок на территории СИП

Обеспечение радиационной безопасности ядерных и радиационно-опасных объектов, расположенных на территории испытательных площадок бывшего СИП, а также решение проблем радиоэкологии является одной из наиболее актуальных проблем для Семипалатинского региона Республики Казахстан. Международная общественность так же уделяет большое внимание этой проблеме. Генеральная Ассамблея ООН приняла семь резолюций по вопросу оказания помощи региону, последнюю – 22 декабря 2011 года № A/RES/66/193 «Международное сотрудничество и координация деятельности в целях реабилитации населения и экологии и экономического развития Семипалатинского региона Казахстана».

Кроме опасности радиационного воздействия на территории бывшего СИП присутствует и ряд других опасностей, связанных с эффектами остаточных проявлений долговременной геотермальной активности в эпицентральных зонах подземных ядерных взрывов (ПЯВ). Наличие необрушенных «котловых» полостей при общем напряженно-деформированном состоянии геологической среды, подвергшейся воздействию ПЯВ, может вызывать сейсмогенерирующие

эффекты. Данные процессы, в основном, характерны для 130 «боевых» скважин, где проведены ПЯВ на площадках «Балапан» и «Сары-Узень».

В результате проведения ПЯВ вокруг большинства скважин образовались своего рода кольцевые поствзрывные структуры, а также другие деформации земной поверхности. Причем техногенные элементы рельефа (валы, уступы и др.) достигают размеров до первых километров в плане и нескольких метров по высоте. В приустьевой части боевых скважин часто образуются воронки проседания диаметром до 30 м и глубиной в несколько метров. По ряду отмеченных фактов установлено, что процессы, связанные с деформацией земной поверхности в эпицентральных зонах боевых скважин, не завершены.

Эффекты остаточных проявлений могут иметь катастрофический характер, в процессе которых не исключены внезапные выбросы газов на поверхность, обрушение дневной поверхности, выброс радиоактивности, интенсификация землетрясений.

Наиболее мощное катастрофическое проявление произошло на площадке «Балапан» на приустьевом участке «боевой» скважины «Глубокая» (ПЯВ произведен в 1977 г.). В апреле 1992 года произошло внезапное воронкообразное проседание (провал) поверхности земли возле устья этой «боевой» скважины. Образование провала поверхности сопровождалось взрывом и пожаром. В настоящее время образовавшаяся воронка имеет диаметр около 110 м и глубину более 17 м [2]. Данное событие можно оценить как локальное явление катастрофического характера. Это произошло спустя 15 лет после проведения в этой скважине ядерного взрыва. В истории проведения ПЯВ на СИП подобных эффектов не наблюдалось ни в момент взрыва, ни после их проведения. Вид на воронку возле устья скважины «Глубокая» приведен на рис. 2.



Рис. 2. Вид на воронку возле устья скважины «Глубокая»

В настоящее время снижение опасных последствий достигается специальным изучением и контролем наиболее активных локальных участков земной

коры и тектонических структур, оценкой изменений, вызванных природной и техногенной деятельностью. При изучении основных площадок СИП используются такие составляющие, как радиоэкологический, геодезический, геологический, геоморфологический, геофизический и др. методы. Используя комплекс этих методов возможно выявление участков с развитием процессов возможного катастрофического характера в местах проведения ПЯВ на испытательных площадках «Балапан» и «Сары-Узень».

Для выявления участков с зонами, которые подверглись воздействию ПЯВ и где возможно развитие деформационных процессов, необходимы картографические данные. Топографо-геодезические работы, проводимые на территории испытательных площадок СИП за последние 20 лет, носят локальный характер – исследования проводились в основном на отдельных участках испытательных площадок. Пример выделения зон деформации дневной поверхности на приустьевом участке скважины «Глубокая», на картографической основе, составленной по результатам топографической съемки масштаба 1:2000, с сечением рельефа 0,5 метра приведен на рис. 3.

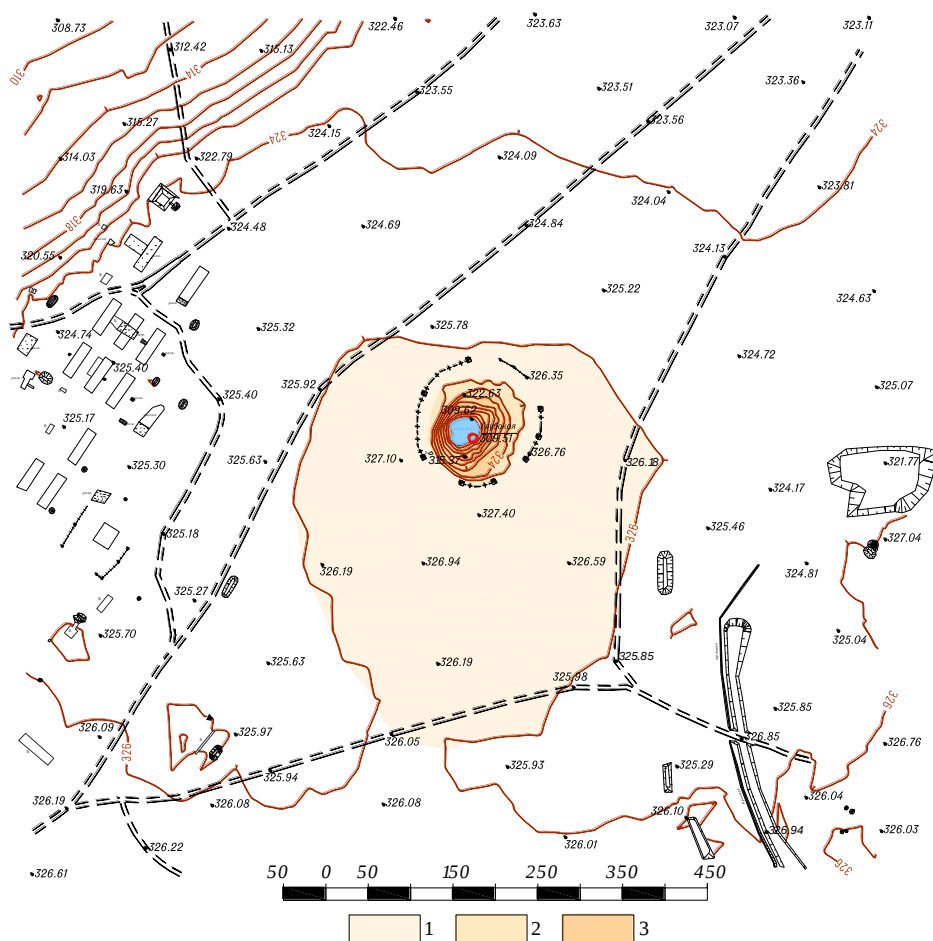


Рис. 3. Схема приустьевого участка скважины «Глубокая» с выделенными зонами деформаций:

1 – зона слабых поствзрывных деформаций; 2 – зона средних поствзрывных деформаций; 3 – зона сильных поствзрывных деформаций

Топографо-геодезические и картографические данные используются для целей паспортизации мест проведения ПЯВ, комплексных радиоэкологических исследований, выполнения земельно-кадастровых работ. Однако картографирование приустьевых участков «боевых» скважин к настоящему времени выполнено не в полном объеме, что не позволяет выделить все участки с наиболее развитыми деформационными процессами на территории испытательных площадок.

Для обеспечения картографической основой работ по оценке техногенной опасности отдельных участков и площадок бывшего СИП и ведения деформационного мониторинга на участках, с учетом выполненных ранее работ [3], предлагается провести комплекс топографо-геодезических работ включающий в себя:

- 1) создание спутниковой каркасной геодезической сети;
- 2) создание планово-высотной сети для топографических съемок;
- 3) выполнение топографических съемок на приустьевых участках;
- 4) создание наблюдательных сетей деформационного мониторинга;
- 5) проведение деформационного мониторинга.

Создание единой спутниковой каркасной геодезической сети для участков «Балапан» и «Сары-Узень» будет служить высокоточной основой для всех исследовательских работ. Результаты топографической съемки позволят выделить зоны, подвергшиеся воздействию ПЯВ, определить участки развития деформационных процессов и спроектировать наблюдательные сети деформационного мониторинга. Проведение деформационного мониторинга с использованием созданной сети позволит контролировать деформации дневной поверхности. В комплексе с радиоэкологическим, геологическим, геофизическим мониторингом это позволит дать оценку возможной техногенной опасности на испытательных площадках бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ядерные испытания СССР // Коллектив авторов. под редакцией В. Н. Михайлова. – Москва ИздАТ. – 1997.
2. Яковенко А. М. К проведению геодезического мониторинга в эпицентральных зонах ранее проведенных подземных ядерных взрывов на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 219–222.
3. Яковенко А. М., Уставич Г. А. Создание планово-высотного обоснования для топографо-геодезических работ в условиях радиационного загрязнения территорий Семипалатинского испытательного полигона // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 57–62.

© А. М. Яковенко, С. Б. Субботин, Г. А. Уставич, 2015

О НЕОБХОДИМОСТИ АДАПТАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

Владимир Дмитриевич Астраханцев

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии, тел. (383)328-02-37

Иван Иванович Золотарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доцент, кандидат технических наук, тел. (383)361-04-48, e-mail: umapalata53@gmail.com

В статье обосновывается необходимость внедрения BIM-технологии, объединенной с программным обеспечением и современными технологиями съёмочных работ и создания цифровых моделей местности.

Ключевые слова: информационное моделирование, автоматизированное проектирование, здание, инвентаризация, цифровая модель, местность, топографическая съёмка, лазерное сканирование.

GEODETIC AND BIM-TECHNOLOGIES ADAPTATION IMPORTANCE

Vladimir D. Astrahancev

Siberian State University of Communication, 630049, Russia, Novosibirsk, 191 D. Kovaltchukst St., assoc. Prof., department of geodesy, tel. (383)266-24-81

Ivan I. Zolotarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof., tel. (383)361-04-48, e-mail: umapalata53@gmail.com

The present article substantiates the necessity of implementing BIM technology integrated with software and up-to-date survey techniques and digital terrain models development.

Key words: IT modeling, computer-aided designing, building, inventory, digital model, terrain, topographical survey, laser scanning.

Массовое развитие компьютерного моделирования привело в 1970-е годы к формированию новой технологии проектирования строений, получившей принятое теперь наименование «информационное моделирование зданий». В основе технологии BIM (от английского Building Information Modeling) лежат те же принципы, что и у хорошо известной у нас системы автоматизированного проектирования (САПР). Подходы, используемые в BIM и САПР, успешно применяются. Так, при разработке проекта автомобиля «ГАЗель» применили сквозную компьютерную технологию проектирования и производства оснастки; компьютерное проектирование наружных и внутренних поверхностей кабины и салона [1]. Однако, в отличие от САПР, BIM не предполагает использования в основном типовых решений, — процесс формирования баз данных об

объекте, генерация его информационной модели всегда уникальна. Технология BIM сходна по логике организации процесса в отношении объекта проектирования с девелопментом как процедурой (процессом) управления строительным проектом, который включает в себя стадии предпроектной подготовки, проектирования, строительства и реализации [2]. Процесс реализации включает контроль за состоянием здания и работой инженерных систем после сдачи объекта в эксплуатацию на протяжении всего его жизненного цикла.

Создание технологии BIM является на сегодня завершающим этапом перехода от «ручного» проектирования строений на основе плоских чертежей, разрезов к компьютерному проектированию. Все проектные фирмы вынуждены нести существенные расходы на внедрение новых программ, обучение сотрудников, консультации специалистов, обновление компьютеров, возмещение потерь от снижения производительности труда на этапе внедрения [3].

При проектировании объекты строительства «привязываются» к физической поверхности земли. Это – первый из неизбежных этапов взаимодействия системы BIM с базой данных, создаваемой путем выполнения геодезических и топографических работ. Поэтому технология BIM должна быть адаптирована и сопряжена с типовыми технологиями создания цифровых моделей местности.

Многие из технологий «докомпьютерного» (вернее, безкомпьютерного) проектирования, хотя и существуют уже несколько сотен лет, всё еще не стали «музейными экспонатами» - они успешно адаптировались к нынешним условиям и активно используются в современной проектной практике [4]. Но и на объектах, созданных таким путем, возможно внедрение BIM –технологий. В реальных нынешних условиях многие действующие объекты проходят процедуру инвентаризации, такие работы выполняют и геодезические организации. В процессе инвентаризации (съемки) постоянно обнаруживаются несоответствия объектов проектной документации, возникшие в процессе эксплуатации, проведения реконструкции, ремонтных, восстановительных работ. Часто изменения в конструкцию объекта вносятся без необходимых согласований, как временные решения, но затем сохраняются как постоянные, включенные в технологический процесс. При инвентаризации используется высокотехнологичное оборудование, современные технологии. Так, применение лазерного сканирования позволяет получить не только цифровую модель объекта, но и возможность сколь угодно часто отслеживать все изменения конструкции в результате деформации или выполнения монтажных и других работ [5].

По сути, во время инвентаризации геодезисты создают пространственную модель действующего объекта, и с момента её создания возможно произвести включение BIM-технологии для дальнейшего совершенного информационного обеспечения эксплуатации объекта. Таким образом, происходит второй неизбежный этап сопряжения интересов строительного и геодезического производства: именно материалы геодезических и топографических работ позволяют перевести на высокотехнологичную основу процесс контроля за геометрическими параметрами объекта на протяжении всего срока его эксплуатации.

Назрела насущная необходимость внедрения BIM-технологии, объединенной с программным обеспечением, современными технологиями съёмочных работ и создания цифровых моделей местности (ЦММ). Эта задача может быть решена совместными усилиями специалистов в сфере строительства и геодезии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГАЗель – История создания автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shikoshlir.com/gaz-gorkovskij-avtomobilnyj-zavod-istorija-zavoda/gazel-istorija-sozdanija-avtomobilja.html>.
2. Виды девелопмента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dev.realci.ru/article_1.htm.
3. Талапов В. Внедрение BIM: десять заповедей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17519.
4. Талапов В. Что предшествовало BIM: вехи в истории развития «докомпьютерного» проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14197.
5. Астраханцев В. Д. Особенности современных технологий выполнения геодезических работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 43–45.

© В. Д. Астраханцев, И. И. Золотарев, 2015

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ. ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ

Анна Анатольевна Моргунова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела; Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, 630126, Россия г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, инженер отдела проектирования, тел. (906)909-50-08, e-mail: yershova.anna@yandex.ru

Одним из важных этапов при проектировании и реконструкции линий электропередач является применение уже на начальной стадии проектирования современных средств обработки геодезических данных, которые позволяют проводить быстрый анализ проектных решений и автоматизируют расчеты. От того, насколько правильно, грамотно и качественно будет выбрана САПР и выполнен в ней проект, зависит качество и длительность эксплуатации линии электропередач.

Ключевые слова: САПР, средства обработки геодезических данных, линия электропередач, ЦММ, ЦМП, проектирование, AutoCAD.

GEODETC CAD FOR DESIGN OF POWER LINES. ADVANTAGES AND PROBLEMS

Anna A. Morgunova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Post-graduate, Department of Engineering Geodesy and Surveying; Siberian scientific research Institute of power engineering, 630126, Russia, Novosibirsk, 10/1 Klenovaya St, engineer, tel. (906)909-50-08, e-mail: yershova.anna@yandex.ru

One of the important stages for design and reconstruction of power lines is the application of modern geodetic CAD, allowing rapid analysis of design solutions and automate the calculations. On how to properly, competently and efficiently will be selected CAD and executed the project depends on the quality and durability of the transmission line.

Key words: CAD, geodetic data tools, power line, DTM, DMP, design, AutoCAD.

Инженерные изыскания, проводимые при проектировании и реконструкции воздушных линий электропередачи (ВЛ), являются сложным процессом, зависящим как от естественных условий (рельеф местности, геолого-литологическое строение, наличие физико-геологических явлений и процессов и т.д.), так и от характера проектируемых сооружений. В зависимости от сочетания этих факторов формируются состав инженерных изысканий, методика дальнейшего проектирования и объемы работ [1].

В состав инженерных изысканий входят полевые, геодезические, геологические, гидрогеологические и гидрологические исследования [1], а также лабораторные и камеральные работы, обеспечивающие непосредственно выполнение самого процесса – проектирования ВЛ. Успешное решение этой задачи

обеспечивается рациональным выбором автоматизированной системы программных средств для обработки геодезических данных.

Проектирование воздушных линий электропередачи – задача трудоемкая и начинается с анализа результатов электротехнических и геодезических данных. Соответственно важным этапом энерго- и ресурсосбережений является применение уже на начальной стадии проектирования ВЛ современных средств САПР, которые позволяют проводить быстрый анализ проектных решений и автоматизируют расчеты.

Одним из основных требований к программному обеспечению для проектирования линий электропередач является комплексный подход к проектированию. Задача номер один – это выбор трассы ЛЭП, составление цифровой модели местности, построение 3D-модели рельефа местности. Задача номер два – расстановка опор, механический расчет проводов, расчет нагрузок на опоры и фундаменты. Совместная работа, построенная на правильно выбранном программном обеспечении, позволяет отслеживать все изменения, возникающие при изменении трассы ЛЭП, и учитывать их при установке опор.

К сожалению, компьютерных программ, которые бы полностью создавали полноценный проект по строительству ЛЭП, в настоящее время не существует. Есть программное обеспечение, которое помогает решить некоторые вопросы и проблемы, возникающие в ходе проектирования.

Как показывает практический опыт, многие проектные энергетические компании в наши дни отдают в основном предпочтение программному комплексу AutoCAD. В AutoCAD Civil 3D при изменении цифровой модели автоматически пересчитываются все профили и сечения, что крайне важно. Такую динамическую связь другие программы автоматизации проектирования не обеспечивают. В цифровую модель вносятся затем геологические данные, то есть описание пространственного расположения грунтов, а также положение границы между ними. Модель постоянно обновляется в соответствии с результатами работ, что обеспечивает актуальность данных [2]. На основании полученной модели посредством дополнительных программ, таких как Model Studio CS ЛЭП, САПР ЛЭП, работающих на базе AutoCAD, решается следующая задача – расстановка опор, механический расчет проводов, расчет нагрузок на опоры и фундаменты (рис. 1).

Последние 20 лет развития методов обработки, представления и использования топографо-геодезической информации для проектирования высоковольтных линий электропередач можно охарактеризовать одним словом – «революция». В массовое производство изысканий вошли всевозможные системы автоматизированного проектирования, основанные на методах цифрового моделирования. Таким образом, принципиально изменился подход к результатам инженерных изысканий и проектирования [3]. Это выражается в переходе от «бумажного» результата к модели, а именно к созданию цифровой модели местности (ЦММ) (рис. 2) и цифровой модели проекта (ЦМП).

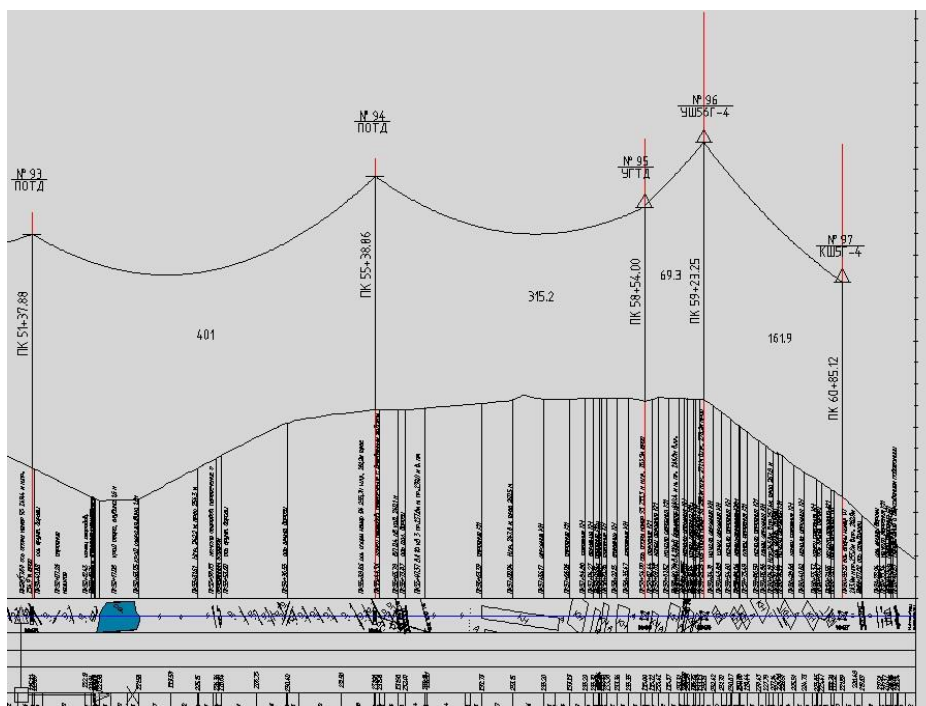


Рис. 1. Профиль линии электропередач, созданный в программе AutoCAD Civil 3D с последующей расстановкой опор и расчетом проводов в программе САПР ЛЭП

Важной задачей в проектировании цифровой модели проекта (ЦМП) линии электропередач при этом становится обеспечение адекватности создаваемой ЦММ физическому состоянию местности, необходимой и достаточной проектировщику для принятия проектных решений.

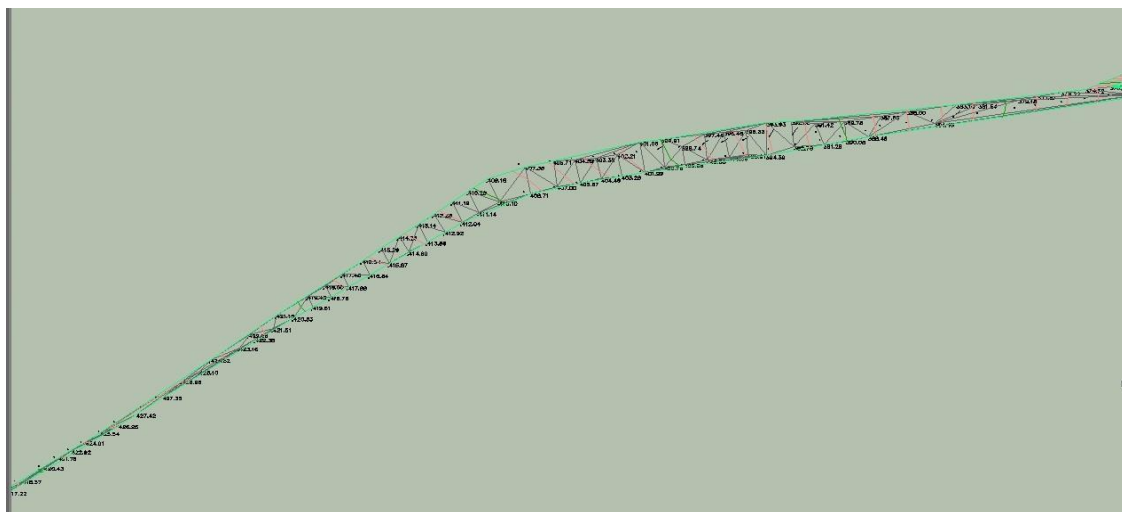
Такая адекватность, кроме соблюдения норм инженерно-геодезических изысканий, их точности, составу и полноте данных, особо требует следующее [3]:

- обеспечение соответствия цифровой модели рельефа ее топографической реальности;
- пространственного и точного представления в модели подземных и наземных коммуникаций;
- многослойности цифровой модели местности с заданным нужным проектировщику распределением данных по иерархически организованным слоям;
- информационной насыщенности объектов модели сведениями, необходимыми для принятия проектных решений и согласований.

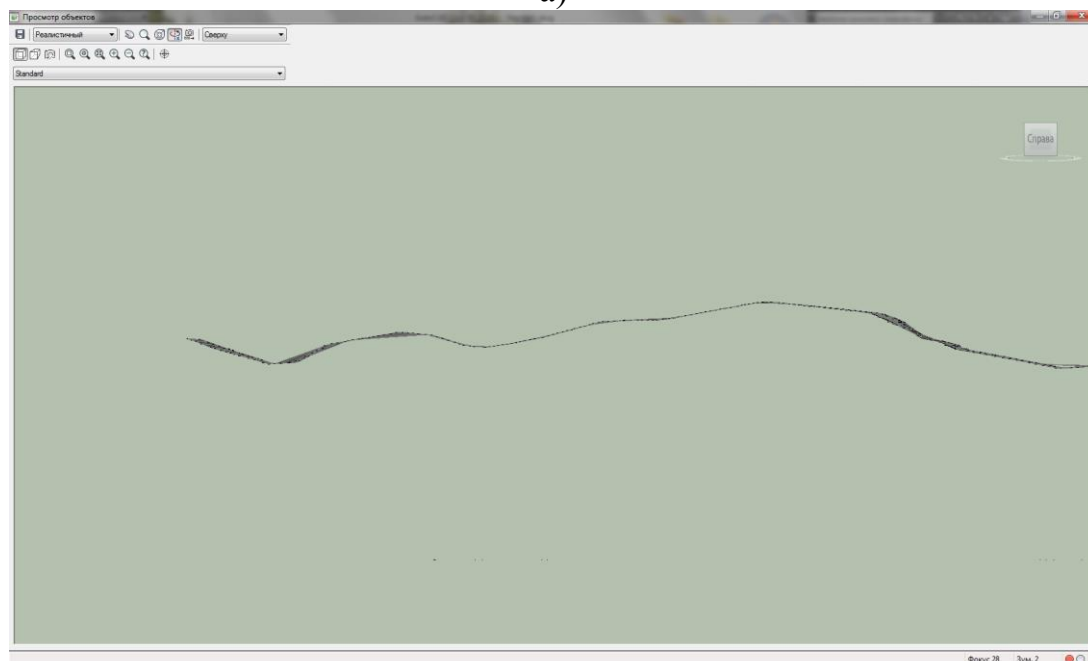
Дальнейшее использование ЦММ на всех этапах проекта при строительстве линий электропередач определяет характер специальных требований не только к ней, но и к программному обеспечению, которое применяется для создания ЦММ и последующего использования.

Одним из основных таких требований является технологическая связанность программного комплекса [3]. В идеальном варианте изыскатель и проек-

тировщик должны работать в единой программной среде и с единым набором геодезических данных. Однако реальный эффект от применения САПР в России еще далек от желаемого уровня.



а)



б)

Рис. 2. Цифровая модель местности воздушной линии электропередач в AutoCAD Civil 3D:

а) цифровая модель рельефа 2D вид; б) цифровая модель местности 3D вид

Основываясь на практическом применении различных САПР в строительстве линий электропередач, можно сделать вывод, что программное обеспечение, предназначенное для формирования ЦММ, должно обеспечивать:

- эффективную технологию сбора и обработки топографо-геодезической информации, получаемой при наземной топографической съемке, которая в настоящее время является основным видом работ при инженерных изысканиях для рабочего проектирования [3];
- использование максимального количества источников и различных форматов представления данных для оперативного получения топографо-геодезической информации (форматы x, y, z, облако точек по результатам лазерного сканирования и т.д.);
- прием данных, импортируемых из систем обработки результатов аэро-съемки и космических снимков высокого разрешения [3];
- возможность обработки цифровых картографических материалов общего пользования;
- возможность обработки существующих графических топографо-геодезических и картографических материалов на бумажных, пластиковых и других носителях;
- традиционных методов линейных инженерных изысканий;
- обработку наземной топографической полосной съемки;
- управление большими объемами данных в ЦММ;
- генерализацию и структурированность отображения топографической информации на ЦММ;
- возможность создания продольного профиля с содержанием и оформлением в соответствии с СНиП II-9-78, его гибкость и редактирование по требованию заказчика;
- автоматическое обновление ЦММ при внесении изменений в проект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумихин Ю. Н., Лебедев В. И., Куклинский А. Л. и др. Выбор и изыскания трасс воздушных линий электропередачи // Москва / Энергоатомиздат. – 1983.
2. Ершова А.А. Применение ПО AutoCAD для создания топографических планов и дальнейшего управления инженерными данными на всех стадиях проектирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 152–154.
3. Пигин А. П. Цифровые модели местности – основа САПР и ГИС проектов. Преимущества и проблемы // Геопрофи. – 2006. – Вып. 4. – С. 4–7.
4. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 3–7.
5. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения / Минстрой России. – М.: ПНИИИС Минстроя России, 1997.
6. Ловягин В. Ф. Геоинформационные технологии в инженерных изысканиях трасс линейных сооружений [Текст]: монография. – Новосибирск: СГГА. – 2010. – 150 с.
7. Карпик А. П., Никитин А. В. Теория моделирования пространственной длины трассы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 49–54.

8. Середович А. В., Горохова Е. И., Ситуха О. А. Определение геометрических параметров элементов опор ЛЭП с использованием наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 3. – С. 128–134.

© А. А. Моргунова, 2015

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КРЕНАМИ И ОСАДКАМИ ЗДАНИЯ СПАСО-ПРЕОБРАЖЕНСКОГО СОБОРА В Г. НОВОКУЗНЕЦКЕ

Денис Борисович Новоселов

ООО «ОК "Сибшахтострой"», 654034, Россия, г. Новокузнецк, шоссе Кузнецкое, 9, главный специалист геодезического отдела, тел. (3843)900-420, e-mail: moblic@mail.ru

Борис Антонович Новоселов

ООО «Сибшахтостройпроект», 654027, Россия, г. Новокузнецк, пр. Курако, 19 Б, главный специалист отдела инженерно-геодезических изысканий, тел. (3843)900-420, e-mail: novoselov_ba@mail.ru

Евгений Александрович Звягинцев

ООО «ОК "Сибшахтострой"», 654034, Россия, г. Новокузнецк, шоссе Кузнецкое, 9, инженер-геодезист геодезического отдела, тел. (3843)900-420, e-mail: Ezvyagintsev2012@gmail.com

В статье описана технология автоматизированного сбора и обработки наблюдений за кренами и осадками здания Спасо-Преображенского собора в Кузнецком районе г. Новокузнецка. Спасо-Преображенский собор – один из памятников истории Кузбасса, единственный памятник культовой архитектуры конца XVII-начала XIX веков. Все измерения производились современными геодезическими инструментами и применялись программы автоматизированной обработки данных CREDO.

Ключевые слова: наблюдение за осадками; наблюдения за кренами; Спасо-Преображенский собор; цифровой нивелир; программные продукты CREDO.

TECHNOLOGY AUTOMATED DATA COLLECTION AND ANALYSIS OF OBSERVATIONS OF BANKS AND BUILDING SETTLEMENT SPASO-PREOBRAZHENSKY CATHEDRAL IN NOVOKUZNETSK

Denis B. Novoselov

LLC «OK "Sibshahtostroy"» 654034, Russia, Novokuznetsk, highway Kuznetsk, 9, chief specialist of the geodesic department, tel. (3843)900-420, e-mail: moblic@mail.ru

Boris A. Novoselov

LLC «Sibshahtostroyproekt», 654027, Russia, Novokuznetsk, av Kurako, 19 b, the main specialist of the engineering-geodetic survey department, tel. (3843)900-420, e-mail: novoselov_ba@mail.ru

Evgeniy A. Zvyagintsev

LLC «OK "Sibshahtostroy"» 654034, Russia, Novokuznetsk, highway Kuznetsk, geodesist of the geodesic department, tel. (3843)900-420, e-mail: Ezvyagintsev2012@gmail.com

The article describes the technology of automated collection and processing of observations by the banks and building precipitation Transfiguration Cathedral in the Kuzbass district the city of Novokuznetsk. Transfiguration Cathedral - one of the historical monuments of Kuzbass, the only monument of religious architecture in the late XVII-beginning of XIX centuries. All measurements are made with modern geodetic instruments and applied the program to automatic processing of CREDO.

Key words: observation of the precipitation; observation of the banks; Transfiguration Cathedral; digital level; software CREDO.

Инженерно-геодезические работы на объекте: «Наблюдения за кренами и осадками здания Спасо-Преображенского собора в Кузнецком районе г. Новокузнецка» выполнены по заявкам Настоятеля Спасо-Преображенского собора в администрацию г. Новокузнецка с целью получения достоверных данных о вертикальном положении куполов и деформациях фундаментов собора.

Спасо-Преображенский собор находится в Кузнецком районе г. Новокузнецка, на правом берегу р. Томь, в 100 м. на северо-восток от железной дороги. Фундаменты «старого» здания построены из крепкого бутового камня на цементном растворе. Глубина залегания подошвы фундамента 2,15-2,45 м.

В 1621 г. в Кузнецком остроге был построен деревянный во имя Преображения Господня храм. Иконы, утварь и два колокола для него были подарены царем Михаилом Федоровичем. После пожара 1734 года он был восстановлен в изначальных объемах и архитектурных традициях, а в 1792 году начато строительство каменного здания Спасо-Преображенского собора, которое длилось 43 года. Торжественное освящение собора состоялось 5 августа 1835 г. Толщина стен храма – 1,5 м, а в месте примыкания трапезной и колокольни доходит до 2 м. Длина церкви 43 м. Высота центральной луковичи храма составляет 35 м, а луковичи колокольни – 40 м. Собор был построен на бутовом фундаменте. Основной строительный материал – кирпич, который укладывался на прочном известковом растворе.

Седьмого июня 1898 года Кузнецк пережил волну подземных ударов, в результате которых часть каменных зданий в городе дала трещины. Собор же, в силу прочности и изначальной грамотности проектировщиков и строителей, не получил серьезных повреждений [1].

В 1935 году храм полностью разграбили комсомольцы с Кузнецкого Металлургического Комбината, они разобрали половину колокольни, сняли кресты и порушили главки. В 1938-1939 годы в помещении разместили школу комбайнеров, а с 1940 года — хлебозавод.

С середины 1950-х годов здание оказалось бесхозным. По оценке специалиста, храм идеально подходил под органнй зал. Но Совет народных депутатов в 1989г. принял решение передать собор православным верующим.

Весной 1994 г. вокруг здания собора были возведены леса, началась затирка стен. В 1997 г. главный купол церкви и купола колокольни покрыли медью (рис. 1). На первом этаже уложили мраморный пол с подогревом. На Кузнецком металлургическом комбинате были изготовлены кресты на луковичные главки.

В 1999 г. были сняты все леса с храма, закончены отделочные работы. Купола собора покрыли позолотой.

Осенью 2004 года реставрационные работы и роспись собора завершены. Спустя 15 лет, в 2004 году Спасо-Преображенский собор с почти 400-летней историей своего прихода, разрушенный и омытый кровью мучеников в советскую эпоху, праздновал свое новое рождение.



Рис. 1. Восстановление Спасо-Преображенского собора, 1997 год

Наблюдения по измерению кренов и деформаций фундаментов были начаты во время восстановления храма в 2001 году. На сегодняшний момент выполнены 11 циклов наблюдений, последний цикл выполнен в августе 2014 года. Наблюдения за плановыми деформациями выполнялись электронным тахеометром SET 530R3-L. Обработка результатов выполнялась в программе CREDO_DAT 4.1

Затем данные, полученные в программе CREDO_DAT 4.1, были импортированы в программу CREDO Расчёт Деформаций 1.01. Также в качестве подложки в программу был импортирован файл dxf фрагмента топографического плана территории Спасо-Преображенского собора. На первом этапе в программе Расчёт Деформаций 1.01 был выполнен анализ устойчивости плановой сети контрольных пунктов (рис. 2). В программе заложены два метода анализа плановой сети – это метод последовательного анализа и классический метод наименьших квадратов. Первый метод имеет лучшую стабильность при малом количестве исходных пунктов, его мы и использовали при оценке надежности плановых наблюдений [2].

В программе Расчёт Деформаций 1.01 были построены траектории движения марок между выбранными циклами и для центрального и звонарного купола созданы радиальные графики развития деформации во времени. Программа имеет большой функционал по анализу и визуализации плановых деформаций,

если какие-то наблюдения выполнены с грубыми ошибками – это сразу видно в окне программы, такие наблюдения можно либо пересчитать, либо отключить, чтобы они не принимали участия в расчётах.

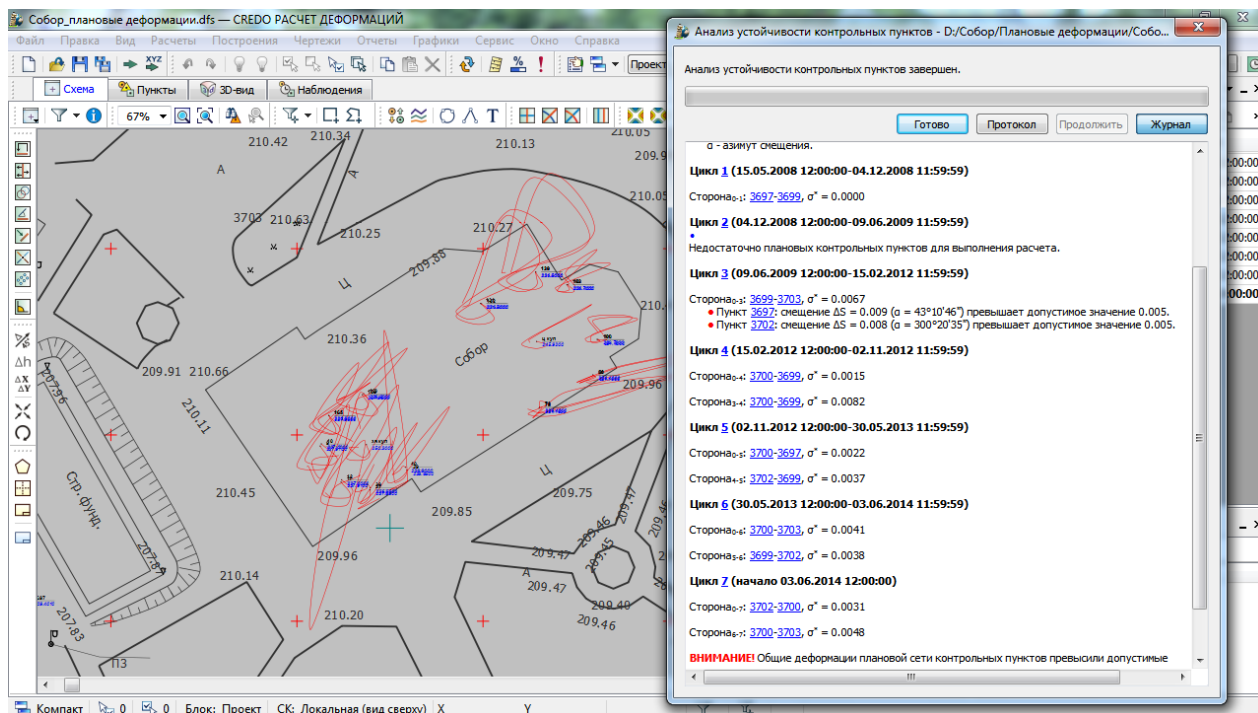


Рис. 2. Анализ устойчивости плановой сети контрольных пунктов

В программе Расчёт Деформаций 1.01 была создана анимация движения плановых деформаций длительностью 25 секунд, для наглядной демонстрации заказчику.

Допустимое приращение кренов в мм. для жестких сооружений - $0,004 \cdot H(\text{мм})$, при высоте центрального купола 36,31 м., допустимый абсолютный крен равен 0,145 м., при высоте звонарного купола 40,60 м., допустимый абсолютный крен равен 0,162 м.

По результатам наблюдений 11 циклов за кренами куполов собора фактические приращения абсолютных кренов не превышают допустимые крены.

Нивелирование II класса выполнялось нивелиром Ni 007 в начальных циклах и Trimble Dini 12. Нивелирование выполнено методом «из середины» согласно требованиям инструкции.

Вычисления ходов нивелирования 2 класса выполнялись в программе CREDO Нивелир 2.11. При использовании оптического высокоточного нивелира выполнялся постраничный контроль и превышения вводились в программу. При использовании цифрового высокоточного нивелира данные импортировались в программу, разбивались на секции и происходило уравнивание. В программе Нивелир 2.11 были введены условные плановые координаты марок и была построена схема по осадочным маркам.

Затем в программу CREDO Расчёт Деформации 1.01 были импортированы файлы niv, в котором содержатся, помимо плановых и высотных данных, схемы нивелирования с СКО осадочных марок. Также в программу был импортирован dxf файл плана собора для наглядности.

В программе есть функционал разделять один объект наблюдений на простые составляющие – блоки, для которых пользователь задаёт требуемые системы координат и графические представления. В нашем случае были созданы 2 блока – в первый входят марки, которые находятся на улице (18 марок, заложены в 2001 году), а во второй блок – марки, которые заложены внутри здания (9 марок, заложены в 2012 году). Программа позволяет отдельно визуализировать как общую картину, так и то, что происходит с осадочными марками внутри собора.

На первом этапе производился анализ устойчивости высотной сети контрольных пунктов. Программа методом простого перебора находит пункт с наиболее устойчивой отметкой и сравнивает превышения относительно этого пункта в начальном и конечном цикле [2]. Если у пользователя сохранились все вычисления в программе CREDO Нивелир 2.11 по всем циклам, то можно очень быстро пересчитать все циклы с исходным наиболее устойчивым репером.

В программе Расчёт Деформаций 1.01 был выполнен прогноз осадки на один год вперед (рис. 3). Программа строит график линии тренда развития осадок во времени. Пользователь может задать вид аппроксимирующей функции, выбрав тип линии тренда – линейный, квадратичный либо периодический. Программа предлагает также автоматически рассчитать и построить график наиболее достоверной аппроксимирующей функции. При построении графика отображается прогнозируемое максимальное и минимальное значение, которое зависит от времени прогноза, чем больше прогноз – тем шире граница значений. На графике отображаются СКО определения марки.

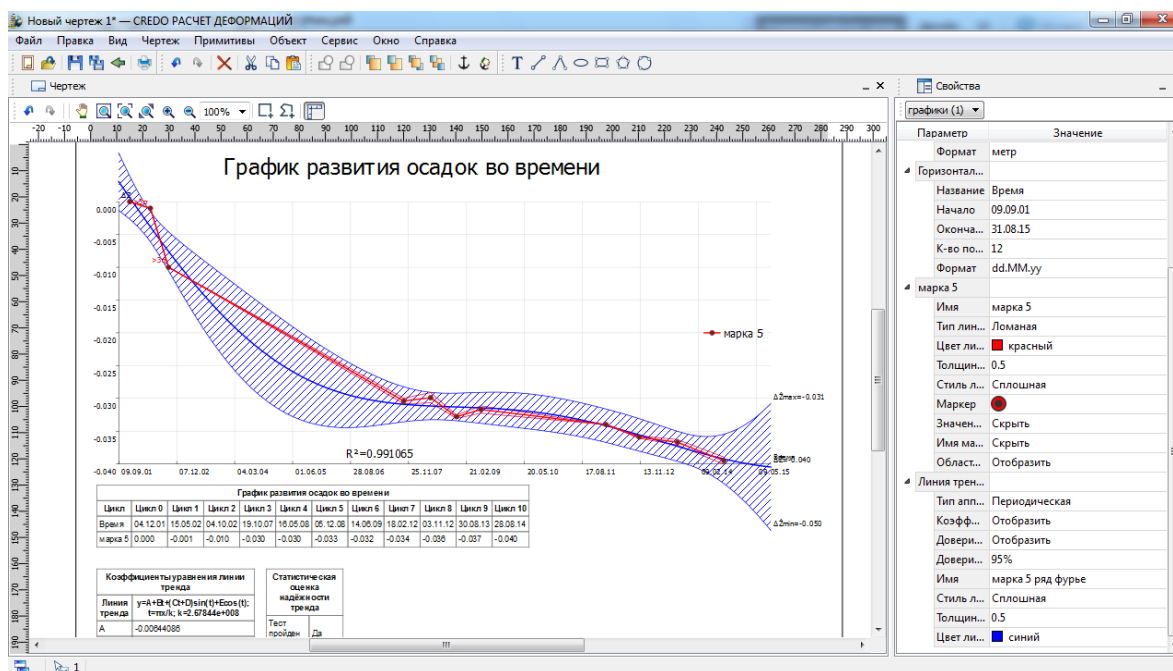


Рис. 3. Прогноз развития осадки 5й марки на конец августа 2015 года

В качестве эксперимента для каждой марки был определен прогноз на конец августа 2015 года по наиболее достоверно аппроксимирующей функции. Данные введены в программу и была построена деформационная поверхность. Функции прогнозирования деформационной поверхности нет, но мы думаем в будущем разработчики добавят этот функционал. Было бы интересно в 2015 году сравнить прогноз с фактическими данными.

Также как и с плановыми деформациями в программе Расчёт Деформаций 1.01 была создана анимация движения высотных осадок длительностью 45 секунд для наглядной демонстрации заказчику.

В качестве результатов программа Расчёт Деформаций 1.01 позволяет создавать различные графики, чертежи, ведомости и сводные таблицы по циклам (рис. 4).

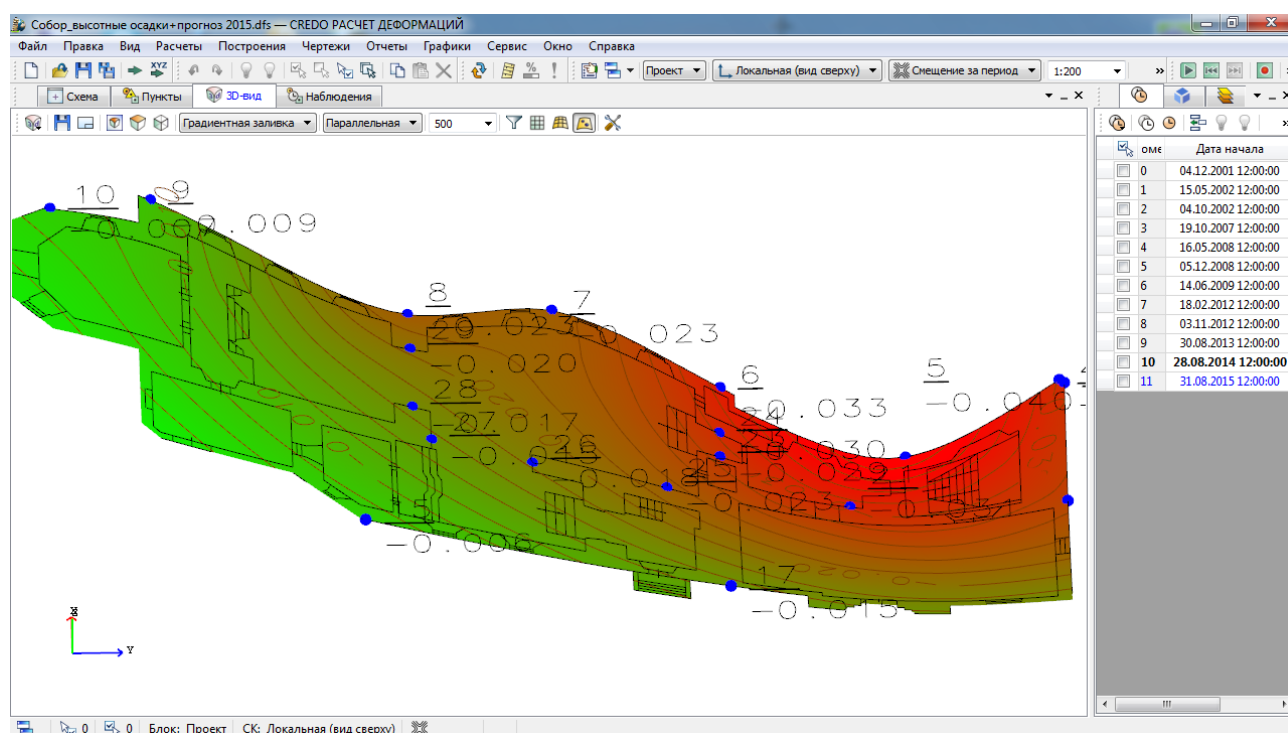


Рис. 4. Чертеж трехмерной модели деформационной поверхности собора

На примере данного объекта мы хотим сохранить наше историческое достояние и показать весь функционал программных продуктов CREDO по мониторингу кренов и осадок зданий и сооружений.

Наблюдения за кренами и осадками продолжаются с циклом в 1 год. Фундаменты Спасо-Преображенского собора подвержены неравномерной осадке с конца 2001 г. и по настоящее время. Собор был построен на старом фундаменте, фундамент предварительно укреплялся. По словам очевидцев строительства южная часть фундамента была не укреплена, это подтверждается наблюдениями (марки 5-10). Также одной из причин осадки здания по оценкам специа-

листов могут являться железная дорога, которая проходит в 100 метрах от собора, и тектонический разлом, проходящий в 250 метрах от собора. Годовые скорости осадки уменьшаются. Фундаменты главного собора стабилизируются. Учитывая уровень ответственности, которую мы несем перед следующим поколением, необходимо и впредь продолжать работы по контролю и обеспечению сохранности нашего исторического наследия.

Это производственный проект принимал участие в IX конкурсе производственных проектов, выполненных с применением CREDO, итоги были подведены на юбилейной конференции «Технологии CREDO – нам 25 лет!» 25-26 ноября 2014 года в городе Минск. Данная работа заняла 1 место в номинации «Геодезия и топография»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лизогуб П.П. Тернистый путь собора // Кузнецкий рабочий. – 2008. - №17.
2. Будо А.Ю., Васильков Д.М., Грохольский Д.В. Расчет осадок деформаций в CREDO // Геопрофи. – 2014. - №1. с. 24-28.

© Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов, Е. А. Звягинцев, 2015

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОБЛЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ РЕСУРСОБЕСПЕЧЕННОСТИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Сергей Анатольевич Цыганов

Новосибирский геологоразведочный техникум, 630048, Россия, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 119, преподаватель, тел. (383)314-94-08, e-mail: nickzwei@ya.ru

В статье рассмотрены вопросы глобальной ресурсообеспеченности, приведены прогнозы обеспеченности основными видами полезных ископаемых, установлены реперные точки геомониторинга и предложены инновационные идеи решения данной проблемы.

Ключевые слова: ресурсообеспеченность, геомониторинг, инновационный рециклинг, бурение сверхглубоких скважин.

COMPLEX MONITORING THE PROBLEMS OF GLOBAL RESOURCING AND INNOVATIVE SOLUTIONS

Sergey A. Tsyganov

Novosibirsk Geological College, 630048, Russia, Novosibirsk, 119 Nemirovich-Danchenko St., teacher, tel. (383)314-94-08, e-mail: nickzwei@ya.ru

The article discusses the global resourcing, gives forecast the provision of basic kinds of minerals, sets reference points of geomonitoring and offers innovative ideas to solve this problem.

Key words: Resourcing, geomonitoring, innovative recycling, drilling ultradeep wells.

Несмотря на осуществление многими странами политики ресурсосбережения, спрос на минеральное сырье в мире быстро возрастает как в количественном плане (примерно на 5% в год), так и в «ассортиментном» отношении. Сам термин «полезные ископаемые» обнаруживает сегодня свою неудачность, поскольку число «бесполезных ископаемых», т. е. не используемых человечеством, стало резко сокращаться, и с учетом перспективы совершенствования технологии и развития малоотходных циклов в промышленности понятие «полезные ископаемые» фактически распространяется теперь на всю литосферу. Наиболее доступные месторождения ископаемых быстро истощаются. Так, интенсивная разработка месторождений железной руды привела к истощению многих залежей не только Старого, но и Нового Света. Оскудели запасы этой руды на Урале, в Лотарингии (Франция), у Великих американских озер. Заметно обеднели ресурсы медных руд в Замбии и Заире. А тихоокеанское государство Науру, некогда славившееся колоссальными запасами фосфоритов, уже практически лишилось их. Подчеркнем, что в данном случае речь идет лишь о земной коре, составляющей менее 0,5% общей массы Земли (ядро и мантия составляют около 99,6%). Распространенность элементов в земной коре характеризуется кларками — весовыми процентами от общей массы. Если исходить из значений Кларков, то запасы минеральных ресурсов в земной коре настолько

огромны, что все разговоры об остроте глобальной сырьевой проблемы кажутся несерьезными.

Но человечество сегодня полагается на идентифицированные ресурсы, т. е. выявленные, «обсчитанные», доступные для рентабельной добычи, а не на потенциальные — рассеянные, сосредоточенные в низших слоях земной коры.

Согласно последним прогнозам, основных видов полезных ископаемых хватит до второй половины XXI в. Это оптимистические прогнозы, основанием для которых явились повышение эффективности геологоразведочных работ, уточнение запасов полезных ископаемых, открытие новых крупных месторождений, совершенствование способов добычи и переработки сырья. В соответствии с пессимистическими прогнозами уже в ближайшие десятилетия будут исчерпаны запасы свинцовых и цинковых руд, олова, золота, серебра, платины, асбеста, затем прекратится добыча никеля, кобальта, алюминия и т. д. Эти серьёзные проблемы и стали основополагающими в этом исследовании, которое потребовало установлении реперных точек геомониторинга и соответствующих инновационных идей для их решения.

Научное исследование проблемы:

Человек с древнейших времён добывал и использовал для своих нужд различные полезные ископаемые. Золото получали уже 4—5 тыс. лет назад, алмазы добывали ещё раньше, чем золото, медь добывается с конца IV тысячелетия до н. э., свинец и цинк — с VII—VI тысячелетия до н. э. (рис. 1)



Рис. 1. Самородное золото, алмазы

По мере развития научно-технического прогресса всё более увеличивались объёмы добычи полезных ископаемых и росло число их видов. По подсчётам В. И. Вернадского, выполненным в 1915 г., человечеством в античную эпоху добывалось и использовалось всего 19 элементов, в XVIII в. — 28, в XIX в. — 50, в начале XX в. — 60. Теперь же, в начале XXI в., используются все 89 химических элементов, содержащихся в земной коре. Возросли и темпы извлечения полезных ископаемых. Так, например, мировая добыча и потребление руд цветных металлов за последние 25 лет увеличились в несколько раз. Поиск и

освоение новых, месторождений охватили практически всю приповерхностную часть земной коры, включая прибрежный шельф и дно Мирового океана.

Сейчас в мировом хозяйстве используется около 200 видов минерального сырья разных типов: топливно-энергетическое (нефть, газ, уголь, уран), чёрные, легирующие и тугоплавкие металлы (руды железа, марганца, хрома, никеля, кобальта, вольфрама и др.), цветные металлы (руды алюминия, меди, свинца, цинка, ртути и др.), благородные металлы (золото, серебро, платиноиды), химическое и агрохимическое сырьё (калийные соли, фосфориты, апатиты и др.), техническое сырьё (алмазы, асбест, графит и др.), флюсы и огнеупоры, цементное сырьё и строительные материалы. Для определения обеспеченности экономики государства каким-либо сырьём используют понятие «кратность запасов», т.е. отношение объёмов остаточных запасов к объёмам их текущей добычи в год. Таким образом, кратность запасов показывает, сколько лет данное сырьё может обеспечивать экономику страны при сложившихся темпах его потребления. Используя этот показатель, оценивают и мировые запасы полезных ископаемых.

С течением времени стало очевидно, что высокие темпы добычи полезных ископаемых ведут к истощению большинства месторождений, расположенных в благоприятных геологических условиях и характеризующихся высокой концентрацией извлекаемого полезного минерального вещества. В результате начали разрабатывать месторождения, которые ранее считались экономически нерентабельными: либо залегающие в неблагоприятных геологических условиях (например, на больших глубинах), либо имеющие низкую концентрацию полезных ископаемых. Но включение в разработку таких месторождений не решает проблемы обеспечения человечества минеральным сырьём, поскольку и они истощаются по мере разработки.

Запасы большинства доступных полезных ископаемых, находящихся в земной коре, ограничены и со временем могут полностью исчезнуть. Например, общие ресурсы ископаемых углей на Земле огромны и составляют около 13 868 млрд тонн. При сохранении нынешнего объёма ежегодной добычи запасов угля в мире может хватить примерно ещё на 210—220 лет. Общие запасы природного газа составляют приблизительно 271 трлн м³, из них к началу 90-х гг. XX в. разведано 109,3 трлн м³. Кратность извлекаемых запасов газа к тому же периоду составила около 130 лет.

Исследуя с научной точки зрения данный вопрос необходимо сказать о таком понятии как ресурсообеспеченность. Это соотношение между величиной (разведанных) природных ресурсов и размерами их использования. Она выражается либо количеством лет, на которые должно хватить того или иного ресурса при данном уровне потребления, либо его запасами из расчета на душу населения при современных темпах добычи или использования. Ресурсообеспеченность минеральными ресурсами определяется количеством лет, на которые должно хватить этого полезного ископаемого. По расчетам ученых, мировых общегеологических запасов минерального топлива при современном уровне добычи может хватить более чем на 1000 лет. Однако если учитывать

запасы, доступные для извлечения, а также постоянный рост потребления, такая обеспеченность может сократиться в несколько раз. Для хозяйственного использования наиболее выгодны территориальные сочетания минеральных ресурсов, которые облегчают комплексную переработку сырья.

Лишь несколько государств мира обладают значительными запасами многих видов минеральных ресурсов. Среди них — Россия, США, Китай.

Многие государства имеют месторождения одного или нескольких видов ресурсов мирового значения. Например, страны Ближнего и Среднего Востока — нефть и газ; Чили, Заир, Замбия — медь, Марокко и Науру — фосфориты и т. д.

Говоря о разных теориях о «цифрах запасов» полезных ископаемых возникает главная проблема человечества. И краеугольным вопросом этой глобальной проблемы является вопрос: «Не приведёт ли истощение подземных кладовых к остановке прогресса и гибели цивилизации, лишённой минерально-сырьевых и минерально-энергетических ресурсов?»

Ответ на этот вопрос непрост. В принципе, истощение полезных ископаемых происходит не одновременно и не вдруг. Кроме того, в разных странах этот процесс идёт с разной скоростью. Есть государства с успешно развивающейся экономикой, не имеющие тех или иных полезных ископаемых (например, в Японии нет своей нефти - её закупать сырьё всё равно приходится).

Инновационные решения, «Семь инновационных идей»:

Исходя из исследования данного вопроса возможно предложить несколько инновационных идей, которые реально помогут решить данную проблему:

они будут своеобразным ответом на вопрос - где же выход из создавшегося положения?

1. Следует прежде всего разработать стратегию рационального использования недр Земли - как одного из элементов глобальной экологической политики (рис. 2) [5,6].



Рис. 2. Принцип рациональности

2. Уменьшение запасов сырья уже сейчас заставляет человека искать замену тому или иному полезному ископаемому. Разработка альтернативных технологий и производств, использующих иные минеральные ресурсы, — один из

путей выхода из кризисной ситуации. Как один из примеров использование солнечной энергии вместо угля и газа для производства энергии (рис. 3).



Рис. 3. Альтернативные источники энергии

3. Добыча полезных ископаемых при разработке месторождений, как правило, сопровождается гигантскими потерями из-за несовершенства технологий добычи, стремления к снижению затрат и т. п. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование способов добычи, снижение или полное исключение потерь. А то, что остаётся после разработки месторождений часто называют «лунным ландшафтом». Картина этого впечатляет и удручает одновременно. С одной стороны человек приложил огромные усилия по добычи полезных ископаемых так необходимых ему. Но с другой стороны он нанес огромный вред экосистеме Земли (рис. 4).



Рис. 4. « Лунный ландшафт»

4. Разработка месторождений более глубоких горизонтов земной коры — ещё один путь выхода из кризиса. Опыт бурения сверхглубоких скважин (до глубины 10000 м и более) показывает, что глубокие горизонты земной коры не менее (а по ряду ископаемых — более) богаты полезными ископаемыми, чем поверхностные. Так, например, при бурении Кольской сверхглубокой скважины было установлено аномально высокое содержание золота и серебра в породах на глубине около 10 000 м. Это подтвердило гипотезу, что руды могут образовываться не только вблизи поверхности нашей планеты, но и на большой глубине [2].

5. Одним из самых очевидных путей выхода из минерально-сырьевого кризиса является — так называемый «инновационный рециклинг» [1], или вторичное использование и переработка отходов производства. Процесс круговорота веществ в природе — один из механизмов их возобновления и сохранения. Например, именно благодаря круговороту воды мы имеем практически неисчерпаемые и возобновляемые её запасы. Если искусственно организовать круговые циклы для различных минеральных веществ, то отпадёт необходимость в их добыче. Достаточно будет того количества, которое уже находится в сфере промышленного и хозяйственного использования [3].

6. Новые научно-инновационные методы исследования в геологии также призваны решить сырьевую проблему человечества.

Научные исследования в геологии развиваются в условиях постоянного обновления информации о геологическом строении и минерагеническом потенциале недр, появления новых идей и концепций, а также изменения экономической и геополитической ситуации. Решающее значение в развитии научных геологических исследований имеет возможность обработки и освоения огромного объема геологических, геофизических, геохимических и дистанционных данных на основе современных информационных технологий. Принципиально новым является переход от качественных оценок к количественным моделям.

Разрабатываются новые подходы к тектоническому районированию и прогнозированию открытия месторождений полезных ископаемых на основе геодинамического анализа. Существенно усовершенствованы используемые и разработаны новые методы исследования вещества и строения недр Земли, позволяющие получать всестороннюю аналитическую характеристику геологического вещества на основе элементного и изотопного анализа. Использование новых физических методов дает возможность выявить детальные особенности внутреннего строения минералов. Значительное повышение чувствительности геофизических методов и их комплексное применение привело к существенной детализации и новому пониманию внутреннего строения Земли. Отмечается расширение масштаба и объектов геологических исследований: кроме верхних горизонтов земной коры, в сферу интересов геологии уже сейчас вовлечена вся литосфера, территория континентального шельфа и дно Мирового океана. Это стало возможным благодаря глубокому и сверхглубокому бурению, возросшей точности геофизических исследований, особенно различных сейсмических ме-

тодов, успехам экспериментальной петрологии и минералогии, а также в изучении каменного материала глубинного происхождения, успехам в механике (физике) горных пород условиях высоких температур и давлений. К настоящему времени достаточно детально изучены нефтегазоносные и нефтегазоперспективные отложения осадочных бассейнов России до глубин 3,5 – 4,5 км. Весьма актуальным становится повышение глубинности исследований в пределах территории Российской Федерации и получение новых данных о нефтегазоносности ее континентального шельфа [2].

7. Ещё одна инновационная идея, которая способствует решению общей глобальной задачи – это международная кооперация и сотрудничество

Приведенное выше исследование (геомониторинг) проблем связанных с поиском и добычей природных ископаемых, как в России так и за её пределами – привёл нас к пониманию того, что в существующих условиях самостоятельно - каждая отдельно взятая страна неспособна решать появившиеся перед всем человечеством – сырьевые проблемы. Необходимо международное сотрудничество на всех уровнях. В том числе и на уровне сотрудничества в области инновационных программ подготовки специалистов геологов, геофизиков и буровиков в разных странах [4].

Переход на инновационный путь развития геологической отрасли не возможен без технического перевооружения средств получения геологической информации, ее обработки и интерпретации. Особенно это важно для России. Так как за последний период значительно сократилась база современного геологического оборудования. Основными приборами получения геологической информации в России являются зарубежные геофизические приборы.

Совместное использование современных компьютеризированных систем сбора, обработки и оперативной передачи геологических, геофизических и геохимических данных дает возможность создавать: более точные геологические карты, прогнозировать землетрясения, извержения вулканов, цунами и проводить мониторинг геологической среды и геологических опасностей, прогнозировать крупные и сверхкрупные запасы полезных ископаемых по геохимическим и изотопно-геохимическим данным.

Общий вывод:

Естественно приведённое исследование и предложенные новые инновационные методы решения указанной проблемы не является полным или вернее окончательным решением задачи нехватки полезных ископаемых для нужд человечества. Это проблема настолько глобальна, что решить её можно только в комплексе и в международном сотрудничестве.

Скорее всего - это попытка осмыслить происходящее с точки зрения профессии, которую мы изучаем в техникуме. Понять от чего отталкиваться и каким путём двигаться в геологии, как в науке. Так как, по общему мнению в настоящее время геология является, пожалуй, фундаментальной наукой для развития науки и техники в целом, которая обеспечивает экономическую мощь государств и практическую деятельность человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клавдиенко В.П. Сырьевая составляющая устойчивого развития мирового сообщества // Вестник МГУ, сер. 6, Экономика, 2002, № 2, С. 23--39.
2. Шабанов В.В. Введение в рациональное природопользование : учебное пособие : для студентов высших учебных заведений / В.В. Шабанов ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. гос. образоват. учреждение высш. проф. образования, Моск. гос. ун-т природообустройства. - М.: РИО МГУП, 2007.
3. Стратегия развития газовой промышленности России/ Под общей ред. Р.И. Вяхирева и А.А. Макарова. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. Черноусов П.И. Рециклинг. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов в черной металлургии PDF. Монография. - м.: мисис, 2011. - 428 с.
5. Комар И.В. Рациональное использование природных ресурсов и ресурсные циклы. М., 1986. 12. Минц А.А. Экономическая оценка естественных ресурсов.
6. Марцинкевич В. Мировая экономика в XX веке: потрясающие достижения и серьезные проблемы / Мировая экономика и международные отношения, 2001, №1.

© С. А. Цыганов, 2015

ИНТЕГРАЦИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ ИНТЕРФЕЙСА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Михаил Михайлович Кабанов

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, младший научный сотрудник; Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. (3822)49-21-60, e-mail: mike.kabanov@gmail.com

Сергей Николаевич Капустин

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, младший научный сотрудник; Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. (3822)49-21-60, e-mail: skm@imces.ru

В работе описаны последние усовершенствования программного обеспечения системы контроля геодинамических процессов (АСК-ГП). Необходимость использования нового измерительного оборудования потребовала интегрирования новых видов данных в систему. Расширены возможности интерфейса и административные возможности системы в связи с расширением активной сети станций и круга пользователей.

Ключевые слова: интернет приложения, автоматизация измерений.

NEW HARDWARE INTEGRATION AND ITERFACE ENHANCEMENTS TO HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR GEODYNAMIC PROCESSES MONITORING

Mikhail M. Kabanov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, 10/3 Akademicheskyy pr., junior scientific officer; National research Tomsk state university, 634055, Russia, Tomsk, 36 Lenina pr., tel. (3822)49-21-60, e-mail: mike.kabanov@gmail.com

Sergei N. Kapustin

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, 10/3 Akademicheskyy pr., junior scientific officer; National research Tomsk state university, 634055, Russia, Tomsk, 36 Lenina pr., tel. (3822)49-21-60, e-mail: mike.kabanov@gmail.com

The work describes latest enhancements to the software for Automated System for Geodynamic Processes Monitoring. New measurement hardware introduction demanded to integrate new types of data into the system. Interface and administration tools are enhanced substantially to accommodate larger sensor network, sensor diversity and growing user base.

Key words: internet applications, measurement automation.

Работа, описанная в докладе, проводилась в рамках проекта по созданию автоматизированной системы контроля геодинамических процессов (АСК-ГП).

Подробную информацию о проекте можно найти в публикациях [1]. Базовое описание разработанного продукта и изменений имеется в [2,3].

Система аккумулирования, хранения и анализа данных разработана на платформе Java 2 EE с базой данных под управлением СУБД MySQL. В качестве клиента для доступа используется веб-браузер. Управление осуществляется через специально разработанный веб-интерфейс.

В течение последнего времени в сети измерителей появились следующие новые типы оборудования:

1. Регистратор МТЗ. С точки зрения программного обеспечения, данное оборудование обладает следующими особенностями:

1.1. Наличие трех каналов регистрации показателей, вместо двух.

1.2. Отсутствие данных по амплитуде показателей в измерениях.

2. Регистратор ГР. Один канал регистрации показателей.

Для интеграции данных нового оборудования в программную оболочку были осуществлены изменения структуры базы данных, основной задачей которых, являлось обеспечение работы с данными измерений разных регистраторов в рамках единого интерфейса и аналитического аппарата.

Использование регистраторов ГР, установленных попарно в качестве замены регистраторам МГР, привело к необходимости ввести в программную часть управления станциями в системе понятие виртуальной станции. Данная возможность интерфейса позволяет администратору системы объединить два одноканальных регистратора ГР, установленных совместно в единую станцию с точки зрения сбора, хранения, отображения и анализа данных. Ранее добавление новых станций в систему производилось автоматически на этапе сбора данных – при появлении данных с новой станции, информация о ней заносилась в базу данных. Для создания виртуальных станций был разработан отдельный пользовательский интерфейс (рис. 1).

Сохранить Отмена

ID: 48

Серийный номер: 3431423144f2ff33V

Имя: MGR2-4

Цвет: black ▼

Интервал: 60

Kh1: 0.0

Kh2: 0.0

Kh3: 0.0

Каналы: 2 ▼

☐ Виртуальная станция

Mh1	1.0
Mh2	1.0
Mh3	1.0

H1

Станция: 3431423144f2ff33 ▼ Параметр: H1 ▼

H2

Станция: 343142314f1cff33 ▼ Параметр: H1 ▼

С даты: 06-Mar-2015 00:00:00

Рис. 1. Интерфейс создания виртуальной станции

Расширение круга пользователей системы привело к необходимости внести ряд изменений, как в пользовательском интерфейсе, так и в административной части.

В частности, отображение измерений по совокупности станций, включая реперную, порой приводит к тому, что пиковые показатели по тестовым станциям влияют на общий масштаб графика, препятствуя корректному отображению измерений реперной станции. Для удобства пользователей был добавлен элемент управления графиком, позволяющий вручную задавать максимальное значение шкалы ординат, определяя, таким образом, удобный масштаб графика (рис. 2).

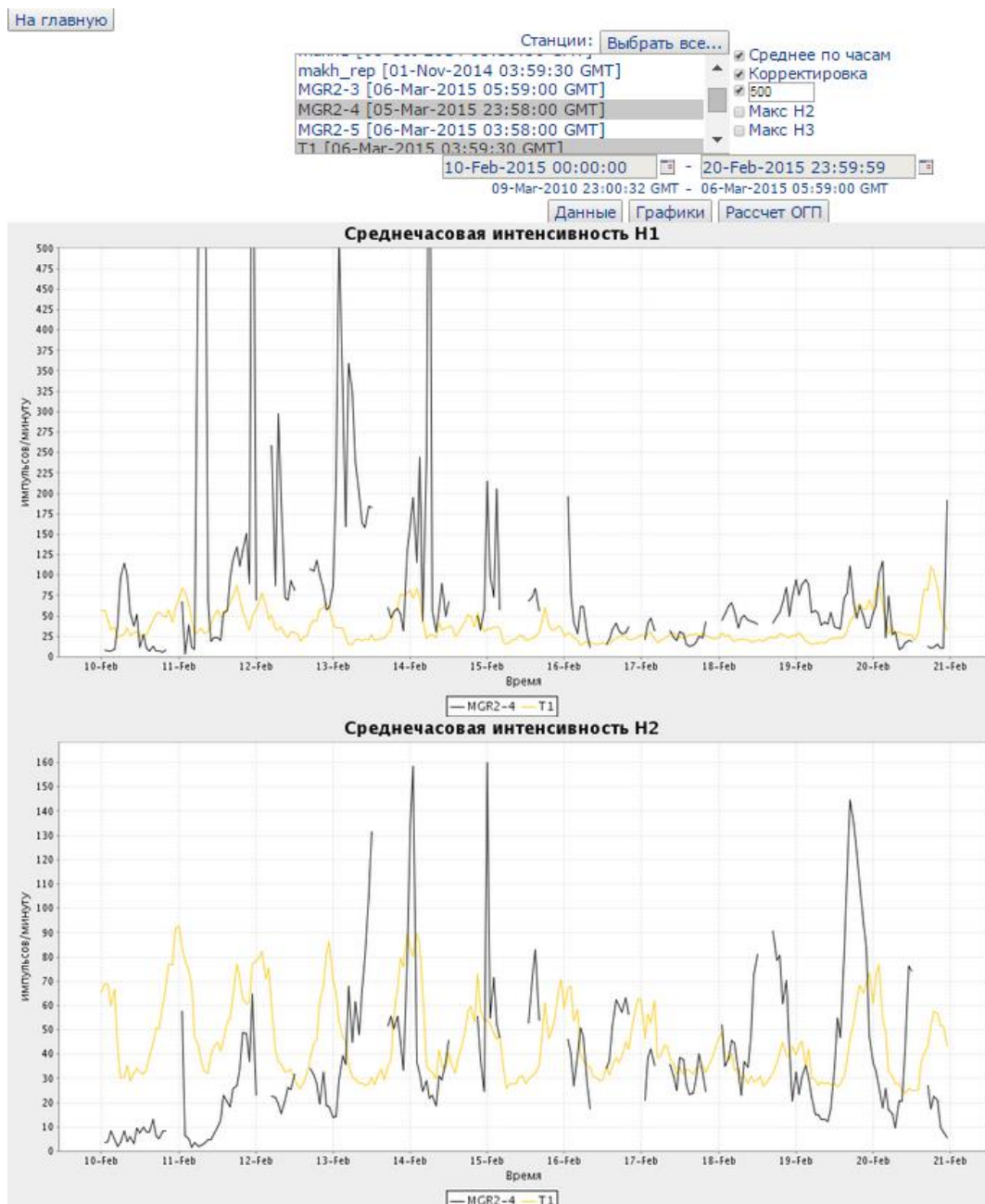


Рис. 2. Ручное определение максимального значения среднечасовой интенсивности для группы станций

В связи с расширением круга пользователей программной системы, и, в большей степени, дифференциацией необходимой функциональности для разных видов пользователей (наблюдатели, исследователи, администраторы и пр.) было принято решение по доработке и расширению административного интерфейса в части управления уровнем доступа пользователей к интерфейсной части приложения. Учитывая структуру различий между требуемым доступом, разграничение прав и доступа к интерфейсу было реализовано на уровне групп пользователей (рис. 3).

Сохранить
Отмена

Имя: Researcher

Пермиссии:

Главная Страница

- ☐ Видит кнопку "Администрирование" на главной странице
- ☒ Видит кнопку "По одной станции" на главной странице
- ☒ Видит кнопку "По нескольким станциям" на главной странице
- ☒ Видит кнопку "Статус станций" на главной странице
- ☒ Видит кнопку "Сбои" на главной странице
- ☐ Видит кнопку "Расчеты" на главной странице
- ☒ Видит кнопку "Группы станций" на главной странице

Отчеты"

- ☒ Видит кнопку "В файл" для станций
- ☒ Видит кнопку "Данные" для станций
- ☒ Видит кнопку "Графики" для станций
- ☒ Видит кнопку "Приведенные" для станций
- ☒ Видит кнопку "Распределение" для станций
- ☒ Видит галку "Среднее по часам" для станций
- ☒ Видит галку "Коррекция" для станций
- ☒ Видит галки "Макс пик" для станций
- ☒ Ручной подбор коэффициентов
- ☒ Выводить графики корреляции
- ☒ Выводить графики приведенные с корреляцией
- ☒ Выводить графики приведенные
- ☒ Видит графики НЗ

Группа станций

- ☐ Добавлять группу станций
- ☐ Удалять группу станций
- ☒ Изменять состав станций в группе
- ☐ Изменять имя станции
- ☐ Изменять границы раскраски
- ☒ Изменять реперную станцию

Доступ к группам станций:

☒ Osetia	☒ Other	☒ TEMP	☒ Udmurt	☒ buriatia
☒ buriatia_reper	☒ kamchatka	☒ kamchatka_reper	☒ kavkaz-geo	☒ kavkaz-geo_reper
☒ khabarovsk	☒ max	☒ mtz	☒ mtz_reper	☒ reper_Osetia
☒ reper_TEMP	☒ reper_Udmurt	☒ reper_max	☒ reper_other	☒ reper_sgr
☒ sgr	☒ talaya	☒ talaya_reper	☒ test	☒ zhigansk

Доступ к станциям:

☒ 0000000000000002	☒ 0000000000000003	☐ 006172616d657465	☐ 0069c91555706c0a	☐ 008edf2133298915
☒ 333547318787ff34	☒ 33354731f26cff34	☐ 3431423144f2ff33	☐ 343142314f1cff33	☐ 343142315cfff33
☐ 3630503111f9ff37	☐ 363050311d02ff37	☒ 3630503122f4ff37	☐ 363050314d5eff37	☐ 363050317336ff37
☐ 36305031c831ff37	☒ 36305031c995ff37	☒ 36305031ef16ff37	☐ 86804eda1bcf9215	☐ 8b049e711e000000
☒ 333547316394ff34	☒ 33354731f633ff34	☒ 333547311006ff34	☒ 71902aea00000048	☒ 71cf8c9f000000c4
☒ 712f08ea00000010	☒ 71d2959f0000005a	☐ 343142315cfff33v	☐ 3431423144f2ff33v	☐ 363050311d02ff37v
☒ 71b88f9f00000097	☐ 71b3c00a01000022	☒ 71c49d9f0000008d	☒ 717b1dea0000004c	☒ 71a71aea000000a4
☒ 71ee9e9f000000ba	☒ 7152328b000000e4	☒ 7176e48a000000c3	☒ 711f7be0000000c5	☒ 717117ea0000003e
☒ 717877e0000000a2	☒ 7179a69f00000034	☒ 715926ea00000060v	☒ 715926ea00000060	☒ 71317de0000000fc
☒ 71c929ea000000be	☒ 719e048b0000001e	☒ 34314231eb59ff33v	☒ 34314231eb59ff33	☒ 363050318547ff37
☒ 71ef20ea00000049	☐ 718a26ea000000fd	☒ 71c404ea000000e0	☒ 36305031c995ff37v	

Точка входа:

Рис. 3. Окно определения прав доступа для группы пользователей

Для каждой группы пользователей можно задать доступные элементы интерфейса на главной странице, доступные отчеты, включая функции экспорта и анализа, административные возможности по управлению группами станций, доступ к индивидуальным станциям. Подобный подход к разграничению доступа позволяет удобно распределять возможности системы как по функционалу, необходимому пользователю (наблюдение, анализ, управление), так и по географическому принципу (доступные для наблюдения и анализа станции).

Кроме описанных выше изменений в программной системе, также, был значительно расширен функционал экспорта данных измерений, оптимизирована эффективность запросов к данным.

Дальнейшие запланированные доработки системы включают в себя анализ и мониторинг корректности данных на основе алгоритма обнаружения разладки случайных процессов и дальнейшую оптимизацию структуры данных и запросов к СУБД для сокращения времени формирования отчетов и экспорта данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П., Шталин С.Г., Малышков С.Ю., Поливач В.И., Заде-риголова М.М. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оползневого склона по параметрам радиошумов системой АСК-ГП // Сборник материалов VI международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ 2010». Том 1, ч.2. С. 8-12.
2. Кабанов М. М., Капустин С. Н., Колтун П. Н., Милованцев П. Б. Интернет портал системы контроля геодинамических процессов // Сборник материалов VII международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ 2011», т. 1., ч. 1, с. 138-142
3. Кабанов М.М., Капустин С.Н., Колтун П.Н., Милованцев П.Б., Развитие программной системы контроля геодинамических процессов. // Сборник материалов VII Международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2012», 17-19 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, Том 1, С. 234-238..

© М. М. Кабанов, С. Н. Капустин, 2015

НЕСТАНДАРТНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ОБНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА

Андрей Владимирович Войтенко

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, кандидат технических наук, заведующий кафедрой геодезии, тел. (3812)652-390, e-mail: andvoi81@rambler.ru

В статье освещается проблема учета изменения пространственных координат геодезических пунктов в глобальной земной системе отсчета. Представлены формулы, описывающие изменение азимута траектории и скорости движения точки на поверхности Земли в границах ЕУ на территории РФ. Приведены результаты эксперимента по вычислению координат наземной точки радиочастотных наблюдений спутников систем глобальной спутниковой навигации (Global Navigation Satellite System – GNSS) на заданную эпоху двумя способами. Предложена методика приведения к эпохе наблюдений ранее найденных параметров Гельмерта.

Ключевые слова: азимут, геодезическая линия, модель движения литосферных плит, преобразование координат по Гельмерту, прямая и обратная геодезические задачи на эллипсоиде, СК-95, ITRF, ITRS, Precise Point Positioning (PPP), WGS-84.

UNCONVENTIONAL APPROACH TO THE ISSUE OF THE COORDINATES OF GEODETIC POINTS UPDATING IN THE GLOBAL GEOCENTRIC REFERENCE SYSTEM

Andrey V. Voitenko

Siberian Automobile and Highway Academy, 644080, Russia, Omsk, 5 Prospekt Mira, Ph. D. in Engineering (Russian Scientific Degree "Candidate of Technical Sciences"), Head of the Department of Geodesy, tel. (3812)652-390, e-mail: andvoi81@rambler.ru

The article highlights the problem of accounting for changes in the spatial coordinates of geodetic stations in the global terrestrial reference frame. The formulas describing the change in the azimuth of the trajectory and velocity of a point on the Earth's surface within the EU on the territory of the Russian Federation. The paper presents experimental results on the computation of coordinates of a point the satellite positioning for the a point in time. The calculations were performed by two methods. The paper proposed a method of updating the previously found Helmert parameters for a limited area of geodetic works.

Key words: geodetic azimuth, geodesic line, mathematical plate motion model, Helmert transformation of coordinates point, direct and inverse survey computation on the ellipsoid, geodetic coordinate system 1995, ITRF, ITRS, Precise Point Positioning (PPP), WGS-84.

Совершенствование орбитальных методов космической геодезии и развитие цифровых и радиотехнических средств приема и обработки сигналов спутников систем глобальной навигации (Global Navigation Satellite System – GNSS) значительно упростило задачу определения пространственного положения геодезического пункта. Многосистемные и многочастотные GNSS-приемники ста-

ли доступны широкому кругу пользователей. Специализированные веб-сайты предлагают обработку статических и кинематических измерений и предоставляют каталоги координат и отчеты по уравниванию. Геодезисту достаточно провести спутниковые наблюдения оптимальной продолжительности при соблюдении благоприятных условий и отправить файл приемника посредством информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" на сервер организации-обработчика. Уточненные координаты пункта наблюдений и отчетная документация высылаются на обратный электронный адрес через непродолжительное время (приблизительно от 1,5 до 24 часов). Данные предоставляются в общеземной геоцентрической системе отсчета (ОГСО) – WGS-84. Компьютерные программы для обработки GNSS-измерений, разрабатываемые, как правило, производителями оборудования, так же реализуют возможность уравнивания спутниковой сети, прежде всего, в WGS-84.

Представляется, что применяя нужную технологию полевых работ и обработки GNSS-наблюдений, следуя действующим инструкциям топографо-геодезического производства и руководствам по эксплуатации GNSS-оборудования и соответствующих программ, специалист гарантированно получит геодезические широты (B_{WGS-84}), долготы (L_{WGS-84}) и высоты (H_{WGS-84}) определяемых точек с заданной точностью в WGS-84. Открытым на сегодняшний день остается вопрос корректного трансформирования полученных таким образом координат в применяемую на местности систему отсчета (СО). Последовательность математических операций для этого в большинстве случаев сводится к семипараметрическому ортогональному преобразованию Гельмерта геоцентрических координат X_{WGS-84} , Y_{WGS-84} , Z_{WGS-84} в государственную СО (СК-95) по формулам (1) [1] с последующим переходом к плоским прямоугольным координатам местной системы отсчета (МСО) в соответствии с ее ключами.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ X \end{pmatrix}_{СК-95} = (1+m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & +\omega_Z & -\omega_Y \\ -\omega_Z & 1 & +\omega_X \\ \omega_Y & -\omega_X & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{WGS-84} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ – углы поворота плоскостей ZOY, ZOX, XOY системы WGS-84 вокруг осей абсцисс, ординат и аппликат системы СК-95, радианы;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – координаты начала системы WGS-84 относительно начала СК-95, метры;

m – разница в линейных масштабах второй и первой систем координат.

Связь геодезических высот с нормальными (ортометрическими) осуществляется с помощью глобальных, региональных или локальных моделей высот геоида или квазигеоида.

Описанная технология преобразований может совершенствоваться [2], но при этом неизменным и самым главным звеном алгоритма остается получение $X_{СК-95}$, $Y_{СК-95}$, $Z_{СК-95}$ по X_{WGS-84} , Y_{WGS-84} , Z_{WGS-84} .

В современной нормативной геодезической литературе приводятся значения параметров Гельмерта для связи WGS-84 и СК-95 [1, 3]. Мы их представили в табл.

Таблица

Параметры трансформирования пространственных геоцентрических координат из СК-95 в WGS-84

Название документа	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ω_X , уг. сек	ω_Y , уг сек	ω_Z , уг сек	m
ГОСТ Р 51794–2008	+24,80	-131,24	-82,66	0	0	0,20	-0,00000012
Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года	+24,653	- 129,136	- 83,057	- 0,06696	+0,00391	- 0,12902	-0,000000175

Государственная геодезическая сеть (ГГС) РФ и Международная земная отсчетная основа (ITRF) создавались в разное время, разными способами, с разной точностью и с разной степенью глобализации.

ITRF, идентичная основе WGS-84 с 2000 г [4], закреплена на поверхности Земли пунктами, взаимное положение которых определено на сантиметровом уровне. [5]. На территории РФ ITRF представлена геодезическими сетями постоянно действующих базовых станций (БС) IGS, NEDA, EUREF, расположение которых можно увидеть на рис. 1. Расстояние между самыми удаленными БС составляет 7000-8000 км, а между наиболее близкими – 600-700 км.

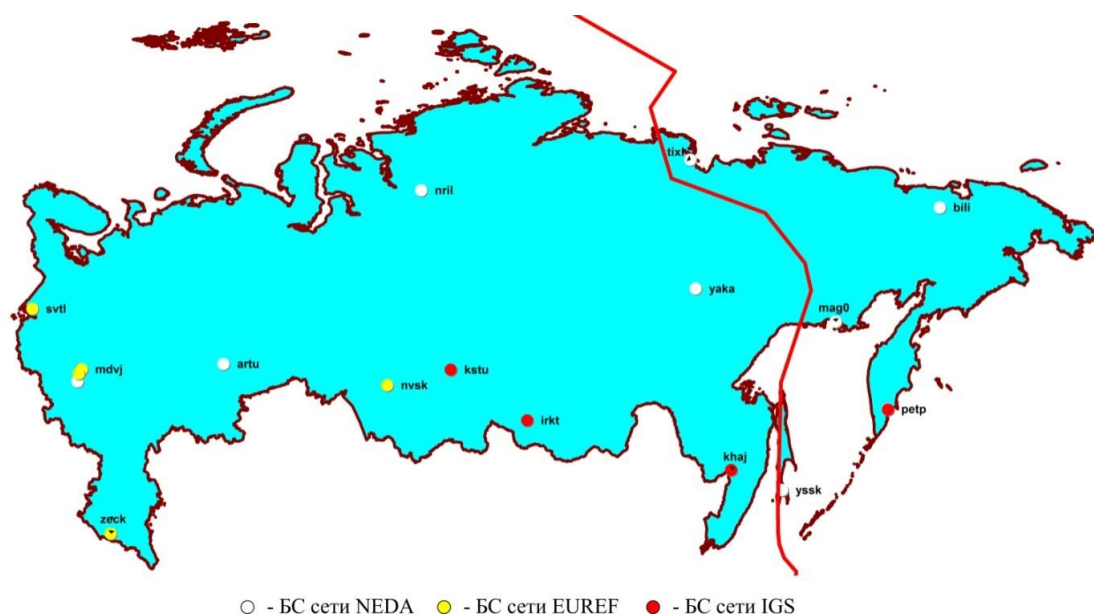


Рис. 1. Пункты сетей ITRF и граница EU на территории России

В [6] сказано, что в СК-95 средние квадратические погрешности (СКП) взаимного положения смежных пунктов АГС имеет однородный характер и составляет 0,02-0,04 м, а при расстояниях между пунктами от 1 до 9 тыс. км принимает значение 0,25 - 0,80 м. Детальное рассмотрение вопроса совместного уравнивания АГС для получения государственной системы отсчета 1995 года показывает, что на краях сети и в ее слабых местах имеются локальные искажения, превышающие указанные величины, обусловленные единственным реализованным методом уравнивания [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что практические реализации WGS-84 и СК-95 не равноточны. Параметры трансформирования координат, представленные в таблице 1, обеспечить сантиметровой уровень точности на всей территории России не могут. Геодезисту приходится самостоятельно определять параметры преобразования из СО спутников в государственную или связанную с ней местную систему на ограниченной территории объекта работ.

Каждая точка земной поверхности ежесекундно меняет свое положение относительно геоцентра. Мгновенные смещения малозаметны, однако их суммарное воздействие за определенный период можно выявить современными геодезическими измерениями. Повторяющиеся спутниковые наблюдения на пункте, проводимые с интервалом в несколько лет, позволяют зафиксировать изменение его координат.

Состояние земной коры не стационарно, ее деформация обусловлена влиянием различных геофизических факторов: прилив в твёрдом теле Земли, вызванный внешним приливообразующим потенциалом, океаническая приливная нагрузка, колебания атмосферного давления, изменение положения оси вращения в теле Земли, движение литосферных плит. Таким образом, в ОГСО координаты геодезических пунктов меняются с течением времени, оставаясь неизменными в местной системе отсчета. Значит, параметры связи СО спутников и МСО, найденные на эпоху t_0 , необходимо уточнить перед тем, как применять для преобразований координат, полученных из GNSS-наблюдений эпохи t_1 .

Авторы статьи [8] предлагают следующее решение поставленной задачи.

В границах объекта работ с установленной связью между спутниковой системой и МСО в виде элементов $\omega_X^{(I)}, \omega_Y^{(I)}, \omega_Z^{(I)}, \Delta X^{(I)}, \Delta Y^{(I)}, \Delta Z^{(I)}, m^{(I)}$, камерально разбивается равномерная сетка, состоящая из n узлов, которым присваиваются координаты $X^{(I)}, Y^{(I)}, Z^{(I)}$. Положение точек сетки на выбранный начальный момент времени (t_0), соответствует году проведения наблюдений на пунктах ГГС или геодезические сети сгущения (ГСС) в определенной земной геоцентрической системе отсчета, например ITRS. Количество узлов сетки может быть весьма значительным, так как ограничивается только размерами участка земной поверхности, на котором выполняются геодезические изыскания. Для всех узлов следует найти вектора смещений, обусловленных вращением Евразийской литосферной плиты (EU) за период Δt , по осям абсцисс, ординат и аппликат, а потом пересчитать их координаты на эпоху (t_1) повторного проведения геодезических работ и получить значения $X^{(II)}, Y^{(II)}, Z^{(II)}$.

По двум наборам координат вычисляются дополнения к основным параметрам, найденным ранее. То есть по матрицам $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$ составляют уравнения вида (1) для нахождения значений $\omega'_x, \omega'_y, \omega'_z, \Delta X', \Delta Y', \Delta Z'$:

$$A = \begin{vmatrix} X_1^{(I)} & Y_1^{(I)} & Z_1^{(I)} \\ X_2^{(I)} & Y_2^{(I)} & Z_2^{(I)} \\ X_3^{(I)} & Y_3^{(I)} & Z_3^{(I)} \\ \dots\dots\dots \\ X_n^{(I)} & Y_n^{(I)} & Z_n^{(I)} \end{vmatrix}; \quad B = \begin{vmatrix} X_1^{(II)} & Y_1^{(II)} & Z_1^{(II)} \\ X_2^{(II)} & Y_2^{(II)} & Z_2^{(II)} \\ X_3^{(II)} & Y_3^{(II)} & Z_3^{(II)} \\ \dots\dots\dots \\ X_n^{(II)} & Y_n^{(II)} & Z_n^{(II)} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} \omega'_X \\ \omega'_Y \\ \omega'_Z \\ \Delta X' \\ \Delta Y' \\ \Delta Z' \end{vmatrix}.$$

Дополнение m' к масштабному коэффициенту m следует считать равным нулю, так как моделируется только плановое смещение узлов сетки относительно принятого начального положения.

Для связи системы отсчета спутников с локальной системой в выбранный момент времени t_1 , необходимо рассчитать $\omega_x^{(II)}, \omega_y^{(II)}, \omega_z^{(II)}, \Delta X^{(II)}, \Delta Y^{(II)}, \Delta Z^{(II)}, m^{(II)}$ по формулам:

$$\omega_X^{(II)} = \omega_X^{(I)} + \omega'_X; \omega_Y^{(II)} = \omega_Y^{(I)} + \omega'_Y; \omega_Z^{(II)} = \omega_Z^{(I)} + \omega'_Z;$$

$$\Delta X^{(II)} = \Delta X^{(I)} + \Delta X'; \Delta Y^{(II)} = \Delta Y^{(I)} + \Delta Y'; \Delta Z^{(II)} = \Delta Z^{(I)} + \Delta Z'; m^{(II)} = m^{(I)}.$$

Авторами статьи [8] была разработана и написана компьютерная программа, позволяющая находить пространственные геодезические координаты массива точек на заданный момент времени по уже имеющимся координатам начальной эпохи в WGS-84. Для этого использовались формулы, описывающие изменение пространственного положения точки на поверхности ЕУ, предложенные в [9]:

$$A = 0,5886 \cdot L + 42,27^0, \quad (2)$$

$$S = -0,0001494M \cdot B + 0,03414M, \quad (3)$$

где A – азимут траектории движения точки, градусы;

L – долгота точки, градусы;

S – скорость движения точки, м/год;

B – широта точки в градусах, безразмерный коэффициент.

Формулы (2), (3) были получены при анализе изменения положения постоянно действующих БС сетей Международной GPS-службы (МГС) на территории РФ. В среднем пространственное смещение БС за 13 лет составило 0,302 м. Одна из причин этого явления – движение Евразийской и Северо-Американской (NA) литосферных плит.

Большая часть России расположена на Евразийской литосферной плите, а направление и скорость вращения EU и NA различны. Автор работы [10] рас-

смотрел и математически описал изменение широты и долготы 11-ти пунктов ITRF на EU. Их смещения относительно сторон света от года к году с 01.01.2000 по 01.01.2013 гг. отображено на графике (рис. 2, а). Начало движения базовых станций за указанный период совмещено с общей для всех произвольной точкой О. Векторы, соединяющие начальное и конечное положение каждой БС схематично отображены на рис. 2, б).

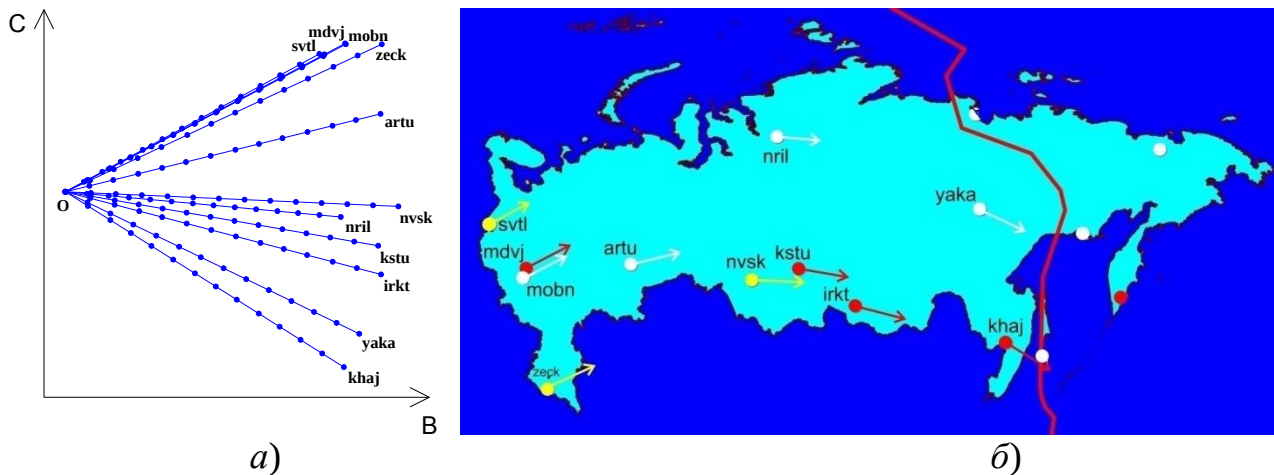


Рис. 2. График (а) и схема (б) изменения положений базовых станций на территории Российской Федерации за 13 лет

Прослеживается зависимость изменения азимута траектории движения БС от ее долготы (см. рис. 2, б). Для исследуемых пунктов восточной части РФ азимут больше, чем для западной.

Согласно графику на рис. (2, а) каждая БС в своем направлении смещается прямолинейно относительно начальной позиции.

С помощью математического аппарата обратной геодезической задачи на эллипсоиде, предложенного П. А. Медведевым [11], для каждой из 11-ти БС были рассчитаны азимут и длина геодезической линии между двумя положениями, приведенными к эпохе 2000 и 2013 гг. Далее были составлены две системы линейных уравнения вида (4), описывающих азимут траектории и скорость движения выбранных БС за год. Коэффициенты уравнений (2), (3) были получены из решения обеих систем (4) по методу наименьших квадратов.

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = a \cdot L_1 + b, \\ A_3 = a \cdot L_3 + b, \\ A_3 = a \cdot L_3 + b, \\ \dots\dots\dots, \\ A_{11} = a \cdot L_{11} + b \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} S_1 = c \cdot B_1 + d, \\ S_3 = c \cdot B_3 + d, \\ S_3 = c \cdot B_3 + d, \\ \dots\dots\dots, \\ S_{11} = c \cdot B_{11} + d \end{array} \right\}, \quad (4)$$

где A – азимут траектории движения БС, градусы;
 L – долгота БС, градусы;

a – безразмерный коэффициент линейного уравнения;
 b – коэффициент линейного уравнения, градусы;
 c, d – коэффициенты линейного уравнения, м;
 S – скорость движения БС, м/год;
 B – широта БС в градусах, безразмерный коэффициент.

Таким образом, для вычисления пространственных геодезических координат (B_t, L_t) некоторого пункта на эпоху t необходимо знать его широту и долготу на эпоху t_0 (B_0, L_0). С использованием этих данных следует определить по формулам (2), (3) параметры движения блока земной коры в этом месте за год. После этого расстояние S нужно умножить на Δt , равное интервалу времени между t_0 и t . Решение прямой геодезической задачи (ПГЗ) на поверхности эллипсоида позволит найти положение пункта на заданную эпоху. Схема вычислений представлена на рис. 3.

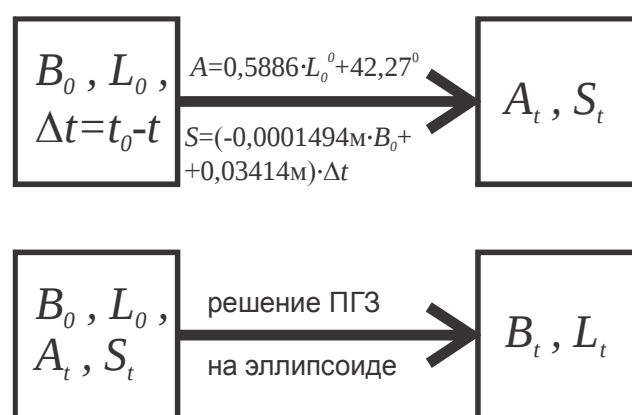


Рис. 3. Алгоритм вычислений широты и долготы пункта на заданную эпоху t

Оценка точности вычислений положения произвольной точки земной поверхности на территории РФ в границах ЕУ по приведенному на рис. 3 алгоритму основана на использовании GNSS-измерений БС, не принадлежащих сетям МГС и созданных различными геодезическими организациями РФ. Статья [12] содержит подробные сведения об апробации и сравнении рассматриваемой методики с известными математическими моделями расчета пространственных координат пункта, которые изменяются вследствие вращения литосферных плит. В качестве известной была принята модель NUVELL-1. Она была получена в 90-х гг. прошлого столетия на основе геофизических измерений и данных профилографов систем глубоководных промеров в зонах спрединга вдоль срединно-океанических хребтов, вблизи трансформных разломов и эпицентров землетрясений [13]. В ее основе лежит уравнение (5), описывающее пространственное положение пункта на земной поверхности на эпоху t .

$$R(t) = R_0 + 10^{-6} \cdot \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ \omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \cdot R_0 \cdot (t - t_0), \quad (5)$$

Направление и скорость движения литосферных плит различно, поэтому ω_x , ω_y , ω_z у каждой из них свое. Для Евразийской литосферной плиты (EU) согласно модели *NNR NUVEL1A* скорости вращения по осям абсцисс, ординат и аппликат соответственно равны -0,000981 рад, -0,002395 рад, 0,003153 рад. Подставляя в (5) эти данные, пространственные прямоугольные геоцентрические координаты пункта на начальную эпоху t_0 в *ITRS* и интервал времени до заданной эпохи в годах можно найти вектор положения пункта на эпоху t .

Расположение на территории РФ 16-ти БС, фалы которых были отобраны для исследований, представлено на рис. 4. Субъекты РФ, отмеченные на рис. 2 имеют установленные коды: Омская область – 55, Томская – 70, Тюменская – 72, Новосибирская – 54, Кировская – 43, Московская – 50, Красноярский Край – 24, ХМАО – 86, ЯНАО – 89.

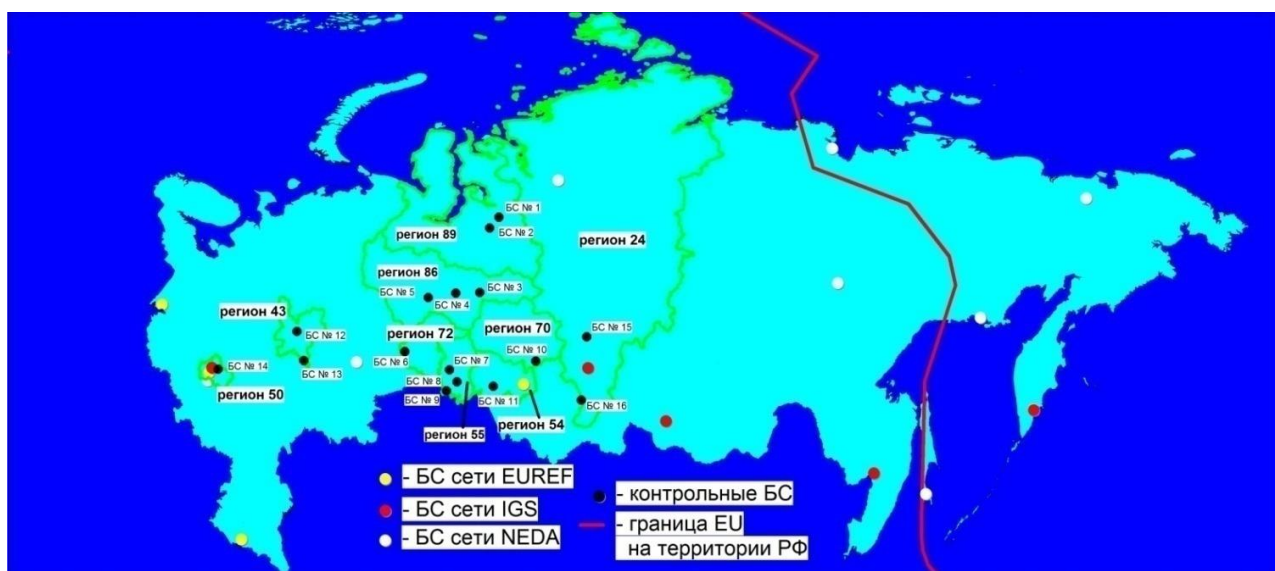


Рис. 4. Схема размещения БС на территории Российской Федерации

Координаты каждой БС на эпоху t_0 и t вычислялись по файлам двухчастотных GNSS-наблюдений продолжительностью не менее шести часов каждое. Для этого использовалась методика точного дифференциального позиционирования (ТДП), имеющая также англоязычное название «Precise Point Positioning» (PPP). Обработка велась в модуле GrafNav версии 8.3 программного комплекса Waypoint GPS компании NovAtel (Канада).

По B_0 и L_0 в соответствии с формулами (2), (3) при соблюдении последовательности действий рис. 3 рассчитывались B'_t и L'_t . Эти результаты сравнивались с точными значениями B_t и L_t .

Проверка второго способа выполнялась по X'_t, Y'_t, Z'_t и X_t, Y_t, Z_t . Величины X'_t, Y'_t, Z'_t вычислялись по формулам (5).

Как показали результаты исследований, оба способа позволяют рассчитывать координаты некоторого пункта на эпоху t по его начальным координатам, отнесенным к эпохе t_0 . В среднем расхождение вычисленного и точного положения БС для первого способа составило 18 мм, для второго – 23 мм.

Некоторые субъекты Российской Федерации располагаются на Северо-Американской литосферной плите. Современное монотонное движение НА, на которой находится часть Дальнего Востока РФ, требует нахождения своих коэффициентов уравнений длины геодезической линии и азимута направления перемещения точки земной поверхности за год. После этого станет возможным на всей территории России по предложенной в [8] методике вычислять дополнения к основным параметрам, найденным на некоторый начальный момент времени для локального участка земной поверхности.

Сегодня разработано множество математических моделей движения литосферных плит. Основаны они на данных, полученных геофизическими, геологическими методами, а так же при создании спутниковых геодезических и радиоастрономических континентальных сетей. Последние состоят из радиointерферометров со сверхдлинными базами (РСДБ). Параметры моделей свободно предоставляются на специализированных сайтах, например UNAVCO.

В настоящей статье представлен более гибкий подход к описанию изменения геодезических координат произвольной точки земной поверхности под влиянием глобальных геотектонических процессов. Он успешно прошел апробацию на производстве при обновлении параметров связи применяемой на местности СО и WGS-84 [8]. Описанный в настоящей статье способ выявления смещений пункта со временем, как функций азимута и длины геодезической линии между начальным и конечным его положением, может найти применение, например, при учете локальных искажений координат, возникающих вблизи эпицентра произошедшего землетрясения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51794–2008. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек [Текст]: нац. стандарт РФ. – Введ. 18.12.2008 – Стандартинформ, 2009. – 16 с. – (Глобальные навигационные спутниковые системы).
2. Струков А. А. Определение положения пунктов спутниковых геодезических сетей в референционной системе координат без деформации координатной основы // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 2–8.
3. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года [Текст]: М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 89 с.
4. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография / К. М. Антонович. – М. : Картогеоцентр [и др.], 2005. – Т. 1. – 334 с.

5. Абдрахманов Р. З., Демьянов Г. В., Кафтан В. И., Побединский Г. Г. Методические вопросы построения глобальных и региональных геодезических сетей // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. - № 1(48). – С. 80 – 85
6. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 14 с.
7. Насретдинов К. К. Можно ли доверять результатам нового уравнивания АГС России? // Геодезистъ. – 2001. – № 4. – С. 9 – 13.
8. Быков В. Л., Войтенко А. В. Учет влияния глобальных геотектонических процессов на результаты точного местоопределения в государственной или местной системе отсчета по радионавигационным наблюдениям спутников GPS NAVSTAR // Геодезия и картография. – 2014. - № 6. – С. 2 – 7.
9. Войтенко А. В. Оценка точности способа вычисления координат геодезического пункта на заданную эпоху с учетом движения Евразийской литосферной плиты // Геодезия и картография. – 2014. – № 2. – С. 2–7.
10. Войтенко А. В. Прогнозирование изменения пространственного положения геодезических пунктов, вызванного глобальными геотектоническими процессами // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 8–12.
11. Медведев П. А. Теория и методология повышения эффективности и точности решения главных геодезических задач на поверхности эллипсоида и в пространстве: Автореферат дис. на соиск. уч. ст. степени д-ра техн. наук. Омск : ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010. – 46 с.
12. Войтенко А. В. Сравнение способов вычисления пространственного положения геодезических пунктов с учетом движения литосферных плит // Известия Высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 23–28.
13. C. DeMets, R. G. Gordon, D. F. Argus, S. Stein. Current plate motions // Geophysical Journal International. – 1990. – Volume 101, Issue 2. – P. 425–478

© А. В. Войтенко, 2015

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТ ГАУССА – КРЮГЕРА ИЗ СК-42/95 В ГСК-2011

Константин Федорович Афонин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Предложены способ, технология и необходимые формулы для преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера из государственных референцных систем СК-42 или СК-95 в новую общеземную систему ГСК-2011. Приведен числовой пример. Преимуществом способа является то, что для преобразования координат не нужно использовать числовые значения параметров перехода, опубликованные в ГОСТах.

Ключевые слова: системы координат, СК-42, СК-95, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ГСК-2011.

TRANSFORMATION COORDINATES OF GAUSS – KRUEGER FROM SK-42/95 OF GSK-2011

Konstantin F. Afonin

Siberian state university of geosystems and technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., Candidate of Technical Sciences, associate professor of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11

The way, technology and necessary formulas for transformation of flat rectangular coordinates of Gauss-Kruger from state the referentsnykh of SK-42 or SK-95 systems in new all-terrestrial GSK-2011 system are offered. The numerical example is given. Advantage of a way is that for transformation of coordinates it isn't necessary to use the numerical values of parameters of transition published in state standard specifications.

Key words: systems of coordinates, SK-42, SK-95, PZ-90, PZ-90.02, GSK-2011.

Введение новой государственной геодезической общеземной системы координат ГСК-2011 предполагает пересчет координат всех пунктов государственных и местных сетей из старых систем (СК-42 или СК-95) в принятую правительством Российской Федерации новую систему. Кроме этого, должны быть преобразованы и координаты всех объектов недвижимости из старых местных систем координат субъектов Федерации (МСК СФ) в новые местные системы. Эти две задачи, на наш взгляд, взаимосвязаны. Способы и технологии, пригодные для решения первой задачи, как правило, можно применять и для решения второй.

Преобразование координат из СК-42/95 в ГСК-2011 можно выполнять на трех уровнях. Во-первых, можно преобразовывать пространственные прямоугольные координаты X , Y , Z . Такое трансформирование выполняется по известным формулам Гельмерта [1-4]

$$X = \bar{X} - \Delta m \bar{X} - \frac{\omega_z}{\rho} \bar{Y} + \frac{\omega_y}{\rho} \bar{Z} - x; \quad (1)$$

$$Y = \bar{Y} - \Delta m \bar{Y} + \frac{\omega_z}{\rho} \bar{X} - \frac{\omega_x}{\rho} \bar{Z} - y; \quad (2)$$

$$Z = \bar{Z} - \Delta m \bar{Z} - \frac{\omega_y}{\rho} \bar{X} + \frac{\omega_x}{\rho} \bar{Y} - z; \quad (3)$$

где

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ - прямоугольные пространственные координаты в общеземной системе ГСК-2011;

X, Y, Z – прямоугольные пространственные координаты в референцной системе СК-42 или СК-95;

x, y, z - прямоугольные пространственные координаты центра референцной системы относительно центра общеземной системы;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - углы разворота вокруг соответствующих координатных осей;

Δm - относительное изменение масштаба в двух системах координат

$$\Delta m = \frac{\bar{S} - S}{S}. \quad (4)$$

Здесь $\bar{S}$ и S расстояния между одноименными точками пространства в общеземной (ГСК-2011) и референцной (СК-42/95) системах координат соответственно.

Для реализации этого подхода необходимо выполнять переходы от плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера к пространственным прямоугольным координатам и обратно по формулам высшей геодезии [1-4]. Кроме этого, нужно знать семь параметров взаимного ориентирования двух систем координат. От точности, с которой известны эти параметры будет в конечном итоге зависеть точность решения основной задачи. Числовые значения параметров преобразования, приведенные в ГОСТах [1-3], позволяют выполнить переход из СК-42 в общеземную систему с погрешностью в 6 – 7 метров, а из СК-95 примерно на порядок точнее.

На втором уровне решения необходимо сначала перейти от координат Гаусса - Крюгера к геодезическим широте и долготе точки в СК-42/95, затем трансформировать эти координаты в ГСК-2011 и, наконец, вычислить плоские прямоугольные координаты в ГСК-2011. Такой подход также предполагает знание семи перечисленных параметров преобразования $x, y, z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \Delta m$ с необходимой точностью. Кроме этого нужно использовать и специальные формулы высшей геодезии [1-4].

Третий путь заключается в трансформировании координат Гаусса - Крюгера из СК-42/95 в ГСК-2011. Недостаток такого подхода состоит в отсутствии строгих формул для такого преобразования. Поэтому приходится использовать какие-то приближенные способы. Зато при таком трансформировании координат не нужно знать перечисленные семь параметров преобразования.

В данной работе предлагается один из способов, реализующих третий путь решения задачи. Суть способа заключается в том, чтобы преобразовывать из одной системы в другую не сами координаты пунктов, а разности плоских пря-

моугольных координат. Для того, чтобы применять данный способ на производственном объекте должно быть не менее трех пунктов государственной геодезической сети (K_I, K_{II}, K_{III}), плоские прямоугольные координаты которых известны в двух системах СК-42/95 и ГСК-2011. У рядовых пунктов и точек объектов недвижимости (K_1, K_2, K_i, K_n) нужно знать координаты в старой референцной системе СК-42 или СК-95 (рис. 1). Координаты этих пунктов и точек необходимо получить в новой системе ГСК-2011.

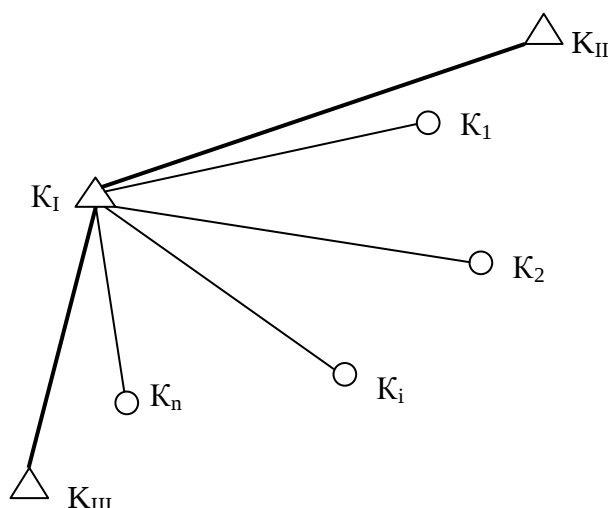


Рис. 1. Взаимное расположение пунктов ГГС и рядовых точек

Технологическая схема предлагаемого способа решения задачи содержит пять этапов. На первом этапе необходимо вычислить разности плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера всех пунктов и точек относительно пункта ГГС K_I в системе СК-42/95

$$\Delta x_{I-II} = x_{II} - x_I; \quad \Delta y_{I-II} = y_{II} - y_I; \quad (5)$$

$$\Delta x_{I-III} = x_{III} - x_I; \quad \Delta y_{I-III} = y_{III} - y_I; \quad (6)$$

$$\Delta x_{I-i} = x_i - x_I; \quad \Delta y_{I-i} = y_i - y_I. \quad (7)$$

На втором этапе для пунктов ГГС должны быть вычислены разности координат в новой государственной системе ГСК-2011

$$\overline{\Delta x_{I-II}} = \overline{x_{II}} - \overline{x_I}; \quad \overline{\Delta y_{I-II}} = \overline{y_{II}} - \overline{y_I}; \quad (8)$$

$$\overline{\Delta x_{I-III}} = \overline{x_{III}} - \overline{x_I}; \quad \overline{\Delta y_{I-III}} = \overline{y_{III}} - \overline{y_I}. \quad (9)$$

Третий этап заключается в решении систем уравнений вида

$$\Delta x_{I-II} a - \Delta y_{I-II} b + x_0 - \overline{\Delta x_{I-II}} = 0; \quad (10)$$

$$\Delta y_{I-II} a + \Delta x_{I-II} b + y_0 - \overline{\Delta y_{I-II}} = 0; \quad (11)$$

$$\Delta x_{I-III} a - \Delta y_{I-III} b + x_0 - \overline{\Delta x_{I-III}} = 0; \quad (12)$$

$$\Delta y_{I-III} a + \Delta x_{I-III} b + y_0 - \overline{\Delta y_{I-III}} = 0; \quad (13)$$

относительно неизвестных a, b, x_0, y_0 .

На четвертом этапе необходимо выполнить переход от разностей координат определяемой точки K_i и пункта ГГС K_I в системе СК-42/95 к соответствующим разностям в системе ГСК-2011

$$\overline{\Delta x_{I-i}} = a \Delta x_{I-i} - b \Delta y_{I-i} + x_0; \quad (14)$$

$$\overline{\Delta y_{I-i}} = b \Delta x_{I-i} + a \Delta y_{I-i} + y_0. \quad (15)$$

Здесь a, b, x_0, y_0 - параметры преобразования координат, полученные на третьем этапе.

Завершающий пятый этап состоит в вычислении координат Гаусса - Крюгера определяемых точек в системе ГСК-2011

$$\overline{x_i} = \overline{x_I} + \overline{\Delta x_{I-i}}; \quad (16)$$

$$\overline{y_i} = \overline{y_I} + \overline{\Delta y_{I-i}}. \quad (17)$$

Предлагаемая технология была опробована на тестовом примере, состоящем из четырех точек. Три точки выступали в роли пунктов ГГС, а одна точка была определяемой. Для всех четырех точек были вычислены геодезические пространственные, прямоугольные пространственные, прямоугольные плоские координаты в двух системах: СК-42 и ГСК-2011. Для преобразования координат были использованы соответствующие формулы высшей геодезии и семь параметров, опубликованные в печати. Полученные таким образом координаты в дальнейшем считались истинными. После этого плоские прямоугольные координаты определяемой точки были трансформированы из СК-42 в ГСК-2011 описанным способом. Отличия этих координат от истинных составили 2 сантиметра по каждой из координатных осей.

Апробирование способа позволяет сделать вывод о том, что предлагаемая технология может использоваться для преобразования координат Гаусса - Крюгера в новую единую государственную систему координат (ГСК-2011) из старых СК-42 или СК-95.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51794-2001. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Государственный стандарт Российской Федерации – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.

2. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Национальный стандарт Российской Федерации – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.
3. ГОСТ 32453-2013. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Межгосударственный стандарт – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
4. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 56 с.
5. Афонин К. Ф. Сравнение способов вычисления геодезической высоты по прямоугольным пространственным координатам // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 1, ч. 1. – С. 107–109.
6. Система региональных плоских прямоугольных координат Новосибирской области / А. П. Карпик, К. Ф. Афонин, Н. А. Телеганов, П. К. Шитиков, Д. Н. Ветошкин, С. В. Кужелев, В. А. Тимонов // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск: СГГА, 2008. Т. 1, ч. 1. – С. 20–31.
7. Афонин К. Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса – Крюгера // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 155–159.
8. Афонин К.Ф. Преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из МСК-54 в СК НСО // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 57–62.
9. Афонин К.Ф. Оптимизация выбора опорных пунктов при определении локальных параметров связи общеземных и референчных систем прямоугольных пространственных координат. Постановка задачи оптимизации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 32–35.
10. Афонин К. Ф., Афонин Ф. К. Технологии преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера в СК НСО // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 41–46.

© К. Ф. Афонин, 2015

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ ГАУССА – КРЮГЕРА ИЗ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ СУБЪЕКТА ФЕДЕРАЦИИ В ЕДИНУЮ ГОСУДАРСТВЕННУЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ ГСК-2011

Константин Федорович Афонин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Предложена технология и необходимые формулы для преобразования координат из СК субъекта Российской Федерации в новую государственную систему координат ГСК-2011. Рабочие формулы для связей разностей геодезических координат в референсных (СК-42 и СК-95) и общеземных (ПЗ-90.02, ПЗ-90.11, ГСК-2011) получены впервые. Показана возможная погрешность преобразования координат для тех случаев, когда местные системы координат опираются на государственные референционные системы СК-42 и СК-95. Приведен числовой пример. Для преобразования координат использованы числовые значения параметров перехода, опубликованные в ГОСТах.

Ключевые слова: системы координат, СК НСО, СК-42, СК-95, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ГСК-2011.

TECHNOLOGY OF TRANSFORMATION OF FLAT RECTANGULAR COORDINATES OF GAUSS – KRUEGER FROM SYSTEM OF COORDINATES OF THE SUBJECT OF FEDERATION IN UNIFORM STATE GEODETIC SYSTEM OF COORDINATES OF GSK-2011

Konstantin F. Afonin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Candidate of Technical Sciences, associate professor of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11

The technology and necessary formulas for transformation of coordinates from SK of the subject of the Russian Federation in new state system of coordinates of GSK-2011 is offered. Working formulas for communications of differences of geodetic coordinates in the referentsnykh (SK-42 and SK-95) and all-terrestrial (PZ-90.02, PZ-90.11, GSK-2011) are received for the first time. The possible error of transformation of coordinates for those cases when local systems of coordinates lean on the state referentsny SK-42 and SK-95 systems is shown. The numerical example is given. For transformation of coordinates the numerical values of parameters of transition published in state standard specifications are used.

Key words: systems of coordinates, SK NSO, SK-42, SK-95, PZ-90, PZ-90.02, GSK-2011.

В конце 2012 года постановлением правительства Российской Федерации была введена новая государственная система координат ГСК-2011. К 1 января 2017 года координаты всех пунктов государственных геодезических сетей должны быть преобразованы в новую систему координат. Изменения в плоских прямоугольных координатах Гаусса - Крюгера будут вызваны двумя при-

чинами: изменением параметров эллипсоида ГСК-2011 и его ориентировки в теле Земли. Так как большие полуоси эллипсоидов Красовского и ГСК-2011 различаются более чем на 100 метров, то и поправки в координатах могут достигать до десятков и сотен метров.

Местные системы координат (МСК) субъектов Федерации должны оставаться. При этом логично сделать так, чтобы ключи перехода из государственной системы координат в местные оставались прежние. Однако сами координаты всех точек, безусловно, должны измениться. Принципиальная технологическая схема трансформирования координат Гаусса-Крюгера напрашивается сама собой. Она должна содержать переход из МСК к геодезическим широте и долготе в СК-42 или СК-95, преобразование этих координат в общеземную систему и вычисление новых координат в МСК. Однако числовые значения параметров преобразования, приведенные в ГОСТах [1-3], позволяют выполнить переход из СК-42 в общеземную систему с погрешностью в 6 – 7 метров, а из СК-95 примерно на порядок точнее.

Такой точности трансформирования координат явно недостаточно. Поэтому вопрос о преобразовании плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера с погрешностью в несколько сантиметров будет актуальным в ближайшие годы. Один из перспективных, на наш взгляд, способов повышения точности решения задачи заключается в трансформировании разностей координат. Для реализации предлагаемого способа необходимо на территории административного района субъекта Федерации иметь, по крайней мере, один пункт государственной геодезической сети K_I (рис. 1). Координаты этого пункта должны быть известны и в старой (СК-42 или СК-95), и в новой (ГСК-2011) системах координат.

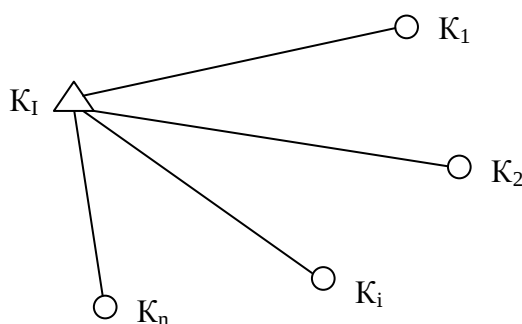


Рис. 1. Взаимное положение пункта ГГС и рядовых точек

На рис. 1 показаны также рядовые точки $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$, плоские прямоугольные координаты которых необходимо преобразовать из старой МСК, опирающейся на СК-42 или СК-95, в новую МСК, которая должна опираться на новую государственную систему координат ГСК-2011. Дадим описание прин-

ципиально новой технологии решения задачи, которая была разработана автором. Эта технология состоит из пяти этапов.

На первом этапе необходимо перейти от плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера, заданных в местной системе субъекта Федерации, к геодезическим широте B и долготе L в системе СК-42 или СК-95. Для такого преобразования используются известные формулы связи плоских прямоугольных и геодезических координат [4] и ключи местной системы координат. На втором этапе должны вычисляться разности геодезических референционных координат рядовых точек K_i и пункта государственной геодезической сети K_I

$$\Delta B_{Ii} = B_i - B_I; \quad (1)$$

$$\Delta L_{Ii} = L_i - L_I; \quad (2)$$

$$\Delta H_{Ii} = H_i - H_I. \quad (3)$$

Буквой H в формуле (3) обозначены геодезические высоты точек. Если преобразования высот из референционной системы в общеземную не нужны, то разности (3) вычислять не нужно.

Третий этап технологии является ключевым. Здесь выполняется переход от разностей геодезических координат, вычисленных в референционной системе (СК-42 или СК-95), к соответствующим разностям $\overline{\Delta B_{Ii}}, \overline{\Delta L_{Ii}}, \overline{\Delta H_{Ii}}$ в общеземной государственной системе координат (ГСК-2011, ПЗ-90.11, ПЗ-90.02 или какой-то другой). Для такого преобразования автором получены следующие формулы:

$$\overline{\Delta B_{Ii}} = \Delta B_{Ii} + \delta B_{Ii}; \quad \overline{\Delta L_{Ii}} = \Delta L_{Ii} + \delta L_{Ii}; \quad \overline{\Delta H_{Ii}} = \Delta H_{Ii} + \delta H_{Ii}; \quad (4)$$

$$\delta B_{Ii} = \delta B_1 + \delta B_2 + \delta B_3 + \delta B_4; \quad (5)$$

$$\delta L_{Ii} = \delta L_1 + \delta L_2; \quad (6)$$

$$\delta H_{Ii} = \delta H_1 + \delta H_2 + \delta H_3 + \delta H_4; \quad (7)$$

$$c_i = x \cos L_i + y \sin L_i; \quad c_I = x \cos L_I + y \sin L_I; \quad (8)$$

$$t_i = (N_i + H_i) \cos B_i; \quad t_I = (N_I + H_I) \cos B_I; \quad (9)$$

$$d_i = N_i \sin B_i \cos B_i; \quad d_I = N_I \sin B_I \cos B_I; \quad (10)$$

$$\delta B_1 = \rho \left(\frac{z \cos B_i - c_i \sin B_i}{(M_i + H_i)} - \frac{z \cos B_I - c_I \sin B_I}{(M_I + H_I)} \right); \quad (11)$$

$$\delta B_2 = \frac{\rho}{(M_{cp} + H_{cp})} \left(\frac{\Delta a e_{cp}^2}{a_{cp}} + \left(1 + \frac{1}{W_{cp}^2} \right) \frac{\Delta e^2}{2} \right) (d_i - d_I); \quad (12)$$

$$\delta B_3 = (1 + e_{cp}^2 \cos 2B_{cp}) (\omega_Y (\cos L_i - \cos L_I) - \omega_X (\sin L_i - \sin L_I)); \quad (13)$$

$$\delta B_4 = -\rho \Delta m e_{cp}^2 (\sin B_i \cos B_i - \sin B_I \cos B_I); \quad (14)$$

$$\delta L_1 = \rho \left(y \left(\frac{\cos L_i}{t_i} - \frac{\cos L_I}{t_I} \right) - x \left(\frac{\sin L_i}{t_i} - \frac{\sin L_I}{t_I} \right) \right); \quad (15)$$

$$\delta L_2 = (1 - e_{cp}^2) (\omega_X (tg B_i \cos L_i - tg B_I \cos L_I) + \omega_Y (tg B_i \sin L_i - tg B_I \sin L_I)); \quad (16)$$

$$\delta H_1 = \frac{\Delta a W_{cp}}{N_{cp}} (N_i - N_I) + \frac{\Delta e^2}{2} (N_i \sin^2 B_i - N_I \sin^2 B_I); \quad (17)$$

$$\delta H_2 = c_i \cos B_i - c_I \cos B_I + z(\sin B_i - \sin B_I); \quad (18)$$

$$\delta H_3 = e_{cp}^2 \left(\frac{\omega_y}{\rho} (d_i \cos L_i - d_I \cos L_I) - \frac{\omega_x}{\rho} (d_i \sin L_i - d_I \sin L_I) \right); \quad (19)$$

$$\delta H_4 = \Delta m (H_i - H_I - W_{cp}^2 (N_i - N_I)). \quad (20)$$

Здесь $x, y, z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \Delta m$ – параметры взаимного ориентирования двух систем координат (референцной и общеземной), опубликованные в ГОСТах;

$\Delta a, \Delta e^2$ – разности больших полуосей и квадратов эксцентриситетов двух эллипсоидов (общеземного и референцного);

W, M, N – первая сфероидическая функция геодезической широты, радиусы кривизны меридиана и первого вертикала которые можно вычислить по формулам сфероидической геодезии [4]. Индекс «ср» означает, что эти величины вычисляются по средней широте точек K_i и K_I .

На четвертом этапе необходимо определить геодезические координаты рядовых точек K_i в общеземной государственной системе ГСК-2011

$$\overline{B}_i = \overline{B}_I + \Delta \overline{B}_{fi}; \quad \overline{L}_i = \overline{L}_I + \Delta \overline{L}_{fi}; \quad \overline{H}_i = \overline{H}_I + \Delta \overline{H}_{fi}. \quad (21)$$

Если на территории объекта имеется «р» пунктов ГГС, координаты которых известны в старой (СК-42, СК-95) и новой (ГСК-2011) системах координат, то преобразования по формулам (4) - (21) можно повторить «р» раз. За окончательные координаты точки K_i нужно будет принять среднее арифметическое значение. В этом случае погрешность определения координат точки K_i будет в $\sqrt{p}$ меньше.

Пятый этап технологии заключается в преобразовании геодезических широт и долгот, полученных в ГСК-2011, в координаты Гаусса - Крюгера. Формулы для такого перехода имеются во многих учебниках и учебных пособиях по высшей геодезии, например в [4]. При этом нужно иметь в виду, что применять можно либо универсальные формулы, пригодные для любого эллипсоида, либо формулы с числовыми коэффициентами, заранее рассчитанными для эллипсоида ГСК-2011.

Если плоские прямоугольные координаты необходимы в ГСК-2011, то никакая дополнительная информация больше не нужна. Если же необходимо вычислить координаты Гаусса - Крюгера в МСК субъекта Федерации, то дополнительно следует привлекать информацию о ключах перехода в МСК. Поэтому можно утверждать, что предлагаемая технология является по существу универсальной. Её можно применять для преобразования плоских прямоугольных координат как из старых государственных референцных систем (СК-42, СК-95) в новую единую систему (ГСК-2011), так и для перехода из старых МСК в новые. Имеются лишь небольшие различия на первом и пятом этапах технологии.

Основным этапом технологической схемы является третий этап. Для проверки правильности рабочих формул (1) – (21) был выполнен числовой экспе-

римент. На поверхности Земли были выбраны две точки K_1 и K_i , для которых были заданы геодезические координаты в системах СК-42 и СК-95. Расстояние между ними было порядка 150 километров. Координаты этих точек были преобразованы в систему ПЗ-90.02 классическим способом по формулам, приведенным в [1 - 4], с использованием числовых значений семи параметров перехода, рекомендованных в ГОСТах [2, 3]. Вычисленные таким образом координаты в дальнейшем считались эталонными. После этого координаты точки K_i были получены предложенным способом по формулам (1 – 21). Вычисления выполнялись с удержанием десятичных долей секунды по широте и долготе и тысячных долей метра по высоте. Широта и высота получились одинаковыми в двух способах. Расхождения по долготе составили всего 0,0001 секунды. Это говорит о том, что рекомендуемые формулы позволяют правильно решить поставленную задачу.

Для определения величины влияния погрешностей параметров перехода на точность получения геодезических координат точки K_i предлагаемым способом эти параметры искажались ошибками согласно ГОСТу [1]. Полученные координаты сравнивались с эталонными координатами. При трансформирования координат из СК-42 в ПЗ-90.02 различия в координатах составили $\Delta B = 0,0012''$, $\Delta L = 0,0022''$, $\Delta H = 0,049$ метра. По координатным осям абсцисс и ординат в проекции Гаусса - Крюгера это может составлять 0,036 метра и 0,033 метра соответственно. Трансформирование координат из СК-95 в ПЗ-90.02 позволяет решить задачу более точно. Для такого перехода $\Delta B = 0,0002''$, $\Delta L = 0,0001''$, $\Delta H = 0,005$ метра. Это может соответствовать погрешностям преобразования абсцисс в 0,006 метра, а ординат – в 0,002 метра.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что предлагаемая технология позволяет преобразовывать координаты Гаусса - Крюгера в новую единую государственную систему координат (ГСК-2011) с погрешностью в 3-6 сантиметров, если МСК субъекта Федерации опирается на СК-42. Если местная система координат опирается на СК-95, то погрешности трансформирования координат будут значительно меньше и могут составлять 3-6 миллиметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51794-2001. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Государственный стандарт Российской Федерации – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.
2. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Национальный стандарт Российской Федерации – М.: Стандартиформ, 2009. – 19 с.
3. ГОСТ 32453-2013. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Межгосударственный стандарт – М.: Стандартиформ, 2014. – 19 с.
4. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 56 с.

5. Афонин К. Ф. Сравнение способов вычисления геодезической высоты по прямоугольным пространственным координатам // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 1, ч. 1. – С. 107–109.
6. Система региональных плоских прямоугольных координат Новосибирской области / А. П. Карпик, К. Ф. Афонин, Н. А. Телеганов, П. К. Шитиков, Д. Н. Ветошкин, С. В. Кужелев, В. А. Тимонов // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск: СГГА, 2008. Т. 1, ч. 1. – С. 20–31.
7. Афонин К. Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса – Крюгера // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 155–159.
8. Афонин К. Ф. Преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из МСК-54 в СК НСО // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 57–62.
9. Афонин К. Ф. Оптимизация выбора опорных пунктов при определении локальных параметров связи общеземных и референчных систем прямоугольных пространственных координат. Постановка задачи оптимизации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 32–35.
10. Афонин К. Ф., Афонин Ф. К. Технологии преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера в СК НСО // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 41–46.

© К. Ф. Афонин, 2015

ТОЧНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ ИЗ ОБЩЕЗЕМНЫХ СИСТЕМ В РЕФЕРЕНЦНЫЕ

Константин Федорович Афонин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Показана реальная точность преобразования пространственных прямоугольных координат из общеземных систем (ПЗ-90, ПЗ-90.02, ПЗ-90.11) в референцные (СК-42 и СК-95). Для преобразования координат использованы числовые значения параметров перехода, опубликованные в ГОСТах.

Ключевые слова: системы координат, СК-42, СК-95, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ПЗ-90.11.

ACCURACY OF TRANSFORMATION OF SPATIAL RECTANGULAR COORDINATES FROM ALL-TERRESTRIAL SYSTEMS IN REFERENTSNEYE

Konstantin F. Afonin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Candidate of Technical Sciences, associate professor of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11

Real accuracy of transformation of spatial rectangular coordinates from all-terrestrial systems (PZ-90, PZ-90.02, PZ-90.11) in referentsny is shown (SK-42 and SK-95). For transformation of coordinates the numerical values of parameters of transition published in state standard specifications are used.

Key words: systems of coordinates, SK-42, SK-95, PZ-90, PZ-90.02, PZ-90.11.

Правительством России в своем постановлении от 28 декабря 2012 года №1463 были введены новые государственные системы координат: геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011) и общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11). При этом ГСК-2011 также является по своей сути общеземной и геоцентрической. В тоже время применение действующих в настоящее время государственных референцных систем координат СК-42 и СК-95 продлено до 1 января 2017 года. Поэтому вопросы преобразования прямоугольных пространственных координат из общеземных систем в референцные продолжают оставаться актуальными. Такое преобразование, как известно, можно выполнить по формулам Гельмерта [1-5]

$$X = \bar{X} - \Delta m \bar{X} - \frac{\omega_Z}{\rho} \bar{Y} + \frac{\omega_Y}{\rho} \bar{Z} - x; \quad (1)$$

$$Y = \bar{Y} - \Delta m \bar{Y} + \frac{\omega_Z}{\rho} \bar{X} - \frac{\omega_X}{\rho} \bar{Z} - y; \quad (2)$$

$$Z = \bar{Z} - \Delta m \bar{Z} - \frac{\omega_Y}{\rho} \bar{X} + \frac{\omega_X}{\rho} \bar{Y} - z; \quad (3)$$

В этих соотношениях использована следующая система обозначений:

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ – прямоугольные пространственные координаты в общеземной системе;

X, Y, Z – прямоугольные пространственные координаты в референцной системе;

x, y, z – прямоугольные пространственные координаты центра референцной системы относительно центра общеземной системы;

$\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ – углы разворота вокруг соответствующих координатных осей;

Δm – относительное изменение масштаба в двух системах координат

$$\Delta m = \frac{\bar{S} - S}{S}, \quad (4)$$

где $\bar{S}$ и S расстояния между одноименными точками пространства в общеземной и референцной системах координат соответственно.

Погрешность вычисления референчных координат зависит от четырех факторов: точности приближенных формул (1) – (3); погрешностей определения общеземных координат; используемой вычислительной техники; погрешностей, с которыми известны семь параметров преобразования координат. В данной статье рассмотрим влияние четвертого фактора. Дифференцирование формулы (1) позволяет записать формулу

$$m_X^2 = m_{\bar{X}}^2 + m_{X\Delta m}^2 + 2m_{X\omega}^2 + m_x^2. \quad (5)$$

Аналогичные формулы можно получить для ординат и аппликат.

Здесь

m_X – погрешность вычисления прямоугольных пространственных координат (X, Y, Z) в референцной системе;

$m_{\bar{X}}$ – погрешность определения прямоугольных пространственных координат ($\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$) в общеземной системе;

$m_{X\Delta m}$ – влияние погрешности, с которой известно относительное изменение масштаба, на точность вычисления прямоугольных пространственных координат (X, Y, Z) в референцной системе;

$m_{X\omega}$ – влияние погрешностей, с которыми известны углы разворота, на точность вычисления прямоугольных пространственных координат (X, Y, Z) в референцной системе;

m_x – погрешности в положении центра референцной системы относительно центра общеземной системы координат.

В свою очередь влияние неточного знания масштаба и углов разворота можно определить по формулам

$$m_{X\Delta m} = X m_{\Delta m}; \quad (6)$$

$$m_{X\omega} = X \frac{m_{\omega}}{\rho}, \quad (7)$$

где $m_{\Delta m}$ и m_{ω} – погрешности, с которыми известны соответствующие параметры преобразования координат.

В ГОСТе [1] для связи систем координат СК-42 и ПЗ-90 приведены не только числовые значения семи параметров, но и значения погрешностей этих параметров: $m_{\Delta m} = 0,25 * 10^{-6}$, $m_{\omega} = 0,1''$, $m_x = 2 - 3$ м. Поэтому в стандарте правильно, на наш взгляд, удержано количество значащих цифр. Например, $x = 25 \pm 2$ метров. Вычисления по формулам (6) – (7) дают $m_{X\Delta m} = 1,6$ м, $m_{X\omega} = 3,1$ м. Тогда уравнение (5) позволяет оценить погрешность вычисления координат по формулам (1) – (3). Для СК-42 она может составлять (при условии, что пространственные прямоугольные координаты получены безошибочно) 6 – 7 метров. Предельная погрешность может быть в 2,5 раза больше и равняться 15 – 17,5 метрам. Это явилось одной из причин ввода в 2000 году новой референцной государственной системы координат СК-95.

К сожалению, в первой редакции ГОСТа не указаны погрешности, с которыми были получены числовые значения параметров связи систем координат ПЗ-90 и СК-95. Можно лишь предполагать, что они не хуже, чем при связи ПЗ-90 и WGS-84 и составляли $m_x = m_y = m_z = 2 - 4$ см. Все углы разворота ω и относительное изменение масштаба Δm по условию ввода СК-95 были равны нулю.

Во второй редакции ГОСТа [2] числовые значения всех параметров связей для взаимного преобразования систем координат также приведены без указания погрешностей, с которыми они были получены. Это с одной стороны. С другой стороны эти параметры опубликованы с излишним количеством значащих цифр. Например, для положения центра референцной системы СК-42 относительно центра общеземной ПЗ-90.02 указано новое значение $x=23,93$ метра. Поэтому у специалистов, использующих этот стандарт, может складываться впечатление о сантиметровом уровне точности при преобразовании координат. Однако, это далеко не так.

Рассмотрим, как получены эти новые значения параметров. Они получены путем сложения старых значений и некой корректирующей поправки. Например, $x_{\text{новое}} = 25 \text{ м} - 1,07 \text{ м} = 23,93 \text{ м}$. Поэтому, даже если поправка в старое значение параметра получена безошибочно, то значение нового параметра имеет ту же погрешность, которая была заявлена в стандарте [1], а именно 2 - 3 метра. Аналогично получены и другие шесть параметров. Поэтому преобразование прямоугольных пространственных координат из общеземной системы ПЗ-90.02 в референцную СК-42 будет выполняться с той же погрешностью в 6 – 7 метров.

В отношении преобразования координат из системы ПЗ-90.02 в СК-95 можно ожидать погрешностей на дециметровом уровне. Такие же выводы мож-

но сделать относительно точности преобразования прямоугольных пространственных координат из системы ПЗ-90.11 в системы СК-42 и СК-95.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51794-2001. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Государственный стандарт Российской Федерации – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.
2. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Национальный стандарт Российской Федерации – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.
3. ГОСТ 32453-2013. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Межгосударственный стандарт – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
4. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 56 с.
5. Афонин К. Ф. Оптимизация выбора опорных пунктов при определении локальных параметров связи общеземных и референчных систем прямоугольных пространственных координат. Постановка задачи оптимизации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 32–35.
6. Андреев В. К. Роль и место в исследованиях по геодезическому обеспечению системы ГЛОНАСС в рамках НИР «Развитие» государственных единых систем координат ГСК-2011 и ПЗ-90, высокоточного определения координат и гравитационного поля Земли / Доклад на заседании секции №3 НТС ФГУП ЦНИИмаш от 28 мая 2013 года.
7. Вдовин В. С. Роль систем координат в современной геодезии и маркшейдерии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: vdo-vladimir@yandex.ru.
8. Афонин К. Ф. Сравнение способов вычисления геодезической высоты по прямоугольным пространственным координатам // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 1, ч. 1. – С. 107–109.
9. Система региональных плоских прямоугольных координат Новосибирской области / А. П. Карпик, К. Ф. Афонин, Н. А. Телеганов, П. К. Шитиков, Д. Н. Ветошкин, С. В. Кужелев, В. А. Тимонов // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск: СГГА, 2008. Т. 1, ч. 1. – С. 20–31.
10. Афонин К. Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса – Крюгера // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 155–159.
11. Афонин К. Ф. Преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из МСК-54 в СК НСО // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 57–62.
12. Афонин К. Ф., Афонин Ф. К. Технологии преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера в СК НСО // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 41–46.

© К. Ф. Афонин, 2015

О ЕДИНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Анатолий Иванович Каленицкий

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Александр Николаевич Соловизкий

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, соискатель, тел. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Для формирования единого деформационного пространства земной коры и её поверхности при освоении угольных месторождений предложен комплексный геодезический мониторинг. Установлены его особенности и намечены пути реализации.

Ключевые слова: Деформация, мониторинг, блок земной коры, ранг, геодинамическое явление, кинематика, геодинамический полигон.

ABOUT AN INTEGRATED AREA OF DEFORMATION OF EARTH CRUST AND ITS SURFACE AT THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS IN KUSBASS

Anatoliy I. Kalenizkij

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doktor in Technical Sciences, professor, Deparment of Astronomy and Gravimetry, tel. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Aleksandr N. Solowizkij

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., competitor, Ph. D. in Technical Sciences, associate professor, tel. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

The complex geodesic monitoring is suggested for forming the integrated deformation area of Earth crust and its surface at the development of coal deposits. Particular features have been determined and the methods of its realization have been defined.

Key words: Deformation, monitoring, the blocks of the Earth's crust, rank, dynamic phenomenon, kinematics, geodynamic ground.

В настоящее время Кузнецкий угольный бассейн (Кузбасс) занимает лидирующее положение в Российской Федерации по добыче угля. На его долю приходится около 50 % всего объема добычи, в том числе 80 % коксующих углей. Общая площадь угленосных отложений составляет около 26000 квадратных километров. Балансовые запасы всего бассейна оцениваются в 76406,7 миллионов тонн. В Кузбассе работают 127 шахт и разрезов, и 69 горных предприятий планируется ввести строй в ближайшее время. На балансе действующих предприятий находится 18233 миллионов тонн угля. С 2012 года общий объем его до-

бычи в Кузбассе превысил 200-миллионный рубеж. За 2013 год в Кузбассе было нарушено 2,60 тысячи гектар земель, при этом доля влияния горных работ составляет 1,85 тысяч гектар. В первую очередь при ведении горных работ разрушается геологическая среда. Перемещение горных масс из недр на поверхность по Кузбассу оценивается в 12 миллиардов кубических метров, что привело к изменению рельефа местности, образованию депрессионных воронок, нарушению природного равновесия в миграции химических элементов и напряжений земной коры. Ведение горных работ при освоении угольных месторождений влияет на изменение водного режима территорий, также миграцию газов. На действующих шахтах метан поступает в атмосферу из дегазационных и вентиляционных установок. 73% всех шахт по газовыделению отнесены к сверхкатегорийным. 13 шахт опасны по внезапным выбросам угля и газа [3]. 70% всех шахт ведут горные работы глубине 200 –300 м, 28% – на глубине 300-600 м, а ряд шахт - более 600 м. Мощность пластов колеблется 0,8 до 15 м и более, а её средняя величина составляет 3 м [1].

С точки зрения природных условий Кузбасс - это котловина, которая расположена на западной окраине Алтае-Саянской горной области между Кузнецким Алатау, Горной Шорией и Салаирским кряжем. Практически вся угольная промышленность сосредоточена примерно на 30% общей площади Кемеровской области, здесь проживает 70% населения - это зона интенсивного техногенного воздействия [1]. Вся эта зона интенсивного техногенного воздействия, обусловленная ведением горных работ, попадает в зоны влияния разломов.

Анализируя изложенное выше, можно отметить, что актуальной задачей для Кузбасса в настоящее время является изучение и контроль:

- за перераспределением напряжений земной коры;
- за миграцией подземных вод и газов;
- за наведенной сейсмичностью.

Решение указанной задачи заключается в формировании единого деформационного пространства земной коры и её поверхности при освоении угольных месторождений. Основой этого единого деформационного пространства является комплексный геодезический мониторинг. Указанный мониторинг представляет сложную систему, он теоретически обоснован и реализован на практике на атомных и гидроэлектростанциях, а также при добыче углеводородов. В Кузбассе и других угольных бассейнах России практикуется маркшейдерский контроль сдвижений и деформаций земной поверхности. В геомеханическом обеспечении геотехнологии освоения недр используются разнообразные модели деформированного состояния горного массива пород, но чаще всего простейшие точечные и плоские [1, 3, 4]. Их применение обусловлено упрощением классической теории этого состояния. Так, например, при анализе устойчивости бортов при открытой геотехнологии освоения недр используются векторные схемы, которые для дискретных пунктов наблюдательных станций иллюстрируют вертикальные и горизонтальные смещения. В табл. приведены величины вертикальных и горизонтальных смещений рабочих реперов, получен-

ные по результатам математической обработки инструментальных наблюдений цикла №2 и цикла №3 на разрезе “Вахрушевразрезуголь”.

Таблица

Результаты инструментальных наблюдений на участке № 1 разреза “Вахрушевразрезуголь”

Номера реперов	Смещения (м)		Горизонтальные деформации	Сдвиг
	Горизонтальные	Вертикальные		
	Цикл №3			
3	+0,326	+0,064		
4	-0,145	-0,016	-3,4*10 ⁻³	6,6*10 ⁻³
5	-0,172	+0,045	+0,5*10 ⁻³	1,0*10 ⁻³
	Цикл №2			
8	+0,128	-0,062		
9	+0,092	-0,058	-0,8*10 ⁻³	1,7*10 ⁻³
10	-0,622	+0,292	+8,7*10 ⁻³	11,4*10 ⁻³

По значениям вертикальных и горизонтальных смещений вычислены горизонтальные деформации и сдвиг по традиционной методике [1].

Главными достоинствами классического подхода к математической обработке результатов инструментальных наблюдений за смещениями подработанного массива горных пород является простота и наглядность, однако эта методика основана на минимуме затрат и применение простейших вычислительных средств, которыми были оснащены горнодобывающие предприятия в середине прошлого века.

Авторами предлагается комплексный геодезический мониторинг деформаций земной коры и её поверхности при освоении месторождений Кузбасса. Основными его особенностями являются:

- иерархическая структура;
- общая теория;
- единые параметры;
- реализация фундаментальных гипотез геодинамики;
- метод структурно ориентированных построений геодинамического полигона (ГДП);
- комплексность и взаимообусловленность повторных высокоточных наблюдений на ГДП;
- определение динамических параметров блоков земной коры;
- зонирование деформированного состояния блоков земной коры;
- целенаправленность прикладных геодинамических исследований.

Иерархия комплексного геодезического мониторинга деформаций земной коры и её поверхности при освоении месторождений Кузбасса включает следующие уровни:

- региональный (деформации блоков земной коры II, III и рангов);
- локальный (деформации блоков земной коры локальный; IV, V, VI рангов);
- детальный (деформации поверхности земной коры внутри блоков VI ранга).

Теоретической основой предложенных методов мониторинга являются следующие гипотезы [1, 2, 3, 4, 5]:

- о действии и релаксации напряжений;
- о преемственности новейших движений в современный период;
- о пренебрегаемо малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ.

Для первой реализации гипотезы предложены динамические параметры блока земной коры (изменения во времени деформации, напряжения и потенциальной энергии деформирования). Указанные параметры находятся в линейной зависимости от вертикальных и горизонтальных движений, изменений силы тяжести во времени и температуры структурно ориентированных пунктов ГДП и их координат в начальную эпоху.

В рамках реализации второй гипотезы предложен метод структурно ориентированных построений ГДП. Данные построения ГДП находятся в прямой зависимости от взаимодействия блоков земной коры месторождения по разломам, минимальное количество мобильных пунктов для каждого из них равно 4, с заложением в вершине и узлах их пересечения с учетом глубины проникновения и четырех стабильных пунктов – в условно-стабильном блоке.

Более 70 % блоков земной коры III-го ранга Кузбасса имеют форму полигона, образованного 4-мя узлами пересечения разломов. Таким образом, типовой фигурой построений ГДП будет тетраэдр, объемный аналог плоской центральной системы из 5-ти пунктов. Форма такой системы будет определяться расположением наивысшей точки блока земной коры и пересечением разломов, что накладывает ограничения на точностные характеристики. Основными рекомендациями по преодолению данных ограничений являются современные возможности геодезической техники [1, 2, 4].

Многоступенчатость структурно ориентированных построений ГДП в районе освоения месторождения определяется геодинамической активностью блоков земной коры рангов R и R+1 (их скоростью изменения во времени деформаций более $3 \cdot 10^{-6}$ в год).

А для реализации третьей гипотезы предложен метод регистрации развития природных и техногенных геодинамических процессов блоков земной коры на пунктах структурно ориентированные построения ГДП, основанный на прямо пропорциональной зависимости её средних квадратических погрешностей от скорости изменения во времени их деформаций в год, не приводящих к проявлению геодинамических явлений (ГДЯ) (менее $1 \cdot 10^{-6}$ в год), и, проводимый взаимно обусловленным комплексом высокоточных повторных

геодезических и гравиметрических наблюдений наземными и космическими средствами.

Для реализации указанного мониторинга необходимо подготовить следующее обеспечение:

- теоретическое;
- программное;
- кадровое.

Для реализации теоретического обеспечения авторами развита теория и разработаны соответствующие методы. В качестве основы программного обеспечения предлагается программа для персональных компьютеров. На сегодняшний день ни один вуз Кузбасса подготовку специалистов для проведения комплексный геодезический мониторинг деформаций земной коры и её поверхности при освоении угольных месторождений не проводит. Для подготовки указанных специалистов необходимо создание специализации на кафедре инженерной геодезии и маркшейдерского дела Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Безопасное освоение угольных месторождений Кузбасса возможно при реализации комплексного геодезического мониторинга деформаций земной коры и её поверхности.

2. Разработанная теория и методы комплексного геодезического мониторинга деформаций земной коры и её поверхности формируют ГДП нового типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловицкий А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород [Текст]. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.
2. Соловицкий А. Н. Мониторинг геодинамических явлений разрушительного характера при освоении месторождений // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 37–42.
3. Соловицкий А. Н. Об особенностях формирования системы контроля деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса // Геодезия и картография. – 2012. – № 10. – С. 13–16.
4. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождений // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 3–9.
5. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Технология изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 3–11.

© А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий, 2015

АППРОКСИМАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОТОРЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. 343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Назира Адамбековна Кудеринова

Государственный университет им. Шакарима города Семей, Казахстан, г. Семипалатинск, ул. Глинки, 20а, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой геодезии и строительства, тел. (7222)358-438, e-mail: kudnazira@mail.ru

Определение поля силы тяжести, его трансформант не является тривиальной задачей. Для ее решения возможно сочетание аналитических описаний некоторых элементарных пространственных тел с конечно-элементным разбиением рельефа. Здесь описаны некоторые возможные к практическому использованию аналитические модели.

Ключевые слова: локальный рельеф, сила тяжести, аналитические модели.

APPROXIMATION GRAVITATIONAL INFLUENCE LOCAL RELIEF USING SOME ANALYTICAL MODELS

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., professor, Ph. D., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. 343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Nazira A. Kuderinova

State University Shakarim Semey, Kazakhstan, Semipalatinsk, 20 Glinki, Ph. D. Associate Professor, Head. cafes. «Surveying and Construction», tel. (7222)358-438, e-mail: kudnazira@mail.ru

Determination of the gravity field, it transforms not a trivial task. To solve it, perhaps a combination of analytical descriptions of some elementary spatial bodies with finite element partition relief. Here are some of the possible to the practical use of analytical models.

Key words: local topography, gravity, analytical models.

Для обеспечения желательной корректной интерпретации геодезических наблюдений необходимо отталкиваться от фундаментальной научной основы, как это представлено в [1]. Желание качественного и более точного количественного понимания меняющихся со временем окружающих Землю физических полей – это многие века главная составляющая часть парадигмы всех наук о Земле. Очень важным объектом исследований, как в научном аспекте, так и в практическом является меняющееся гравитационное поле. Приложения полученных данных о силе тяжести и их интерпретации разнообразны. Например, геодинамические исследования. Значимые вертикальные смещения точек зем-

ной поверхности и смещения уровенных поверхностей во времени могут возникать, в частности, при разработке крупных месторождений полезных ископаемых [2]. Перераспределение больших объемов пород и руды вызывает значительное изменение поля силы тяжести, а недоучет влияния перемещаемых масс в результаты нивелирования может быть причиной неверного представления о картине вертикальных движений и оказывает влияние на результаты геодезических измерений и определяемые по ним деформации земной поверхности. Понимание локального гравитационного поля и его учет важен при мониторинге вулканизма и корректной интерпретации геодезических наблюдений различного вида [3-6]. Зависимость поправок за плоский и сферический слои в неполной топографической редукции от их толщины и радиуса учитываемой зоны описана в [7].

Определение поля силы тяжести, его трансформант не является тривиальной задачей. И часто для достижения цели делается сочетание аналитических описаний некоторых элементарных пространственных тел с последующим конечно-элементным разбиением сложного элемента рельефа. Многие тела простой формы и постоянной плотности имеют влияние на силу тяготения, выражаемое аналитически в замкнутой форме (в квадратурах). Для шара радиуса R с постоянной плотностью или состоящего из концентрических слоев известна формула

$$\Delta g = \frac{4}{3} \pi G R^3 \Delta \rho \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где $\Delta \rho$ – разность плотности возмущающего тела и плотности окружающей его среды, G – гравитационная постоянная; x, y, z – координаты центра шара. Часто такие гравитирующие тела называют точечными массами, масконами.

Если гравитирующее тело представлять как бесконечно протяженное в горизонтальной плоскости, то формулы упрощаются. Есть технологическое допущение, что это возможно, когда горизонтальные размеры тела в два раза больше глубины его залегания. Это позволяет использовать аналитически выражаемую модель «бесконечного» плоского слоя. Есть еще примеры аналитического подхода к анализу гравитирующего влияния тел простой формы. Например, вертикального цилиндра. Но формула работает только для точек, расположенных на его оси. В случае конуса это так же ограничено расположением точки пространства и гравитирующего конуса.

В работе [8] предложена методика аппроксимации гравитационного влияния тел сложной конфигурации (например, локального рельефа) с использованием выраженного аналитически замкнутого интеграла для параллелепипеда (рис. 1).

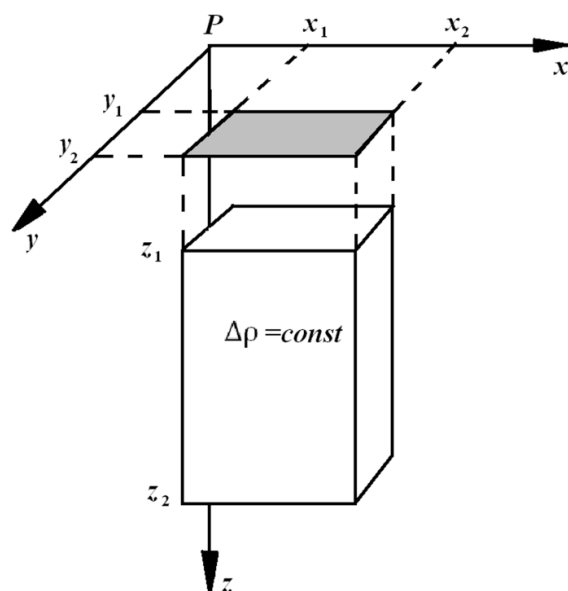


Рис. 1. Гравитирующее тело в виде параллелепипеда

Формула для вычисления аномальной силы тяжести предложена в [9].

$$\Delta g = G\Delta\rho \left\| -x \ln(y+r) - y \ln(x+r) + z \operatorname{arctg} \frac{xy}{zr} \right|_{x_1}^{x_2} \left| \frac{y_2}{y_1} \right|_{z_1}^{z_2},$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

В случае анализа локальных участков с произвольным рельефом предлагается выполнять конечно-элементную аппроксимацию параллелепипедами разной высоты [8]. Необходимый результат получается путем суммирования аналитически вычисленных гравитационных влияний каждого из них. В этом случае количество выбранных конечных элементов значительно сокращается по сравнению с кубической аппроксимацией. Современные компьютеры позволяют быстро производить вычисления, и эта часть технологии не является сложной. Технологически оптимизировать процесс вычисления также способствует достаточно развитая система данных цифровых моделей рельефа (ЦМР).

Конус является достаточно типичной формой рельефа в естественной и техногенной среде. Конусообразными являются вулканы, отдельные составляющие горных хребтов. Вследствие выемки и первичной переработки руды образуются конусообразные карьеры, отвалы. В этом случае возникают ситуации ощутимого изменения локального поля силы тяжести в относительно короткие периоды времени. Для решения практических и научно-практических задач возможно использование как аналитических, так и аппроксимационных, конечно-элементных методов [10, 11].

В работе [12] описаны аналитические представления гравитационного влияния типичных плоских и пространственных тел. В, частности, нами предлагается в конечно-элементном варианте учета пространственных конусообразных

форм рельефа использовать приведенную в [12] аналитическую формулу для потенциала однородного диска в пространственной точке (рис. 2).

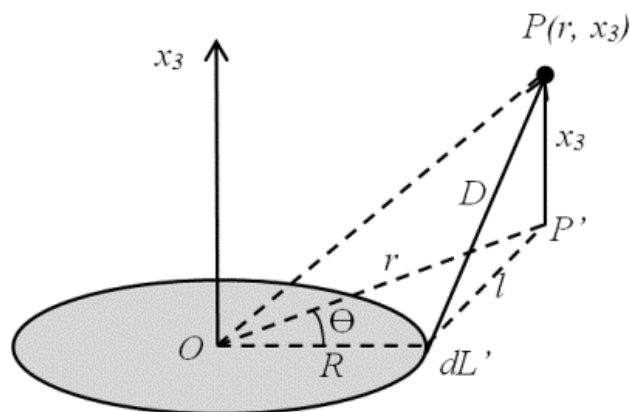


Рис. 2. Схема к формуле расчета потенциала в точке $P(r, x_3)$ от однородного диска.

Расстояние от элемента интегрирования до точки в пространстве:

$$D = \sqrt{R^2 + r^2 + x_3^2 - 2Rr \cos \Theta}.$$

После интегрирования с учетом этой формулы в [12] получена формула для вычисления пространственного потенциала в точке пространства от однородного круглого диска.

$$\begin{aligned} \varphi(r, x_3) = 4G\sigma \left(-\frac{\pi}{2} x_3 + \frac{R^2 - r^2 - x_3^2}{2a} \left(1 + \frac{4R^2 x_3^2}{a^2 \beta^2} \right) K(k) + \frac{a}{2} E(k) + \right. \\ \left. + x_3^2 \frac{Rb^2}{a} \left(\frac{\Pi(\eta_1, k)}{(a^2 - b^2)(R + \sqrt{r^2 + x_3^2})} + \frac{\Pi(\eta_2, k)}{(\beta^2 - b^2)(R - \sqrt{r^2 + x_3^2})} \right) \right). \end{aligned}$$

Тем, кто интересуется подробностями приведенного уравнения, следует смотреть [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К., Середович В. А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.
2. Мазуров Б. Т. Математическая обработка нивелирных и гравиметрических наблюдений в условиях извлечения и перемещения больших объемов руды и пород // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. – № 4. – С. 99–104.
3. Мазуров Б. Т. Моделирование и идентификация геодинамического объекта в вулканической области по комплексным нивелирным и гравиметрическим наблюдениям // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 84–94.

4. Мазуров Б. Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 3. – С. 93–102.
5. Мазуров Б. Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния вулканической области по результатам геодезических и геофизических наблюдений // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 7. – С. 58–62.
6. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–20.
7. Дементьев Ю. В. Зависимость поправок за плоский и сферический слои в неполной топографической редукции от их толщины и радиуса учитываемой зоны // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 13 (2). – С. 13–17.
8. Мазуров Б. Т., Некрасова О. И. Аппроксимация гравитационного влияния локального рельефа по его цифровым моделям // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 2–4.
9. Nagy B. The gravitational attraction of a right angular prism / Geophysics 31. – 1966. – P. 362–371.
10. Мазуров Б. Т., Некрасова О. И. Конечно-элементная модель конусообразных форм рельефа для учета их гравитирующего влияния на результаты геодезических измерений // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 42–45.
11. Мазуров Б. Т., Некрасова О. И. Гравитирующее влияние конусообразных форм рельефа на результаты геодезических измерений // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 2–6.
12. Кондратьев Б. П. Теория потенциала. Новые методы и задачи с решениями. – М.: Мир, 2007. – 512 с., ил.

© Б. Т. Мазуров, Н. А. Кудеринова, 2015

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ВАНТОВЫХ МОСТОВ ПО ДАННЫМ ГНСС-МОНИТОРИНГА

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Фавзи Хамед Зарзура

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (965)823-81-89, e-mail: fawzyhamed2011@yahoo.com

Самира Хассанеин Ахмед

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (953)761-82-16, e-mail: semsem.nosha@yahoo.com

Мосты являются важными транспортными узлами. которые испытывают нагрузки разного вида: от движущегося транспорта, ветра, высоких или низких температур и т.п. Для обеспечения эксплуатационной безопасности мостов желательным является непрерывный процесс наблюдения – мониторинг смещений. В настоящее время являются востребованными ГНСС-технологии. В статье приведены результаты исследований по разработке алгоритмов выбора прогнозных моделей смещений вантовых мостов, как кинематических, так и динамических по результатам мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, ГНСС, вантовые мосты, прогноз, кинематические и динамические модели смещений.

ALGORITHM FOR DETERMINING A PREDICTIVE MODEL OF THE DYNAMICS STAYED BRIDGE ACCORDING GNSS-MONITORING

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, Ph. D., Prof. of Department of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Fawzi H. Zarzoura

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, gradual student, tel. (965)823-81-89, e-mail: fawzyhamed2011@yahoo.com

Samira H. Ahmed

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, Msc student, tel. (953)761-82-16, e-mail: semsem.nosha@yahoo.com

Bridges are important transport hubs. Experiencing different types of loads from moving traffic, wind, high or low temperatures, etc. To ensure the operational safety of bridges is desirable continuous process monitoring – monitoring of displacements. At the present time are in demand

GNSS technology. The paper presents the results of studies on the development of algorithms for the selection of predictive models displacements cable-stayed bridges, both kinematic and dynamic monitoring results.

Key words: monitoring, GNSS, cable-stayed bridge, forecast, kinematic and dynamic models of displacement.

Быстрота постройки вантовых мостов и их экономичность в сравнении с традиционными мостами на опорах все же сопровождается ограниченностью их использования. Например, невозможным является передвижение железнодорожного транспорта и т.п. На изменение положения характерных конструктивных элементов моста значимо влияет транспортная нагрузка, температура и ветер. Неизбежно возникает задача обеспечения безопасности вантовых мостов при их эксплуатации в условиях разнообразных внешних и климатических воздействий. Мосты относятся к локальным геодинамическим системам. Важным является обоснованное статистическое создание прогнозных моделей для таких объектов [1]. Идентификация движений природных объектов [2-5] и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики [6, 7] имеет важное практическое значение при решении задач проектирования и эксплуатации, при определении допустимых нагрузок и других задачах. Сопутствующие технологические приемы визуализации позволяют более обоснованно выполнять экспертную оценку выявляемых моделей смещений и деформаций [8-10].

В качестве основного средства мониторинга в настоящее время следует рассматривать спутниковые геодезические приемники, поскольку они обладают возможностью непрерывного выполнения измерений вне зависимости от погодных условий. В работах [11, 12] дано описание использования ГНСС-технологий, как технологической основы мониторинга. Важным результатом использования ГНСС-технологий для мониторинга различных природно-технических систем является возможность прогноза их поведения. Однако, поиск достоверных прогнозных моделей зачастую осложняется значимым влиянием различных факторов окружающей среды не только на наблюдения, но и на сам объект. Нами выполнен анализ этих влияний на динамику подвесного моста с использованием реальных экспериментальных данных ГНСС за год. Объектом исследований был вантовый мост Хуанпу (Китай). Сравнивались различные методы аппроксимации – степенные полиномы, сплайны и др.

Например, использовались классические формулы регрессии

$$y = a + b_1x_{i1} + b_2x_{i2} + \dots + b_kx_{ik} + e_i \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$F(x) = a_1 + a_2F + a_3W + a_4T + a_5H.$$

$$F(x) = a_1 + a_2F + a_3W + a_4T + a_5H + a_6F \cdot W + a_7F \cdot T + a_8F \cdot H + a_9W \cdot T + a_{10}W \cdot H + a_{11}H \cdot T + a_{12}F^2 + a_{13}W^2 + a_{14}T^2 + a_{15}H^2.$$

где F – нагрузка машин на моста в данный момент времени (тонн);

W – скорость ветра (м/с); T – температура ($^{\circ}\text{C}$); H – влажность (%).

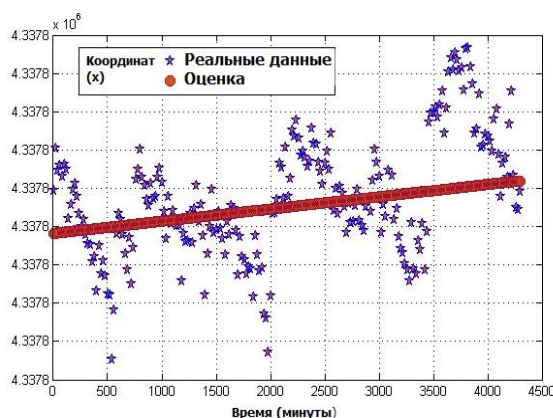
Для этих формул были получены математические уравнения связи смещений в см с некоторыми метеорологическими факторами (ветром, температурой, влажностью) и транспортной нагрузкой.

Был применен метод ИНС – искусственной нейронной сети (рис. 1).

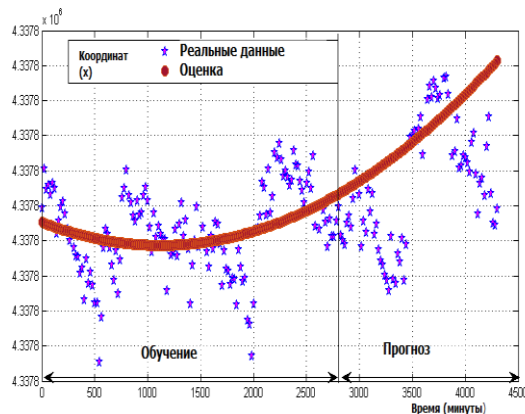
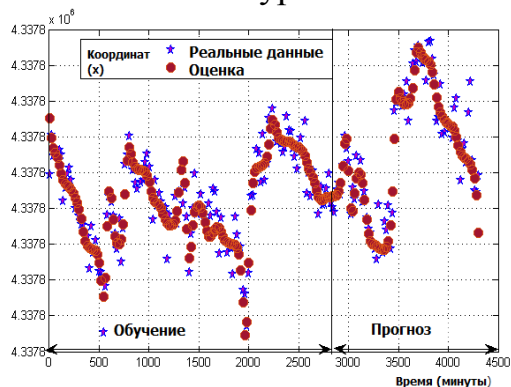


Рис. 1. Искусственная нейронная сеть

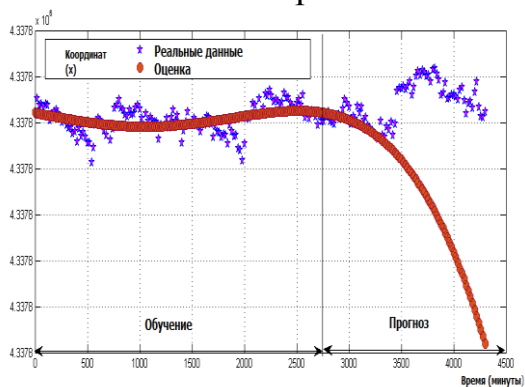
Для данного реального объекта именно этот метод оказался наиболее применимым к прогнозированию. Выполнена реализация алгоритма выбора прогнозных моделей, как кинематических, так и динамических, в системе программирования MATLAB. Результаты прогнозирования для х- смещений (рис. 2) подтверждают наилучшее прогнозирование с использованием ИНС.

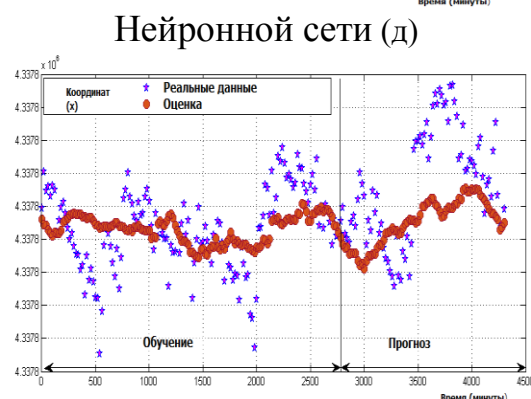
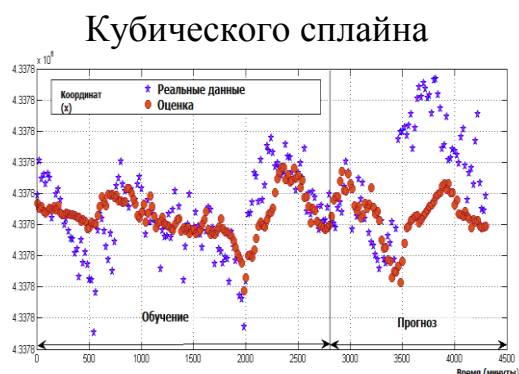
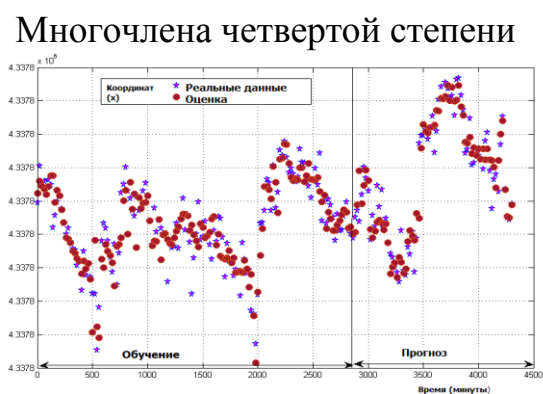
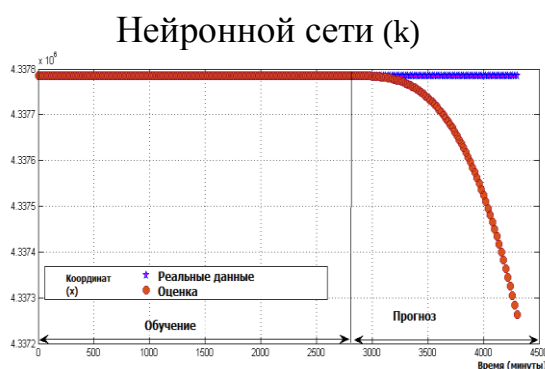


Линейного уравнения



Многочлена второй степени





Метода регрессии формула (2)

Метода регрессии формула (1)

Рис. 2. Результаты прогнозирования для х- смещений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарзура Ф. Х., Мазуров Б. Т., ЭссаиАли М. Х. Прогнозные Модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4С. – С. 40–44.
2. Мазуров Б. Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 3. – С. 93–102.
3. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–20.
4. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка разнородных комплексных геодезических и геофизических наблюдений // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 6. – С. 30–39.
5. Мазуров Б. Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния вулканической области по результатам геодезических и геофизических наблюдений // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 7. – С. 58–62.
6. Крамаренко А. А. Математическое обеспечение идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С. 3–13.
7. Крамаренко А. А., Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К. Вычислительный эксперимент идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 6. – С. 3–14.

8. Мазуров Б. Т. Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 51–55.
9. Мазуров Б. Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
10. Мазуров Б. Т., Дорогова И. Е., Дербенев К. В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.
11. Зарзура Ф. Х., Мазуров Б. Т. Исследование кодовых и фазовых дифференциальных ГНСС и систем WADGPS и OMNISTAR // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 2–4.
12. Зарзура Ф. Х., Мазуров Б. Т. Повышение точности дифференциальной GPS и кинематики реального времени для GPS-сетей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 200–205.

© Б. Т. Мазуров, Ф. Х. Зарзура, С. Х. Ахмед, 2015

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ НАБЛЮДЕНИЙ

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Фавзи Хамед Зарзура

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (965)823-81-89, e-mail: fawzyhamed2011@yahoo.com

Самира Хассанеин Ахмед

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (953)761-82-16, e-mail: semsem.nosha@yahoo.com

Мониторинг играет важную роль в контроле инженерных систем. Должна быть учтена связь между действующими нагрузками и результатами деформаций. Наблюдения выполняются с высокой частотой дискретизации во времени. В общем случае, статическая модель поведения объекта мониторинга (без коррелирования) не достаточна. Анализ может осуществляться посредством обработки парно-коррелированных наблюдений. В статье исследуется система мониторинга для оценки деформационного поведения мостов.

Ключевые слова: статическая модель, парно-коррелированная модель, мониторинг.

AN ANALYTICAL METHOD TO IMPROVE THE CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN OBSERVATIONS

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, Ph. D., Prof. of Department of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Fawzi H. Zarzoura

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, gradual student, tel. (965)823-81-89, e-mail: fawzyhamed2011@yahoo.com

Samira H. Ahmed

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, Msc student, tel. (953)761-82-16, e-mail: semsem.nosha@yahoo.com

Monitoring plays an important role in the control structure. The relation between active loads and deformations as a result must be taken into account. With high sampling rate, the time difference arises between the observations. Thus, it is assumed stochastic model (uncorrelated) is not suitable. The analysis should be carried out by means of auto-correlated observations. Investigate monitoring system to evaluate the deformation behavior of bridges from total station observations.

Key words: stochastic, uncorrelated, monitoring and auto-correlated.

Существует задача обеспечения безопасности вантовых мостов при их эксплуатации в условиях разнообразных внешних и климатических воздействий. Важным является обоснованное статистическое создание прогнозных моделей для таких объектов [1]. Идентификация движений природных объектов [2-5] и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики [6, 7] имеет важное практическое значение при решении задач проектирования и эксплуатации, при определении допустимых нагрузок и других задачах. Сопутствующие технологические приемы визуализации позволяют более обоснованно выполнять экспертную оценку выявляемых моделей смещений и деформаций [8-10].

Рассмотрим в качестве примера мониторинг моста Эль-Дерасат в городе Мансура с помощью двух тахеометров. Мост имеет длину 54,5м и ширину 6,85 м. Мост подвергается нагрузкам двух типов. Первый тип – статическая нагрузка, которая включает в себя собственный вес моста. Второй тип – динамические нагрузки, как результат перемещения транспортных средств.

Далее в статье приведены данные анализа для наиболее показательных в смысле определения максимальных деформаций точки (10, 7, 5, 2) из 14-ти точек измерений на мосту и для крайних двух реперов (BM1 и BM2). Для данного исследования были проведены две группы наблюдения – первая группа без нагрузок; другая группа включала в себе нагрузки. Использовались тахеометры DTM850 в точке (A), а SET300 в точке (B), $\sigma_s = \pm (3 + 2 \text{ ppm} \times s)$ мм, $\sigma_\alpha = \sigma_\gamma = 1''$.

Скорректированные координаты каждой точки в сети мониторинга с учетом погрешности измерений рассчитывались с использованием МНК. Координаты точки (B) могут быть определены по измеренным горизонтальным и вертикальным углам и расстоянию (рис.).

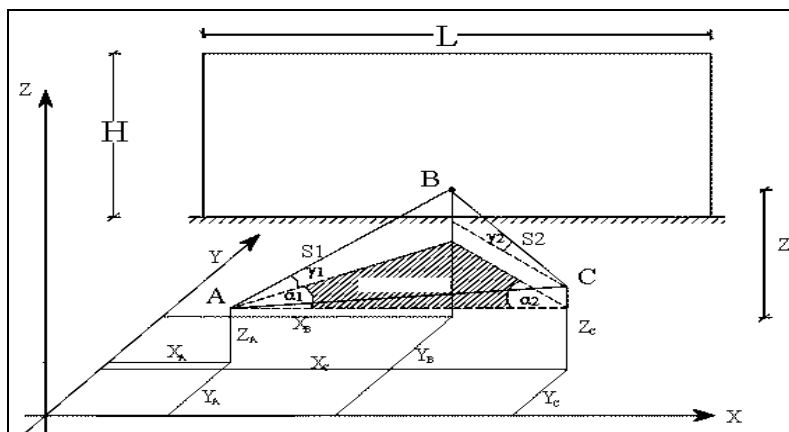


Рис. Определение координат тахеометром

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

Для стандартов координат будет уравнение следующее:

$$\begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial S} & \frac{\partial X}{\partial \alpha} & \frac{\partial X}{\partial \gamma} \\ \frac{\partial Y}{\partial S} & \frac{\partial Y}{\partial \alpha} & \frac{\partial Y}{\partial \gamma} \\ \frac{\partial Z}{\partial S} & \frac{\partial Z}{\partial \alpha} & \frac{\partial Z}{\partial \gamma} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_l^2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & \sigma_\alpha^2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & \sigma_\gamma^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial S} & \frac{\partial Y}{\partial S} & \frac{\partial Z}{\partial S} \\ \frac{\partial X}{\partial \alpha} & \frac{\partial Y}{\partial \alpha} & \frac{\partial Z}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial X}{\partial \gamma} & \frac{\partial Y}{\partial \gamma} & \frac{\partial Z}{\partial \gamma} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Коэффициент корреляции является мерой того, насколько близко две величины связаны между собой:

$$R_{(X,Y)} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (3)$$

где σ — среднеквадратическое отклонение. Корреляция между парами величин измерений должна быть принята во внимание при математической обработке. Элементы используемой матрицы Q являются коэффициентами корреляции между непосредственно соседствующими значениями наблюдений из регрессионного анализа. Соответственно весовая матрица W может быть рассчитана следующим образом:

$$W = Q^{-1}. \quad (4)$$

Эта новая матрица весов W использовалась при регрессионном анализе (по МНК) для вычисления новых значений параметров и их погрешностей. Скорректированные координаты и связанные с ними погрешности каждой точки в сети мониторинга рассчитывались с учетом парной корреляции.

Таблица

Сравнение регрессионного анализа с учетом парной корреляции ($\sigma_{\text{парные}}$) и без нее (σ). Их отношение, выраженное в %.

Точки	Мост без нагрузок			Мост с нагрузкой		
	$\sigma_X \text{ парные} / \sigma_{X1}$ %	$\sigma_Y \text{ парные} / \sigma_{Y1}$ %	$\sigma_Z \text{ парные} / \sigma_{Z1}$ %	$\sigma_X \text{ парные} / \sigma_{X1}$ %	$\sigma_Y \text{ парные} / \sigma_{Y1}$ %	$\sigma_Z \text{ парные} / \sigma_{Z1}$ %
BM1	29,35	15,47	891,63	29,55	15,47	891,63
2	15,25	12,64	584,39	20,17	16,66	781,71
5	6,77	7,52	469,83	10,82	13,10	498,78
7	12,83	13,92	540,58	10,85	11,75	453,59
10	13,90	11,84	726,25	16,16	10,00	539,36
BM2	12,98	6,49	429,97	17,05	4,82	298,47

Результаты экспериментальной работы позволяют сделать следующие выводы:

1) предлагаемые геодезические методы с использованием двух тахеометров могут обеспечить ценные данные о деформации конструктивных элементов и движения зданий;

2) метод парной корреляции в основном зависит от дисперсии ковариационной матрицы наблюдений, он улучшает стандартное отклонение в горизонтальной плоскости (X и Y), но не улучшает результат по высоте (Z).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарзура Ф. Х., Мазуров Б. Т., ЭссаиАли М. Х. Прогнозные Модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2014. – № 4С. – С. 40–44.
2. Мазуров Б. Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 3. – С. 93–102.
3. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–20.
4. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка разнородных комплексных геодезических и геофизических наблюдений // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 6. – С. 30–39.
5. Мазуров Б. Т. Идентификация напряженно-деформированного состояния вулканической области по результатам геодезических и геофизических наблюдений // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 7. – С. 58–62.
6. Крамаренко А. А., Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К. Математическое обеспечение идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С. 3–13.
7. Крамаренко А. А., Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К. Вычислительный эксперимент идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 6. – С. 3–14.
8. Мазуров Б. Т. Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 51–55.
9. Мазуров Б. Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
10. Мазуров Б. Т., Дорогова И. Е., Дербенев К. В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.

© Б. Т. Мазуров, Ф. Х. Зарзура, С. Х. Ахмед, 2015

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Анастасия Алексеевна Силаева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: silaeva_91@mail.ru

В настоящее время, в связи с развитием исследований в области промышленной безопасности, большое внимание уделяется вопросам мониторинга геодинамических процессов на техногенных объектах. В целях мониторинга деформационных процессов, обусловленных геодинамическими изменениями, создаются геодинамические полигоны. При проектировании таких полигонов необходимо учитывать математические модели движений земной коры изучаемой территории.

Ключевые слова: геодинамический полигон, оптимальное проектирование, математические модели.

DESIGN PECULIARITIES OF GEODYNAMIC POLYGON'S ON THE OF TECHNOGENIC OBJECT'S

Anastasia A. Silaeva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a post-graduate student, Engineering Geodesy and Surveying Department, tel. (383)343-29-55, e-mail: silaeva_91@mail.ru

At the present time, in connection with the development of research in the field of industrial safety, much attention is paid to the monitoring of geodynamic processes on man-made objects. In order to monitor the deformation processes caused by geodynamic changes are geodynamic polygons. In the design of such acts must be considered mathematical models of crustal movements study area.

Key words: geodynamic range, optimal design, mathematical models.

Известно, что в местах длительного освоения залежей углеводородов, наблюдаются аномальные деформации, к примеру, обширные просадки земной поверхности, которые достигают весьма значительных величин (более метра) [1]. На ГЭС, вследствие постоянного изменения работы гидроагрегатов, возникает переменное давление на низовую грань сооружений, что также влияет на геодинамические процессы в приповерхностных геологических структурах [2]. Также к деформациям и разрушению горных пород приводит процесс эксплуатации природных хранилищ газа [3]. Эти причины вызывают необходимость принятия соответствующих мер по организации надежного оперативного контроля за состоянием приповерхностных геологических структур и размещенных на них сооружений. Контроль должен базироваться на комплексном подходе, включающем геодезические, геофизические, гидрогеологические и другие методы исследований.

Нормативными документами, в целях отслеживания деформационных процессов, обусловленных геодинамическими изменениями, предусматривается создание геодинамических полигонов (ГДП) – целесообразно выбранных территорий, в пределах которых ведется комплекс регулярных астрономо-геодезических и гравиметрических наблюдений, нацеленный на определение количественных характеристик деформаций земной коры, а также на изучение развития этих явлений во времени [4]. На таких полигонах создается система геодезических построений, которая должна быть запроектирована так, чтобы по возможности фиксировать всю интересующую исследователя информацию. ГДП используются для наблюдений и последующего изучения тектонических, техногенных, физико-химических и других процессов, обуславливающих изменение свойств и состояния пород [2].

При проектировании геодезических построений на ГДП необходимо максимально возможно учитывать имеющиеся данные о модели движений земной коры в данном районе, о его основных тектонических нарушениях и геологическом строении. Требуется, чтобы каждый ГДП являлся совокупностью взаимосвязанных профилей, которые должны пересекать существующие или предполагаемые разломы. Схемы контролирующих геодезических построений должны постоянно уточняться. К способам уточнения этих схем относятся:

- создание в отдельных, наиболее ослабленных тектоническими нарушениями районах локальных построений типа деформационных станций;
- расширение состава измерений гравиметрическими, спутниковыми и другими определениями;
- увеличение частоты измерений [5].

Проектирование геодинамической сети – задача довольно трудная, в связи с тем, что многие параметры не могут быть измерены непосредственно. Такие экспериментальные задачи выполняют с помощью математических моделей. Параметры, которые учитываются при построении модели любого геодинамического объекта, зависят как от времени, так и от пространственных координат пунктов наблюдений. В соответствии с этим результаты наблюдений рассматриваются как многомерные пространственно-временные ряды [6]. Для создания адекватной пространственно-временной математической модели геодинамического объекта система наблюдений за ним должна состоять из комплекса разнородных наблюдений, как наземных, так и спутниковых.

В качестве исходных параметров следует использовать полученное от заказчика описание процесса. В случае если информация отсутствует или если она недостаточна, то следует провести теоретические расчеты возможных деформаций земной поверхности по приближенным формулам.

В качестве исходной расчетной схемы для проектирования используется модель деформируемого пласта. При этом вариации пластового давления являются базовыми входными параметрами модели [3]. Также обязательно учитываются геометрические размеры моделируемого объекта, такие как толщина, ширина и длина пласта, сжимаемость порового пространства горных пород.

Математическая модель, построенная в результате обработки многомерных пространственно-временных рядов геодезических наблюдений, служит для решения таких важных задач, как прогнозирование поведения объекта и возможное управление им [5].

Математическое моделирование геодинамических объектов опирается, прежде всего, на данные о строении, составе и физических свойствах недр земли. Также, при моделировании следует учитывать, что земля, совместно с геосферами, ее геофизическими полями и внешними возмущающими воздействиями, представляет собой единую сложную природную систему [6].

Теоретически можно неограниченно повышать точность моделирования объекта и всех его проявлений, учитывая все новые группы его признаков – от существенных до малозначительных [7]. В интересах практики часто достаточно знать самые существенные признаки изучаемого объекта. Поэтому строят физический аналог объекта и по нему изучают его существенные признаки и проявления, или из всего множества параметров объекта измеряют только те, по которым можно изучить интересующие свойства и проявления объекта [7].

Поиск адекватной динамической модели движений земной коры может быть выполнен с различной степенью точности в зависимости от качеств системы наблюдений (схема сети, точность, частота измерений), а решение задач оптимизации наблюдений непосредственно зависит от результатов структурной идентификации [5], т.е. разбиении всей геодинамической системы на блоки.

Процесс определения структуры адекватной математической модели движения носит итерационный характер. Этот процесс включает в себя планирование измерений, наиболее информативных в отношении момента времени и координат точек, на которых следует проводить наблюдения.

Изучение сложных геодинамических объектов необходимо вести с позиций системного подхода и системного анализа, рассматривая моделирование геодинамических систем и оптимизацию системы наблюдений в их взаимосвязи, выполняя идентификацию для достаточно широкого класса различных по структуре моделей-претендентов, а оптимизацию системы геодезических наблюдений) выполнять с учетом структурных математических моделей этих объектов [5].

После этапа построения математической модели интересующего исследователя геодинамического объекта следует процесс проектирования сети. Одним из важных критериев построения геодинамических сетей на ГДП является оптимальное количество пунктов в сети. Чтобы определить нужное количество пунктов, необходимо учитывать особенности геолого-тектонического строения участка (наличие геологических нарушений), стадию разработки месторождения (планируется ли строительство новых объектов нефтедобычи), степень его техногенной нагрузки (концентрация объектов обустройства), площадь участка и горного отвода, количество выделенных геоблоков; положение зон геодинамического риска относительно существующих и проектируемых сооружений [2].

Пункты ГДП подразделяют на мобильные и стабильные, при этом минимальное количество стабильных пунктов должно быть не менее трех. Они закрепляются в условно-стабильном блоке земной коры [8]. Чтобы геодезические наблюдения давали наглядное представление о развитии процесса оседания для прогнозирования возможных последствий и проектирования мер инженерной защиты необходимо, по возможности, точно выбирать места максимальных оседаний [9].

Структурно ориентированные построения ГДП находятся в прямой зависимости от формы и иерархии блочного массива территории, отличаются разной высотой расположения с закреплением в вершине и узлах пересечения разломов. Общим и актуальным для всех построений является требование располагать пункты с учетом предполагаемых линий разломов, разрывов и границ блоков [5].

Крайние пункты закрепляются на местности фундаментальными реперами и выносятся не только за пределы границ горного отвода, но и за пределы контура ошибок наблюдений. Это позволяет с наибольшей эффективностью оценивать деформационные процессы.

В качестве типов построения рекомендуется использовать следующие типы фрагментов геодезической сети [4]:

1. Профильная линия.
2. Замкнутые concentрические полигоны.
3. Наблюдательные станции.
4. Деформационные сети.

Чтобы оптимально запроектировать сеть необязательно на каждом объекте создавать фрагменты всех названных выше типов сетей. В каждом случае необходимо исходить из принципа минимальной достаточности.

Из всего вышесказанного следует, что процесс строительства сложных инженерных объектов вне зависимости от своего назначения обязательно должен сопровождаться системой эколого-геодинамического мониторинга, а проекты строительства должны включать сведения о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород, активности современных тектонических движений, как вертикальных, так и горизонтальных [10].

Система мониторинга должна обеспечивать экологическую и геодинамическую безопасность объекта и относящейся к нему территории. Необходимо, чтобы программа мониторинга разрабатывалась отдельно для каждого проекта и содержала оптимальные методы наблюдений за деформационной ситуацией каждого конкретного объекта, оптимальный состав методов, а также аппаратное методическое обеспечение и режим наблюдений, адекватные задачам мониторинга.

Также при проектировании геодинамических полигонов необходимо уделить внимание выбору модели движений земной коры территории, применение которой должно быть детально обосновано. Сама модель должна достаточно точно и полно показывать закономерности геодинамики объекта исследования.

При этом необходимо, чтобы применяемая модель не противоречила алгоритму обработки первичной информации и последующей оценке геодинамического состояния объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин Ю. О. Обоснование необходимости создания геодинамических полигонов // Центр инженерных геотехнологий, режим доступа: <http://www.cegeot.ru/staty2.html>.
2. Генике А. А., Черненко В. Н. Комплексные исследования на локальных геодинамических полигонах // Геопрофи. – 2003. – № 2. – С. 11–16.
3. Обоснование и проектирование геодинамического полигона на Шатровском ПХГ / Г. А. Ярыгин, О. В. Лукьянов, А. Р. Гизатуллин, Ю. О. Кузьмин, А. И. Никонов, А. Л. Тюрин // Спецвыпуск журнала «Газовая промышленность». – Подземное хранение газа. – 2012.
4. Применение геодезических методов в геодинамике. Учеб.пособие // Г.А. Шароглазова. – Новополюк: ПГУ, 2002. – 192 с.
5. Мазуров Б. Т. Моделирование структурированных геодинамических объектов и оптимизация системы наблюдений / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск. – 1996. – 24 с.
6. Панкрушин В. К. Математическое моделирование и идентификация геодинамических систем. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 424 с.
7. Машимов М. М. Геодезия. Теоретическая геодезия: Справочное пособие // под ред. В. П. Савиных и В. Р. Ященко. – М.: Недра, 1991. – 268 с.: ил.
8. Соловицкий А. Н. Геодинамический полигон – информационная основа исследования медленных деформационных процессов блочного массива горных пород месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга. – 2011. – № 2. – С. 338–341.
9. Гайрабеков И. Г. Особенности построения геодезических сетей для наблюдения за оседанием земной поверхности в районе добычи нефти и газа // Электронный научный журнал «Инженерный Вестник Дона». – 2011. – № 1.
10. Ярыгин Г. А., Лукьянов О. В., Гусельцев А. С. Геодинамические полигоны в системе обеспечения экологической безопасности объектов добычи и транспорта нефти и газа // Издательский дом «Гелион», режим доступа: <http://helion-ltd.ru/geodynamic-ranges-in-system-of/>.

© А. А. Силаева, 2015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПО ГАРМОНИЧЕСКИМ КОЭФФИЦИЕНТАМ ГЕОПОТЕНЦИАЛА

Борис Анатольевич Харченко

Сибирская государственная академия геоинформационных технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, аспирант, тел. (923)179-98-94, e-mail: boris.1979@mail.ru

В статье рассмотрена взаимосвязь между гармоническими коэффициентами геопотенциала и глобальными изменениями силы тяжести. Низкие гармоники геопотенциала достаточно точно описывают длинные волны глобальных изменений силы тяжести, поэтому для анализа достаточно двенадцатой степени разложения геопотенциала.

Ключевые слова: сила тяжести, глобальное изменение силы тяжести, гармонические коэффициенты, общеземной эллипсоид.

DETERMINATION OF GLOBAL GRAVITY VARIATIONS WITH GEOPOTENTIAL MODEL

Boris A. Kharchenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student, tel. (923)179-98-94, e-mail: boris.1979@mail.ru

The article deals with the relationship between the harmonic coefficients of the geopotential and global gravity variations. Low harmonics of the geopotential quite accurately describe the long waves of global change gravity, so to analyze enough twelfth degree of decomposition of the geopotential.

Key words: gravity, global gravity variations, harmonic coefficients, the terrestrial ellipsoid.

Введение. На сегодняшний день невозможно представить изучение фигуры Земли и проведения высокоточных геодезических работ без учета гравитационного поля Земли (ГПЗ). Вся деятельность человека происходит в реальном гравитационном поле физической поверхности Земли в определенный момент времени, что заставляет учитывать так же и динамику изменения ГПЗ.

Все существующие модели ГПЗ с той или иной степенью точности описывают гравитационное поле в глобальном или локальном масштабах. Основная функция всех этих моделей заключается в вычислении характеристик ГПЗ в конкретной точке и в конкретный момент времени. К этим характеристикам относят: отклонения отвесной линии (УОЛ), аномалии высот и силы тяжести. Важной составляющей математической модели ГПЗ являются гармонические коэффициенты геопотенциала. Так в [1] описывается исследование значений аномалий силы тяжести локального района Земли, по данным полученным из наземных гравиметрических измерений и восстановленных по глобальной модели гравитационного поля Земли EGM2008. В данной статье будет рассмотрено изменение значений аномалий силы тяжести в планетарном масштабе.

Причины глобального изменения силы тяжести. Поскольку Земля не является однородным, не вращающимся шаром, а небесным телом неправильной формы, с непостоянной скоростью вращения, неоднородным распределением плотностей, то, исходя из определения силы тяжести, должны существовать наблюдаемые изменения силы тяжести во времени.

На поверхности Земли сила тяжести может изменяться в зависимости от изменения скорости вращения Земли, перемещения масс в атмосфере, изменения уровня океана, вертикальных движений земной коры, перемещения масс в теле Земли, изменения гравитационной постоянной G со временем.

Например, согласно измерениям, проведенным на гравиметрических станциях Италии в период с 1996 по 2000 г., смещение ядра Земли получило отражение в возрастании силы тяжести на 5,5 мкГал [2]. Сезонные изменения уровня Мирового океана вызваны нагреванием (охлаждением) и опреснением (осолением), что ведет к изменению плотности морской воды. Величина этих изменений сравнительно невелика, но происходящие при этом изменения объема имеют результатом подъемы и спады уровня с годовой периодичностью и величиной в десятки сантиметров [3].

Глобальные непривлинные изменения силы тяжести в основном обусловлены перемещением масс в теле Земли. Эти изменения носят длительный характер, продолжительностью $10^3 - 10^8$ лет и имеют порядок в пределах $1 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. Размеры площадей, на которых проявляются изменения силы тяжести, зависят от глубины источников изменения силы тяжести. Так, например, волны глобальных изменений силы тяжести длиной более 10^4 км могут быть вызваны смещением земного ядра относительно мантии и перемещениями масс в мантии, а также повышением уровня Мирового океана [4].

Определение глобальных изменений силы тяжести по гармоническим коэффициентам. Между гармоническими коэффициентами разложения по сферическим функциям характеристик ГПЗ – возмущающего потенциала, аномалии силы тяжести, высот квазигеоида и отклонения отвеса существуют аналитические зависимости. Зависимость основана на формулах Стокса и Венинг Мейнеса, которые позволяют по известным коэффициентам одной из характеристик ГПЗ вычислить соответствующие коэффициенты разложения по сферическим функциям любых других характеристик в сферическом стоксовом приближении [4].

Для наблюдений за глобальными изменениями силы тяжести наиболее подходят спутниковые и комбинированные методы. Эти изменения можно выявить по приращениям гармонических коэффициентов геопотенциала δC_{nm} и δS_{nm} , которые связаны функциональной зависимостью (1) с изменениями силы тяжести δg и высоты δH в точках с координатами φ и λ .

$$\delta g + \frac{2 \cdot g}{r} \cdot \delta H = \frac{f \cdot M}{r} \cdot \left[\sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \cdot \left(\frac{a}{r} \right)^n \cdot \sum_{m=0}^n (\delta C_{nm} \cdot \cos(m\lambda) + \delta S_{nm} \cdot \sin(m\lambda)) \cdot P_{nm}(\sin \varphi) \right] \quad (1)$$

Значения коэффициентов C_{nm} и S_{nm} являются основой моделей ГПЗ, которые на сегодняшний день представлены в огромных количествах. Наиболее полные и точные модели ГПЗ созданы при помощи комбинированных методов, т.е. с привлечением спутниковых технологий и гравиметрических измерений. Более подробно о самих моделях и их сравнениях написано в работах [1, 5, 6 и др.].

Восстановление полей по разностям гармонических коэффициентов. В данной статье для анализа глобального изменения силы тяжести по гармоническим коэффициентам геопотенциала были использованы две наиболее коррелирующие друг с другом модели глобального ГПЗ – EGM2008 и EGM84. По составу данных они обе относятся к комбинированным, страна производитель – США. Степень разложения у них разная, но для рассмотрения глобальных изменений в целом по планете необходимо использовать низкие гармоники, которые описывают волны большой длины, вызванные причинами глобальных изменений силы тяжести. Значения гармонических коэффициентов для моделей EGM2008 и EGM84 взяты с официального сайта Национального агентства геопространственной разведки США [7].

Для наглядного представления и интерпретации полученных результатов был использован программный комплекс Golden Software Surfer 10, с помощью которого были составлены следующие картосхемы:

- картосхема аномалий силы тяжести, рассчитанных по гармоническим коэффициентам геопотенциала моделей EGM84 и EGM2008, с степенью разложения $N = 12$, представленная на рис. 1;
- картосхема изменений аномалий силы тяжести во времени, полученных по разностям гармонических коэффициентов моделей EGM84 и EGM2008, представленная на рис. 2;
- полученная картосхема изменений аномалий силы тяжести, для наглядности совместно с обзорной картой мира, представленная на рис. 3.

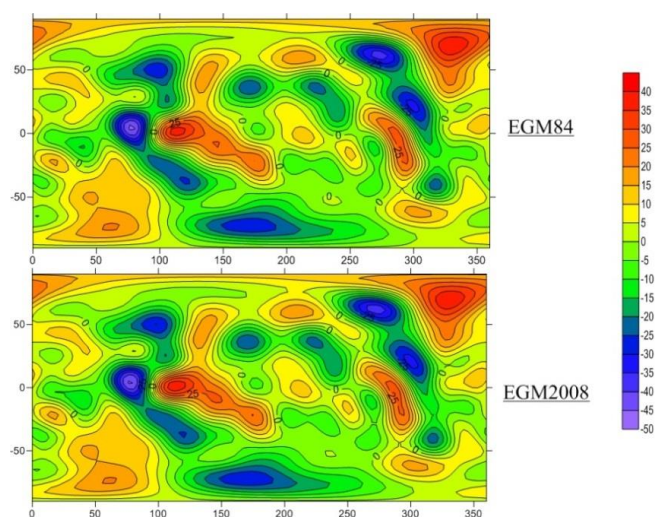


Рис. 1. Картосхема аномалий силы тяжести, полученных по глобальным моделям EGM84 и EGM2008

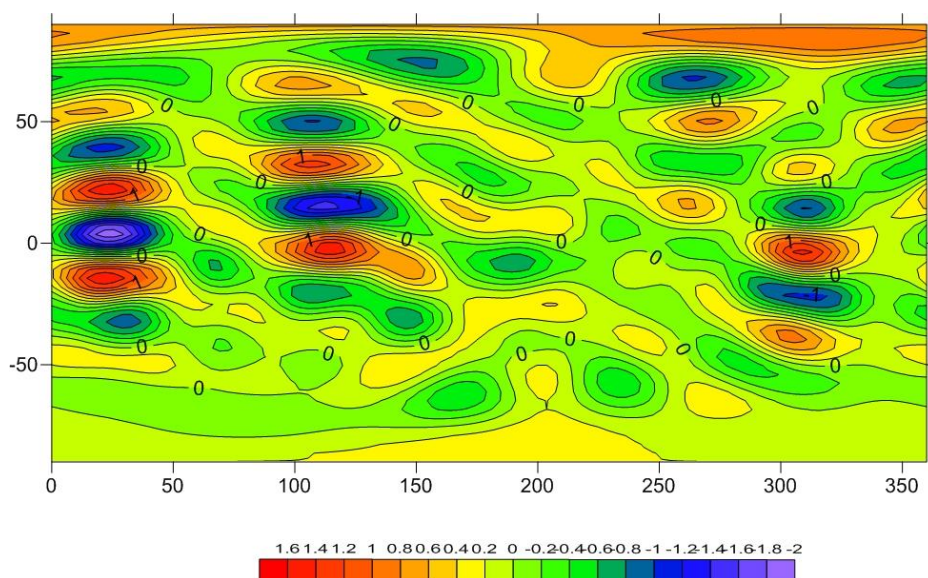


Рис. 2. Картограмма аномалий силы тяжести, полученных по разностям глобальных моделей EGM84 и EGM2008

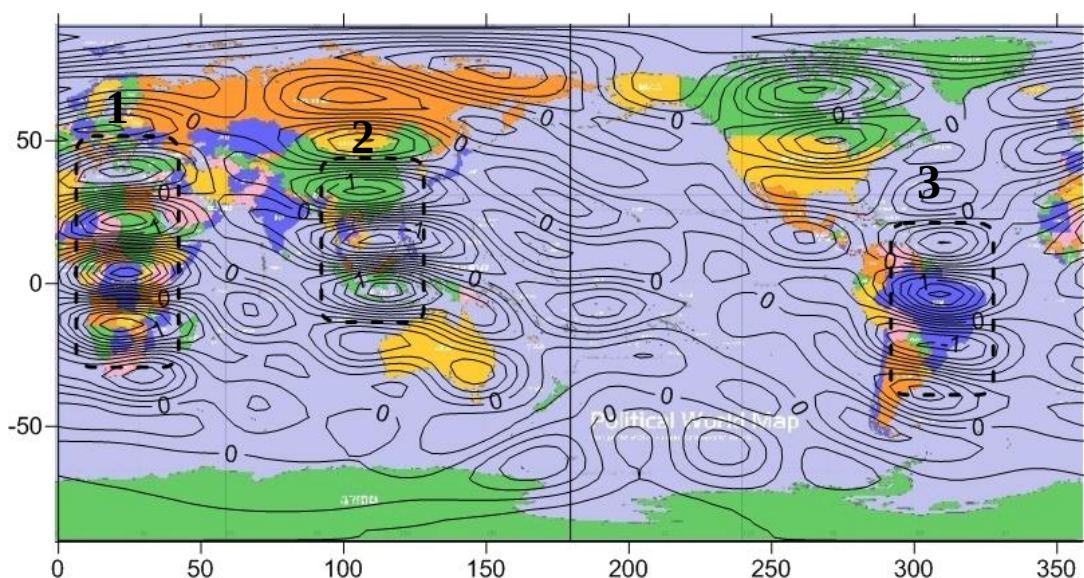


Рис. 3. Картограмма изменения аномалий силы тяжести во времени на обзорной карте мира

По полученным значениям изменения силы тяжести и из построенных картограмм, видно, что самые значительные изменения в силе тяжести во времени произошли в средних широтах. На рис. 3 видно, что основные изменения в аномалиях подвержены в следующих областях:

- область под номером 1 – это африканская платформа, которая согласно исследованиям ученых медленно опускается ко дну, в то время как европейская плита наползает на нее [8];

– область под номером 2 находится на стыке индийско-австралийской, евроазиатской и тихоокеанской плит;

– область под номером 3 находится на Южно-американской платформе, которая разделяет две активно подвижные плиты: американскую плиту и плиту Наска.

Анализ полученных значений изменений аномалий силы тяжести и построенных по этим значениям картосхем, показал что максимальные изменения в значениях не превышают 2 мГал.

Оценка изменения параметров модели фигуры Земли по гармоническим коэффициентам геопотенциала. Гармонические коэффициенты связаны с параметрами общеземных эллипсоидов различных моделей, описывающих фигуру планеты. В свою очередь, эти параметры неразрывно связаны со значениями силы тяжести, глобальное изменение которых приведет к изменению этих параметров, учитывать которые необходимо при высокоточных измерениях.

Рассмотрим, как изменится значение сжатия эллипсоида α и нормальное значение силы тяжести на экваторе γ_e . Все расчеты выполнялись в программном комплексе MathCad-14. В качестве исходных данных были взяты следующие параметры и их значения [9]:

- угловая скорость вращения Земли $\omega = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ рад} \cdot \text{с}^{-2}$;
- масса Земли умноженная на гравитационную постоянную $f \cdot M = 398600,50 \text{ км}^3/\text{с}^2$;
- большая полуось эллипсоида $a = 6378137 \text{ м}$;
- первые зональные гармонические коэффициенты моделей EGM2008 и EGM84 $C_{20\text{egm08}} = -0,484169317 \cdot 10^{-3}$ и $C_{20\text{egm84}} = -0,48416685 \cdot 10^{-3}$.

Для расчета значений сжатия эллипсоида α и нормального значения силы тяжести на экваторе γ_e , первоначально были вычислены нормированные значения гармонических коэффициентов $\bar{C}_{20}$ по формулам (2) и (3), а по ним значения коэффициентов при второй зональной гармонике разложения ГПЗ в ряд по сферическим функциям J_{20} из соотношения $J_{20} = -\bar{C}_{20}$.

$$\begin{Bmatrix} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_{nm} \\ S_{nm} \end{Bmatrix} \cdot \frac{1}{\chi_{nm} \cdot \sqrt{2n+1}}, \quad (2)$$

$$\chi_{nm} = \begin{cases} 1, \text{ при } m = 0 \\ \sqrt{2 \cdot \frac{n-m}{n+m}}, \text{ при } m \neq 0 \end{cases}. \quad (3)$$

Далее, по коэффициентам J_{20} рассчитываются сжатие и нормальное значение силы тяжести по формулам

$$\alpha = \frac{3}{2} \cdot J_{20} + \frac{1}{2} \cdot q + \frac{9}{8} \cdot J_{20}^2 - \frac{6}{28} \cdot J_{20} \cdot q - \frac{11}{56} \cdot q^2, \quad (4)$$

$$\text{где } q = \frac{\omega^2 \cdot a^3}{fM}$$

$$\gamma_e = \frac{fM}{a^2} \left(1 + \frac{3}{2} \cdot J_{20} - q + \frac{27}{8} \cdot J_{20}^2 + \frac{9}{14} \cdot J_{20} \cdot q - \frac{9}{56} \cdot q^2 \right). \quad (5)$$

Полученные значения представлены в сводной табл. Для наглядности в табл. будет представлено значения квадратов эксцентриситетов, полученных по значениям сжатия эллипсоидов.

Таблица

Значения параметров общеземного эллипсоида

	EGM2008	EGM84	EGM2008 – EGM84
e^2	0,00694380840065	0,00669436432	0,000000016512282
γ_e , мГал	978032,666175	978032,658016	0,008159187

Приведенные результаты показывают, что по изменениям гармонических коэффициентов геопотенциала можно адекватно и наглядно следить за глобальными изменениями силы тяжести в планетарном масштабе. Выявлять в каких именно районах происходят наиболее сильные изменения, а в каких минимальные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харченко Б. А. Анализ значений аномалий силы тяжести с использованием данных, полученных из наземных измерений и современных моделей глобального гравитационного поля Земли // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 164 – 170.
2. Микиша А. М. Космические методы в геодезии. – М.: Издательство «Знание», 1983. – 109 с.
3. Торге В. Гравиметрия. Пер. с англ. – М.: Издательство «Мир», 1999. – 429 с.
4. Ганагина И. Г., Канушин В. Ф. Проблемы физической геодезии. Влияние изменения динамической составляющей гравитационного поля Земли на фундаментальные постоянные: методические указания к выполнению курсовой научно-исследовательской работы для студентов геодезических специальностей. – Новосибирск: СГГА, 2011.
5. Сидоренко А. И. Некоторые результаты применения модели геоида EGM2008 в сопоставлении с другими моделями // Земля и недвижимость Сибири. – 2009. – № 5(19) – С. 30–34
6. Some Aspects of Harmonic Analysis of Date Gridded on the Ellipsoid (2008) [Electronic resource] / Simon A. Holmes and Nikolaos K. Pavlis / - Англ. – Режим доступа: www.docstoc.com/docs/2384486/Some-Aspects-of-Harmonic-Analysis-of-Harmonic-Analysis-of-Date-Gridded-on-the-Ellipsoid
7. EGM2008 Model Coefficients – Original Release [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/first_release.html
8. Применение GPS в задачах геологии и геодинамики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geokart.3dn.ru/publ/2-1-0-15>
9. Теория движения искусственных спутников Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://physics-animations.com/cgi-bin/forum.pl?forum=rus&mes=61291>

© Б. А. Харченко, 2015

МЕТОДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТА ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Ольга Александровна Коробова

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, доктор технических наук, профессор кафедры ИГОФ, e-mail: oakorobova@mail.ru

Любовь Александровна Максименко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры геоматики и инфраструктуры недвижимости, e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Рассматривается методика расчета грунтовых оснований существующих и дополнительно возводимых фундаментов, а также проектирование оснований фундаментов эксплуатируемых зданий при реконструкции с учетом деформационной анизотропии грунтов.

Ключевые слова: осадка фундамента, напряженно-деформированное состояние грунтового основания, деформационная анизотропия, методика расчета грунтовых оснований.

TECHNIQUES FOR IMPROVING GROUND BASE SETTLEMENT CALCULATION

Olga A. Korobova

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 630008, Russia, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., Ph. D., Prof., Department of Engineering Geology, Basements and Foundations, e-mail: oakorobova@mail.ru

Lyubov A. Maksimenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof., Department of Geomatics and Property Infrastructure, e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Techniques for ground base calculations are considered. They involve existing foundations and those to be built as well as design of basements for buildings under reconstruction taking into account strain anisotropy of the soil.

Key words: foundation settlement, ground base mode of deformation, strain anisotropy, techniques for ground base calculations.

Большие масштабы строительства в нашей стране, а также связанные с этим капитальные затраты выдвигают на первый план проблему снижения их стоимости. В связи с этим расчеты конструкций, подтверждающие соответствие условиям надежной эксплуатации должны быть достоверными и исключать излишние запасы прочности, влекущие за собой неоправданный перерасход строительных материалов. В теории расчета строительных конструкций объектов достигнуты определенные успехи, но некоторые вопросы остаются пока недостаточно проработанными для их практического применения. Отсут-

ствуют или мало освещены рекомендации по расчету некоторых видов строительных конструкций, в связи с чем проектировщики нередко испытывают трудности и вынуждены прибегать к различным приближенным, недостаточно обоснованным методам расчета. В результате этого конструкции принимаются, как правило, с избыточным запасом надежности и становятся более материалоемкими, а иногда, вследствие неточности расчетов, недостаточно надежными, что приводит к сокращению их долговечности, а иногда и к аварийным последствиям. [1]. Методика расчета грунтовых оснований существующих и дополнительно возводимых фундаментов, а также проектирование оснований фундаментов эксплуатируемых зданий при реконструкции с увеличением нагрузок определена в соответствии с СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений». Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

В общем деле повышения эффективности строительства существенно важным является совершенствование методов проектирования оснований и фундаментов, стоимость устройства которых может достигать до 20—30% стоимости зданий и сооружений. Сложность инженерно-геологической обстановки площадок строительства, уникальность и масштабность современных сооружений, повышение технологических нагрузок и этажности зданий требуют возможно полного учета свойств грунтов оснований, что можно обеспечить только при использовании новейших достижений в области механики грунтов, горных пород и численных методов расчета.

В последние 20—30 лет экспериментальными исследованиями неоспоримо доказано, что одной из существенных и общих особенностей скальных и не-скальных пород и грунтов является анизотропия их свойств [2]. В связи с этим авторами предлагается усовершенствование методики расчета осадков оснований фундаментов в условиях реконструкции, которая позволяет более полно учесть фактические свойства грунтов, обладающих как показывают многочисленные исследования, как у нас в стране, так и за рубежом, свойством деформационной анизотропии.

Проведены экспериментальные и теоретические исследования по выявлению и оценке напряженно-деформированного состояния анизотропных грунтовых оснований, целью которых явилось создание практического метода расчета деформаций грунтовых оснований, позволяющий учесть их деформационную анизотропию в расчетах.

На первом этапе при оценке инженерно-геологических условий необходимо определить модули деформации грунтов по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Для определения деформируемости грунтов по взаимно перпендикулярным направлениям пробы грунта необходимо отбирать при вертикальном и боковом положении колец (по шесть проб в каждом случае). Исследования грунтов естественного сложения были проведены по стандартным методикам [3] в уплотнителях системы "Гидропроект". Исследование деформационной анизотропии грунтов, имеющих структуру, сформированную простой отсыпкой, уплотнением виброванием или трамбованием было проведено в при-

боре трехслойного сжатия (ПТС системы А.Л. Крыжановского) с независимым регулированием переменных величин главных напряжений.

Полученные в экспериментах значения деформаций образцов грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях были использованы для оценки деформационной анизотропии грунтов. При анализе полученных результатов оказалось возможным оценить степень деформационной анизотропии грунтов показателем анизотропии $\alpha = s_x/s_z = \varepsilon_x/\varepsilon_z$; где s_z и s_x , ε_z и ε_x – абсолютные и относительные деформации в вертикальном и горизонтальном направлении соответственно, а для грунтов, испытанных в приборе трехосного сжатия эта оценка была проведена по отношению s_x/s_y (по взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям y и x). Показатели анизотропии α исследованных видов грунта изменились от 0,5 до 2,1, т.е. практически ощутимо.

Из вышесказанного следует, что модули деформации E_z и E_x можно определять известными методами (СНиП 2.02.01–83* [4]). Показатель деформационной анизотропии $\alpha = E_z/E_x = \varepsilon_x/\varepsilon_z$ устанавливается по результатам компрессионных испытаний стандартных образцов грунта, вырезанных из монолита или непосредственно в месте отбора проб грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям; ε_x и ε_z – относительные деформации образцов грунта в условиях невозможности бокового расширения при отборе образцов в горизонтальном и вертикально направлениях соответственно. Значения ε_x и ε_z можно определить также испытаниями образцов в стабилометре. Значения коэффициента Пуассона ν_{yx} в расчетах н.д.с. анизотропной полуплоскости (слоя) для различных грунтов рекомендуется принимать табличными и равными для песков – 0,25; супесей – 0,30; суглинков – 0,35 и глин – 0,40.

Напряженное и деформированное состояние трансверсально-изотропной полуплоскости (слоя) рекомендуется устанавливать по результатам расчетов, выполненных методом конечных элементов по любым существующим в настоящее время программным комплексам, по которым можно получить картину напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований (COSMOS, COSMOSM, ANSYS, PLAXIS и др.) при известных значениях модулей деформации грунтовой среды E_z и E_x по вертикальному и горизонтальному направлениям соответственно; коэффициентах Пуассона ν_{yx} и ν_{xz} в предположении $\nu_{yx} = \nu_{xz}$, где первый параметр характеризует боковое расширение грунта в плоскости изотропии (в горизонтальной плоскости xy), а второй – расширение в вертикальном направлении от нормальных горизонтальных напряжений; модуле сдвига G_{xz} в вертикальной плоскости деформирования; величина $\nu_{zx} = \nu_{xz} (E_z / E_x)$.

При сравнении полученных результатов расчета напряженно-деформированного состояния однородно-анизотропных и изотропных оснований в виде слоев различной мощности и полуплоскости оказалось возможным простым способом учесть деформационную анизотропию грунтов основания при помощи коэффициентов влияния анизотропии грунта. Эти коэффициенты показывают, какую долю от напряжения в изотропной среде составляют соответ-

ствующие напряжения в анизотропной. Значения коэффициентов вычисляются по формулам:

$$K_{\alpha} = \sigma_{z\alpha} / \sigma_z \quad (1)$$

$$K_{\alpha}' = \sigma_{x\alpha} / \sigma_x.$$

где K_{α} и K_{α}' – поправочные коэффициенты влияния анизотропии грунта;

$\sigma_{z\alpha}$ и $\sigma_{x\alpha}$ – вертикальные и горизонтальные напряжения для анизотропной среды;

σ_z и σ_x – то же, для изотропной.

Напряжения $\sigma_{z\alpha}$ и $\sigma_{x\alpha}$, σ_z и σ_x вычислены для характерных точек грунтового массива, расположенных на центральной и угловой вертикалях загруженного участка поверхности.

Поправочные коэффициенты влияния анизотропии грунта можно применять для корректировки величин осадок фундаментов, рассчитанных любым из существующих в настоящее время методов.[4]

Полученные данные [3], [5] достаточны для расчета осадок фундаментов, расположенных на поверхности полуплоскости или слоев различной мощности. Для удобства практического использования коэффициентов K_{α} и K_{α}' они вычислены для середин горизонтальных слоев, назначаемых под подошвой фундамента по СНиП 2.02.01-83*[4] через $0,4b$ (b – ширина загруженного участка основания, равная ширине подошвы фундамента).

В случае необходимости нетрудно провести интерполяцию значений K_{α} и K_{α}' как по показателю α , так и по глубине расположения точек, в которых вычисляются значения напряжений $\sigma_{z\alpha}$ и $\sigma_{x\alpha}$. Коэффициенты, определяемые для точек угловой вертикали, необходимы для расчета осадок с учетом влияния нагрузок от соседних фундаментов. Значения горизонтальных напряжений σ_x и $\sigma_{x\alpha}$ применяются для расчета осадок более строгими методами, в которых учитывается возможность боковых деформаций грунта основания.

Влияние заглубления фундамента может быть учтено введением в расчет дополнительных напряжений от равномерной нагрузки на условной поверхности основания с интенсивностью, равной природному давлению грунта $\sigma_{zg,0}$ на уровне подошвы фундамента.

Полученные расчетам результаты позволяют усовершенствовать метод послойного суммирования деформаций, разработанный на основе рекомендуемого нормами метода.

Усовершенствование метода заключается в учете деформируемости грунта по вертикальному и горизонтальному направлениям при действии вертикальных $\sigma_{zp, \alpha}$ и горизонтальных $\sigma_{xp, \alpha}$ дополнительных напряжений, рассчитываемых для точек полуплоскости, которые расположены на центральной вертикали посередине слоев h_i , предусмотренных формулой :

$$s = \sum \varepsilon_{z,i} \cdot h_i, \quad (2)$$

где

$$\varepsilon_{z,i} = \frac{\sigma_{zp,i,\alpha}}{E_z} (1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{zy}) - \frac{\sigma_{xp,i,\alpha}}{E_x} (1 + \nu_{xy}).$$

Наиболее просто влияние анизотропии можно учесть по формуле путем корректировки только напряжений $\sigma_{zp,i}$, т.е. по формуле:

$$s = \beta \sum \sigma_{zp,i,\alpha} \frac{h_i}{E_{z,i}} \quad (3)$$

При этом точность расчета осадок несколько снижается.

Толщина h_i и количество n слоев принимается в соответствии со СНиП 2.02.01-83*; значения ν_i – табличные, в соответствии с п. 7.2.1 и 7.2.3.

Дополнительные напряжения вычисляются по зависимостям:

$$\begin{aligned} \sigma_{zp,i,\alpha} &= \sigma_{zp,i} \cdot K_\alpha \\ \sigma_{xp,i,\alpha} &= \sigma_{xp,i} \cdot K'_\alpha \\ \sigma^y_{zp,i,\alpha} &= \sigma^y_{zp,i} \cdot K^y_\alpha \\ \sigma^y_{xp,i,\alpha} &= \sigma^y_{xp,i} \cdot K^{y'}_\alpha, \end{aligned}$$

где $\sigma_{zp}(\sigma^y_{zp})$ и $\sigma_{xp}(\sigma^y_{xp})$ в соответствующих точках i изотропной плоскости определяются по имеющимся решениям для линейно-деформируемой среды;

$K_\alpha(K^y_\alpha)$ и $K'_\alpha(K^{y'}_\alpha)$ – коэффициенты влияния анизотропии грунта для характерных точек центральной и угловой вертикалей.

Значения $K_\alpha(K^y_\alpha)$ и $K'_\alpha(K^{y'}_\alpha)$ получены путем сопоставления соответствующих напряжений, рассчитанных методом конечных элементов при $\alpha = 1$ и $\alpha \neq 1$.

Применение изложенной методики расчета осадок фундамента целесообразно при реконструкции, а также для расчета осадки слоя конечной мощности.

Установлено также, что в тех случаях, когда основание имеет показатель деформационной анизотропии $\alpha < 1$, значения расчетного сопротивления грунта основания R увеличиваются, что приводит к уменьшению размеров подошвы фундаментов и к получению известного экономического эффекта, и, наоборот, при $\alpha > 1$ требуется увеличение размеров подошвы по сравнению с установленными по СНиП 2.02.01-83* "Основания зданий и сооружений". Исследования показали, применение изотропной модели для расчетов грунтовых оснований приводит к искажению действительной картины н.д.с. основания.

Влияние деформационной анизотропии на величину прогнозируемых осадок при слабо выраженной анизотропии обычных грунтов оценивается величи-

ной, достигающей 10-40% от расчетной осадки фундамента, расположенного на изотропном основании. Полученные данные можно использовать в расчетах оснований по деформациям при надстройке зданий и сооружений, принимая во внимание, что для анизотропных грунтов показателем анизотропии $\alpha < 1$ расчет по методике СНиП 2.02.01-83* не учитывающей анизотропию, приводит к завышенным значениям осадок, а также при таких способах усиления фундаментов, как уширение подошвы фундамента, устройства обойм, рубашек, наращиваний и т.п. Для грунтов, характеризующихся показателями анизотропии $\alpha > 1$, традиционный расчет дает уменьшение значения осадок, и если учесть, что для таких грунтов особенно велико влияние деформационной анизотропии, т.к. это, как правило, грунты, имеющие слоистую или столбчатую текстуру, то пренебрегать этим фактом при реконструкции недопустимо. Деформационную анизотропию необходимо учитывать и при переустройстве столбчатых фундаментов в ленточные, а также при пересадке фундаментов на сваи, т.к. все вышеизложенное справедливо и для расчета свайных фундаментов и их оснований по деформациям. Обязателен учет деформационной анизотропии и при расчете осадки фундаментов при возведении нового здания около существующего, т.к. для слабых грунтов основания увеличение расчетной осадки за счет учета деформационной анизотропии может оказаться недопустимо большим, особенно с точки зрения неравномерности осадок соседних фундаментов.

Вывод: Предлагаемый практический метод учета деформационной анизотропии может быть рекомендован для внедрения в практику проектирования фундаментов строящихся, реконструируемых и восстанавливаемых зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбин В. С. Проектирование фундаментов реконструируемых зданий. – М. : Стройиздат, 1990. – 296 с.
2. Бугров А. К., Голубев А. И. Анизотропные грунты и основания сооружений. – СПб.: Недра, 1993. – 245 с.
3. Коробова О. А., Бирюкова О. А. Лабораторные исследования деформационной анизотропии грунтов при инженерно-геологических изысканиях // Инженерные изыскания. – М. – 2012. – № 6. – С. 24–32.
4. СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 48с.
5. Korobova O. A., Maksimenko L. A On the question of calculation Models formation in research of anisotropy foundations – Proceedings of the Kazakhstan-Japan Joint geotechnical Seminar (2-3 August), Astana, 2001.

© О. А. Коробова, Л. А. Максименко, 2015

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ

Любовь Александровна Максименко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры геоматики и инфраструктуры недвижимости, e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Рассматриваются вопросы организации наблюдений за техническим состоянием зданий в эксплуатационный период. Показано, что геодезическое обеспечение является составной частью работ при техническом обследовании зданий и сооружений.

Ключевые слова: здания, техническое состояние, обследование, осадка здания, инструментальный мониторинг, геодезическое обеспечение работ.

CURRENT TECHNIQUES FOR BUILDING TECHNICAL STATE MONITORING

Lyubov A. Maksimenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof., Department of Geomatics and Property Infrastructure, e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Problems of building technical state monitoring in operating period are considered. Geodetic support is presented as a component of works on maintenance control of buildings and structures.

Key words: buildings, technical state, examination, building settlement, instrumental monitoring, geodetic support of works.

Современное строительство и техническая эксплуатация зданий должны обеспечивать и решать вопросы безопасности жизнедеятельности человека. Появление новых задач в связи с инновационными процессами в технологии строительства, внедрение малоизученных материалов, строительство зданий в условиях плотной городской застройки в короткие сроки, ветровые нагрузки, растущие с каждым годом, вес и скорость движения транспорта, вибрации от транспортных потоков, изменения в грунтах оказывают отрицательное воздействие на состояние строительных конструкций и всего здания в целом. В достаточной степени негативную реакцию на эти факторы можно уменьшить, предупредив последствия их воздействия. Существенным моментом в повышении эффективности технического обслуживания и ремонта зданий является перевод их на проектную основу. Проектирование, возведение и эксплуатацию каждого здания объединяет применение единых параметров эксплуатационных качеств. При проектировании здания эксплуатационные качества определяются выбором материалов, расчетом конструкций, объемно-планировочным решением, инженерным оборудованием в соответствии с назначением здания.

Одним из инструментов, направленных на поддержание требуемых уровней надежности и функциональности сооружения, является инструментальный

мониторинг. Мониторинг - это процесс непрерывного контроля текущего состояния объекта с накоплением информации и оценкой полученной информации с целью идентификации текущего состояния объекта, контроль изменения этого состояния во времени и взаимодействия объектов с природными и техногенными воздействиями на них. Система мониторинга инженерных конструкций - это система датчиков, распределенных по сооружению, информация от которых постоянно сводится в центр приема. После чего эта информация выводится в удобном для восприятия виде и сохраняется. Техническая база систем мониторинга - это оборудование, выпускаемое ведущими компаниями - общепризнанными мировыми лидерами в производстве средств контроля и измерений, а также средств вычислительной техники и электроники. Система инструментального мониторинга инженерных конструкций состоит из датчиков и автономных блоков сбора данных, которые устанавливаются на объекте или контрольной станции. Датчики соединяются с блоками сбора данных при помощи проводной или беспроводной системы передачи [3], [4]. Контрольная станция применяется для сбора информации, поступающей от блоков сбора информации, записи результатов на стационарный и съемный носители. Применяемая номенклатура и количество датчиков определяется проектом и может меняться. Номенклатура современных применяемых датчиков:

- климатические датчики: силы и направления ветра, температуры и влажности.
- тензометрические датчики деформации (напряжения).
- акселерометры – датчики ускорений и вибрации.
- инклинометры – датчики наклона.
- датчики перемещения – механические, лазерные или GPS.

Построение системы инструментального мониторинга должно предваряться проектированием.

Наблюдения за осадками жилых зданий в эксплуатационный период необходимы для своевременного выявления и прекращения развития вертикальных деформаций здания, вызванных различными причинами. Визуальные наблюдения заключаются в периодическом осмотре здания, проводятся минимум два раза в год в начале и завершении отопительного сезона. Геодезические наблюдения проводят специализированные организации и состоят в периодическом измерении высотных положений нивелировочных марок по отношению реперов и в сопоставлении результатов измерений, проводимых в различные периоды времени.

Обоснованием для проведения геодезического мониторинга, т.е. наблюдения за осадками зданий высокоточным нивелированием, являются нормативные документы. Тем не менее решение задач на каждом этапе взаимосвязано - как за проектировано и построено здание, таковы условия и проблемы его эксплуатации.

Так, например, согласно действующим нормативным документам [2] в состав геодезических работ, выполняемых на строительной площадке, входят геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора. Методы и требо-

вания к точности геодезических измерений деформаций оснований зданий принимаются по ГОСТ 24846-84. Создание геодезической разбивочной основы для строительства и геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий и их частей в процессе строительства являются обязанностью заказчика. Производство геодезических работ, в процессе строительства, геодезический контроль точности геометрических параметров зданий и исполнительные съемки входят в обязанности подрядчика. Такие исследования выполняются по специальному техническому заданию, которое составляется проектной организацией исходя из особенностей конструкций здания. 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 погрешность измерений не должна превышать 2 мм, что соответствует второму классу точности измерений.

В качестве геодезических знаков, применяемых для измерения осадок и деформаций сооружений методом нивелирования, служат марки и репера. Для обеспечения точности измерений вертикальных деформация в эксплуатационный период здания должны быть установлены три глубинных репера, которые размещают вне зоны распространения давления от здания или сооружения. Репер - геодезический знак, высотное положение которого является практически неизменным на протяжении всего времени измерения осадок.

Деформационные марки, для определения вертикальных перемещений, устанавливаются в нижней части несущих конструкций. Марки располагают по всему периметру здания, внутри его, 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. Марка — геодезический знак, неподвижно закрепленный на конструкции здания, который меняет свое высотное положение вследствие осадки фундамента. Точки наблюдения (осадочные марки) закладываются в процессе строительства. Способы установки осадочных марок различны. В кирпичной кладке выбивается гнездо на глубину до 150 мм, которое заполняется цементным раствором, в раствор втапливается стальной уголок ребром вверх. На стальных колоннах уголок приваривается к стволу колонны. На железобетонных колоннах вскрывается рабочая арматура и к ней приваривается уголок. На сваи устанавливается стальной анкер с приваренной к нему реперной головкой, для постановки на нее пяты нивелирной рейки. В качестве осадочных марок, устанавливаемых в эксплуатационный период (как один из вариантов) могут быть использованы стальные дюбели.

В производственных фирмах [1] накоплен достаточно большой опыт измерения осадок строящихся и существующих зданий, разработаны методики

размещения марок, производства геодезических работ и обработки полученных результатов измерений.

Характерные примеры графиков наблюдения за осадками зданий приведены на рис. 1.

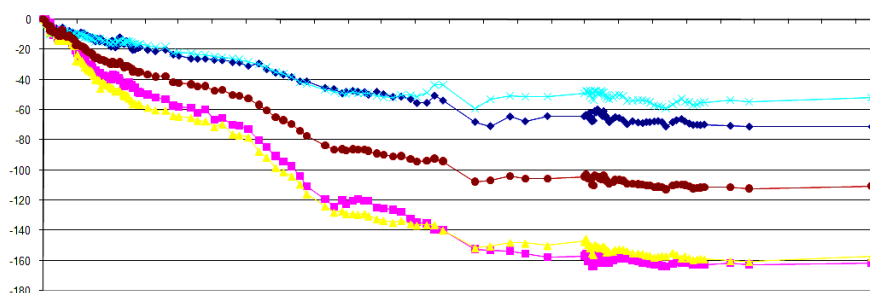


Рис. 1. Графики изменения осадки здания за наблюдаемый период

По результатам наблюдений определяется средняя осадка и скорость ее развития, находятся деформации фундаментов в виде их прогибов и кренов по значениям осадки конкретных марок. Оценивают совместную пространственную жесткость основания и фундамента по параметру в виде отношения максимальной неравномерности осадки к ее среднему значению. В качестве оценочных параметров можно использовать коэффициент вариации, отражающий соотношение между неравномерностью осадки и ее средним значением. Значения этих коэффициентов возрастают по мере увеличения трещин и других параметров оцениваемых эксплуатационных факторов. Значения коэффициентов вариации, вычисленные по осадкам характерных марок, более четко отражают уровень аварийного состояния здания.

Данные о результатах инструментальных наблюдений за осадками необходимы не только в период строительства, эксплуатации или переустройства зданий. Такие сведения нужны при оценке их технического состояния. Кроме существенного повышения безопасности объектов создание комплексной системы мониторинга позволяет принести реальный экономический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максименко Л. А., Лубягин А. В. Геодезический мониторинг строительных объектов г. Новосибирска // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 1, ч. 2. – С. 25–27.
2. СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве
3. ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния
4. Требования к техническим средствам и системам комплексного обеспечения безопасности, автоматизации и связи многофункциональных высотных зданий и комплексов. Пособие для специалистов проектных и монтажных организаций, заказчиков, страховых компаний, инвесторов и контролирующих органов. – М. 2005 г.

© Л. А. Максименко, 2015

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Валентина Павловна Вербная

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, старший преподаватель кафедры высшей математики, тел. (913)910-32-79, e-mail: vv_1506@mail.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

Александр Владимирович Комиссаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, e-mail: avkom82@mail.ru

В статье рассматривается методика оптимизации точности геодезических измерений с применением наземного лазерного сканирования на основе корреляционно-регрессионных моделей.

Ключевые слова: полный факторный эксперимент, наземное лазерное сканирование, корреляционно-регрессионная модель, значимость и адекватность модели, значимость коэффициентов модели.

LASER SCANNER FOR DIFFERENT TYPES OF ENGINEERING: OPTIMAL CHOICE TECHNIQUES

Valentina P. Verbnaya

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Higher Mathematics, tel. (913)910-32-79, e-mail: vv_1506@mail.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

Alexander V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, e-mail: avkom82@mail.ru

The techniques for geodetic observations accuracy optimization are considered as regards application of terrestrial laser scanning based on correlation- regression models.

Key words: complete factorial, terrestrial laser scanning, correlation- regression model, model significance and adequacy, significance of model, coefficient of model equation.

Настоящее время характеризуется бурным развитием строительства: строятся крупные промышленные и жилые объекты, воссоздаются или реставрируются здания и сооружения, представляющие историческое или культурное богатство нашей страны и др. Применение новых строительных технологий позволяет в сжатые сроки и с высоким качеством проводить строительные и реставрационные работы. При этом качество строительных работ напрямую зависит от точности их геодезического обеспечения. Отметим при этом, что требования к повышению точности и оперативности геодезических измерений непрерывно растут.

Инновационные технологии 3D лазерного сканирования дают возможность при минимальных временных затратах получить подробные трехмерные данные с высокой точностью. Наземные лазеры можно разделить по точности выполнения работ [3]:

- топографические (СКП до 10 см);
- проектные (СКП до 5 см);
- архитектурно-строительные (СКП до 1 см);
- экспертные или точные (СКП до 1 мм);
- высокоточные (СКП менее 1 мм).

При этом следует учитывать, что в каждом виде значимость параметров лазерного сканера различна.

На основе многолетнего опыта и опроса специалистов наиболее важными параметрами наземного лазерного сканера следует признать следующие: расходимость лазерного луча, разрешение сканирования, дальность действия, точность измерения расстояний и углов [3]. Значимость параметров съемки с применением 3D технологий от категории решаемых задач приведена в табл. 1. Построение математических моделей для оптимального выбора лазерного сканера для конкретных видов инженерно-технических работ осуществлялось на основе полного факторного эксперимента.

Таблица 1

Уровни варьирования влияющих факторов

Параметры	Точность измерения расстояний и углов (x_1)	Разрешение сканирования (x_2)	Расходимость лазерного луча (x_3)	Дальность действия (x_4)
Топографические	0,05-0,15	0,16-0,24	0,07-0,13	0,5-0,7
Проектные	0,15-0,25	0,17-0,23	0,17-0,23	0,45-0,55
Архитектурно-строительные	0,17-0,23	0,21-0,29	0,23-0,27	0,25-0,35
Экспертные или точные	0,23-0,27	0,21-0,29	0,27-0,33	0,15-0,25
Высокоточные	0,27-0,33	0,25-0,35	0,25-0,35	0,06-0,14

В нашем случае в качестве параметра оптимизации выбран параметр - точность геодезических измерений, а параметры, приведенные в табл. 1, выступали в качестве ограничения. Построенная математическая модель представлялась в виде линейной регрессионной модели

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (1)$$

где Y – функция, характеризующая точность измерений, x_1, x_2, x_3, x_4 входные факторы. На примере сканеров, применяемых для экспертных или точных геодезических работ, был реализован полный факторный эксперимент, в котором рассматривались всевозможные состояния факторов в области их изменения. В табл. 2 приведены уровни варьирования факторов (x_1 – точность измерения расстояний и углов, x_2 – разрешение сканирования, x_3 – расходимость лазерного луча, x_4 – дальность действия). Порядок проведения, результаты опытов и матрица планирования представлены в табл. 3.

Таблица 2

Уровни варьирования факторов

x_1 - точность измерения расстояний и углов	0,23-0,27
x_2 - разрешение сканирования	0,21-0,29
x_3 -расходимость лазерного луча	0,27-0,33
x_4 -дальность действия	0,15-0,25

Таблица 3

Матрица планирования полного факторного эксперимента

Порядок опытов	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$\hat{y}$	$\hat{y}$	$\bar{y}$
8;13	+1	-1	-1	-1	-1	0,52191953	0,4983974	0,510158
3;12	+1	+1	-1	+1	-1	0,51675671	0,4990366	0,507897
11;15	+1	-1	-1	+1	+1	0,51220113	0,5003499	0,506276
6;14	+1	-1	+1	-1	+1	0,50826912	0,5023321	0,505301
2;4	+1	+1	+1	-1	-1	0,50497525	0,5049752	0,504975
5;7	+1	+1	-1	-1	+1	0,50233206	0,5082691	0,505301
1;9	+1	-1	+1	+1	-1	0,50034988	0,5122011	0,506276
10;16	+1	+1	+1	+1	+1	0,49903657	0,5167567	0,507897

Оценка дисперсий среднего арифметического осуществлялась по формуле [1]:

$$\overline{s_i^2} = \left(\sum_i^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2 \right) (n(n-1))^{-1}. \quad (2)$$

Однородность дисперсий проверялась с помощью критерия Кохрена [1], значение которого получилось равным 0,355. Табличное значение критерия для 8 различных опытов и числа степеней свободы $n-1=1$ равно 0,68 (при уровне значимости 0,05). Так как экспериментальное значение критерия не превышает табличного, гипотеза об однородности дисперсий не отклоняется.

Если дисперсии однородны, проводится расчет оценки дисперсии воспроизводимости эксперимента для числа степеней свободы $N(n-1)=8$:

$$\overline{S_y^2} = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \overline{y_i})^2 \right) (N(n-1))^{-1}. \quad (3)$$

По результатам эксперимента получили значение дисперсии воспроизводимости опыта $\overline{S_y^2} = 0,0000958$. Оценки коэффициентов регрессии их дисперсий в их определении получились:

$$b_0 = 0,5067599, b_1 = -0,0002426, b_2 = -0,0006479, b_3 = 0,00032617,$$

$$b_4 = -0,0005666$$

Проверка адекватности модели осуществлялась [2]:

$$S_{адек}^2 = \sum_{i=1}^N (\overline{y_i} - \overline{y})^2 (f)^{-1}, f = N - (k+1). \quad (4)$$

По результатам эксперимента получили значение дисперсии адекватности модели $S_{адек}^2 = 0,0000049$. Для ее оценки использовался критерий Фишера. Наблюдаемое значение критерия находилось по формуле:

$$F = S_{адек}^2 \left(\overline{S_y^2} \right)^{-1}, F = 0,0515. \quad (5)$$

Для числа степеней свободы $f = 8 - (4+1) = 3$ критерий адекватности модели составил: $F = 0,0515$. Табличное значение критерия Фишера получилось равным 4,1. Экспериментальное значение величины F не превышает табличного значения, гипотеза об адекватности модели не отклоняется.

Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществлялась по формуле:

$$S_{bj}^2 = \overline{S_y^2} N^{-1}, \Delta b_j = \pm t S_{bj}. \quad (6)$$

Величина t – критерия Стьюдента для уровня значимости 0,05 и числа степеней свободы, с которым определялось значение $\overline{S_y^2}$, равна 2,306. Довери-

тельный интервал: $\Delta b_j = 0,000028$. Принимается решение о значимости коэффициентов

$$b_0 = 0,5067599, b_1 = -0,0002426, b_2 = -0,0006479, b_3 = 0,00032617, \\ b_4 = -0,0005666,$$

что отвечает требованиям эксперимента по исследованию влияния факторов.

Полученное уравнение регрессии для лазерных сканеров, применяемых для экспертных работ, имеет следующий вид:

$$\hat{y} = 0,5067599 - 0,0002426 x_1 - 0,0006479 x_2 + 0,00032617 x_3 - 0,0005666 x_4.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Хорошилов В. С. Оптимальный выбор методов и средств геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования инженерных объектов / Горный журнал. – 2007. – Т. 3. – С. 37–43.
3. Комиссаров А. В. Экспериментальные исследования точности измерения углов наземными лазерными сканерами Riegl LMS-Z360 и LMS – Z 420i // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2007. Т. 1. – С. 78–83.

© В. П. Вербная, В. С. Хорошилов, А. В. Комиссаров, 2015

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ИСХОДНЫХ ПУНКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ УРАВНИВАНИЯ ПОВТОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Инна Евгеньевна Дорогова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

В статье рассмотрено влияние выбора исходных пунктов на результаты уравнивания повторных геодезических измерений. На примере модели спутниковой сети продемонстрировано искажения результатов уравнивания двух циклов геодезических измерений при увеличении числа пунктов, выбранных в качестве исходных.

Ключевые слова: геодинамический полигон, уравнивание геодезической сети, повторные геодезические измерения.

INFLUENCE OF THE CHOICE INITIAL POINTSON THERESULTS EQUALIZING OF REPEATED GEODETIC MEASUREMENTS

Inna E. Dorogova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., senior Lecturer, Department of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

The article is devoted to the influence of the choice of initial points on the results equalizing of repeated geodetic measurements. Distortion of results equalizing of two cycles of geodetic measurements with an increase in the number of initial points demonstrated on the model of the satellite network.

Key words: geodynamic ground, equalizing of geodetic network, repeated geodetic measurements.

При уравнивании сетей геодинамических полигонов в качестве исходных обычно принимаются пункты, расположенные на стабильных геологических структурах, их взаимное положение принимается неизменным от эпохи к эпохе и сеть уравнивается как несвободная [1].

При этом существует возможность выбора: использовать в качестве исходных все пункты, относящиеся к стабильным структурам или ограничиться несколькими из них. Выбор в пользу первого варианта порой вносит существенные искажения в результаты уравнивания. Продемонстрируем этот эффект на модели.

Наиболее широкое распространение при наблюдении за горизонтальными движениями земной коры в последние годы получили спутниковые измерения [2-11]. Поэтому для сравнения нескольких способов выбора исходных данных при уравнивании геодинамических сетей была смоделирована спутниковая гео-

дезическая сеть, схема сети представлена на рис. Смоделированная сеть содержит 14 пунктов, на которых выполняются спутниковые измерения.

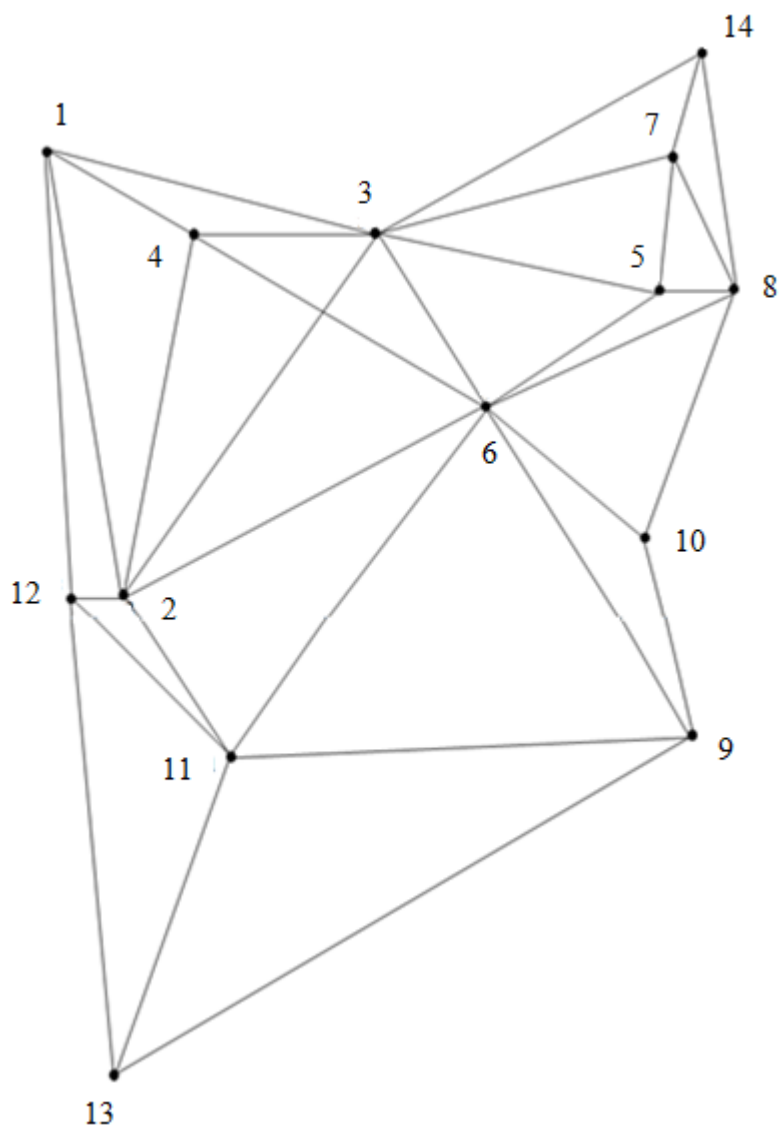


Рис. Схема геодезической сети

Модельные значения измеренных величин определялись по разностям координат пунктов, в которые добавлялись случайные ошибки измерений. Моделирование случайных ошибок измерений выполнялось с помощью программного продукта MathCAD. В результате был получен ряд случайных ошибок измерений, подчиняющихся закону нормального распределения (математическое ожидание 3 мм).

Для представленной сети были выполнены несколько вариантов уравнивания параметрическим способом метода наименьших квадратов (МНК). В качестве примера приведем результаты двух вариантов уравнивания, которые отличались между собой выбором исходных данных.

В первом случае для результатов двух циклов измерений выполнялось раздельное уравнивание с помощью параметрической версии МНК. Пункты 13, 14 были приняты за стабильные, их координаты при уравнивании оставались неизменными. Остальные пункты являлись определяемыми, вектор параметров для уравнивания первого цикла измерений выглядит следующим образом

$$X^I = (X^I_1, Y^I_1, Z^I_1 \dots X^I_{12}, Y^I_{12}, Z^I_{12}). \quad (1)$$

Вектор параметров для уравнивания второго цикла измерений

$$X^II = (X^II_1, Y^II_1, Z^II_1 \dots X^II_{12}, Y^II_{12}, Z^II_{12}). \quad (2)$$

Поскольку программный продукт MathCAD, с помощью которого выполнялось моделирование измерений, имеет существенные ограничения по размерности при работе с матрицами, уравнивания выполнялись в программе Microsoft Excel.

Во втором варианте уравнивание выполнялось по тому же алгоритму, отличие состояло только в выборе исходных данных. По результатам первого варианта уравнивания были выделены пункты (п. 5, 11, 12), смещения которых соизмеримы с ошибками наблюдений. Эти пункты были приняты за стабильные, их координаты были добавлены к исходным данным. Таким образом, уравнивание первого цикла измерений выполнялось так же, как и в первом варианте уравнивания, для второго цикла измерений из вектора параметров были исключены координаты отобранных пунктов

$$X^II = (X^II_1, Y^II_1, Z^II_1 \dots X^II_4, Y^II_4, Z^II_4; X^II_6, Y^II_6, Z^II_6 \dots X^II_{10}, Y^II_{10}, Z^II_{10}). \quad (3)$$

Для выполнения сравнительного анализа результатов уравнивания были вычислены разности смещений пунктов, полученных из каждого варианта уравнивания, и значений смещений, заложенных при моделировании результатов измерений

$$\begin{aligned} V_X &= \Delta X - \Delta X_0, \\ V_Y &= \Delta Y - \Delta Y_0, \\ V_Z &= \Delta Z - \Delta Z_0. \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – смещения пунктов, полученные из уравнивания, мм;

$\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ – смещения пунктов, заложенные при моделировании результатов измерений, мм.

Затем были вычислены суммы квадратов отклонений смещений пунктов от модельных данных, результаты приведены в табл.

Сравнение смещений пунктов с модельными значениями

№	1 вариант			2 вариант		
	V_X , мм	V_Y , мм	V_Z , мм	V_X , мм	V_Y , мм	V_Z , мм
1	-3	2	-3	0	-1	1
2	0	-1	-3	-2	1	3
3	-1	3	-4	-1	3	-1
4	-2	1	-4	0	-1	-1
5	2	1	-2	4	5	-3
6	2	3	-1	5	4	-1
7	-1	1	-1	0	0	-3
8	3	0	0	0	3	-3
9	1	1	-1	4	3	0
10	1	0	-3	4	4	-3
11	-3	1	-1	-3	-4	5
12	-2	3	-2	-5	-4	5
13	-1	-2	1	-1	-2	1
14	2	1	-1	2	1	-1
$\sum(V_i)^2$	167			342		

Как видно из приведенной таблицы, результаты уравнивания, выполненного с двумя исходными пунктами, наиболее близки к модельным. Расширение числа исходных пунктов за счет выбора наиболее стабильных пунктов из первого варианта уравнивания привело к искажению результатов второго варианта уравнивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шароглазова Г. А. Применение геодезических методов в геодинимике. Учеб. пособие. – Новополюцк: ПГУ, 2002. – 192 с.
2. Мазуров Б. Т., Дорогова И. Е., Дербенев К. В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинимических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.
3. Струков А. А. Анализ точности определения векторов сверхдлинных базовых линий по результатам GPS-измерений // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (15). – С. 30–38.
4. Антонович К. М. Сравнение результатов линейных измерений, выполненных спутниковыми и традиционными методами геодезии // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 3. – С. 38–42.
5. Шестаков Н. В., Герасимов Г. Н., Герасименко М. Д. Учет сезонных вариаций координат GPS/ГЛОНАСС пунктов при определении современных движений земной коры //

ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 2. – С. 287–292.

6. Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Оценка изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 157–160.

7. Анимационное представление движений и деформаций на техногенном геодинамическом полигоне / Т. В. Лобанова, Б. Т. Мазуров, И. Е. Дорогова, Е. А. Ибатуллина, К. В. Дербенев // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 199–202.

8. Кобелева Н. Н., Дорогова И. Е. Анализ повторных GPS-наблюдений на Таштагольском железорудном месторождении // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск : сб. молодых ученых СГГА. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 77–83.

9. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (13). – С. 9–12

10. Дорогова И. Е. Интерпретация наблюдений за движениями земной коры на техногенном полигоне // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 191–195.

11. Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К., Середович В. А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.

© И. Е. Дорогова, 2015

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

В статье рассматривается подход к построению прогнозной математической модели для изучения процесса перемещений контролируемых точек гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС с целью изучения качественных изменений наблюдаемых деформационных процессов сооружения. Показана последовательность выполнения этапов оценивания при построении прогнозной модели в зависимости от характера прогностической задачи.

Ключевые слова: геодезические данные, прогнозная математическая модель, прогнозирование, перемещения контролируемых точек, деформации сооружения.

BUILD A PREDICTIVE MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF THE DAM SAYANO-SHUSHENSKAYA HPP

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a senior lecturer in physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. of Department of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

In article approach to creation of expected mathematical model for studying of process of movements of controlled points of a crest of a dam of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station for the purpose of studying of high-quality changes of observed deformation processes of a construction is considered. The sequence of performance of stages of estimation at creation of expected model depending on character of a predictive task is shown.

Key words: geodetic data, expected mathematical model, forecasting, movements of controlled points, deformations of a construction.

Разработка прогнозных математических моделей является обязательным условием диагностического контроля плотины СШГЭС в соответствии с принятой «Методикой определения критериев безопасности гидротехнических со-

оружении» [1] и рекомендациями Федерального закона [2]. Существенный вклад в разработку прогнозных математических моделей отражен в работах [4,5,7], методологический подход в [3,6,8,9].

Осенью 1990 г. водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС было впервые наполнено до проектной отметки (НПУ = 540 м) и с 1991 года ГЭС и её сооружения вышли на проектный эксплуатационный режим [7]. В этом режиме для плотины характерно циклическое изменение основной нагрузки – гидростатического давления верхнего бьефа (УВБ) на верховую грань плотины и дно водохранилища. Каждый цикл имеет две ветви – ветвь нагружения (наполнение водохранилища: май-октябрь); ветвь разгрузки (сработка водохранилища: ноябрь-апрель).

В соответствии с принятыми положениями [1] в качестве одного из диагностических показателей контроля Саяно-Шушенской ГЭС выбраны радиальные перемещения гребней плотины: левобережной секции 18, ключевой секции 33 и правобережной секции 45, измеренные отвесами и соответствующие им значения параметров УВБ и температура бетона $T_{низ}, T_{верх}$ в базовых точках [7], а также представлены прогнозные математические модели регрессионного типа для различных периодов работы плотины: 2004-2007; 2007-2009 и 2009-2014 годы.

В качестве исходных данных для построения динамической модели были использованы данные измерений за 2004-2007 годы, полученные на основании графика (рис.1) из работы [7] (необходимые данные натурных перемещений гребня плотины отсутствуют в открытой печати). В связи с этим, авторы не претендуют на точность прогнозной математической модели, скорее больший интерес представляет методический подход к её построению.

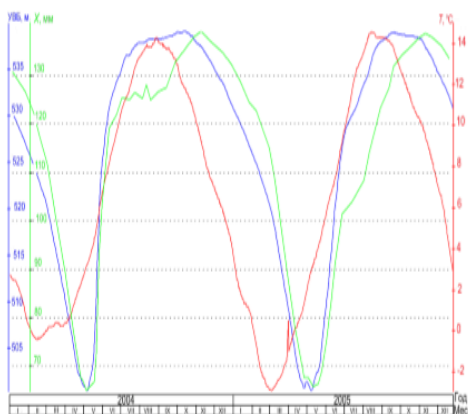


Рис. 1. Изменение диагностического показателя (радиального перемещения гребня плотины) и параметров-аргументов: УВБ и температура бетона в базовой точке $T_{низ}$ во времени: --- верхний бьеф; --- температура бетона (секция 33); --- радиальные перемещения.

Одним из вариантов для построения динамической модели может служить рекуррентное уравнение 1-го порядка процесса перемещения, происходящего под воздействием одного из основных факторов, а остаточная часть процесса описывается дополнительно моделью шумовой компоненты, т.е. путем расширения вектора состояний [10-12].

Стационарную динамическую модель представим в виде выражения:

$$x_k = \phi x_{k-1} + \beta u_k + \gamma \omega_k. \quad (1)$$

Заменим в выражении (1) значения x_k и u_k их центрированными по времени значениями $\tilde{x}_k = x_k - \bar{x}$ и $\tilde{u}_k = u_k - \bar{u}$ ($\bar{x}$ и $\bar{u}$ – средние величины перемещения и входного параметра: уровень верхнего бьефа на годичном интервале, взятом за период основания прогноза). Это позволяет не только определить $\tilde{x}_k$, как будет показано ниже, но и упрощает вычисления, повышая тем самым степень обусловленности системы нормальных уравнений, решаемых для оценивания параметров.

При построении модели в качестве основного входного фактора использовался уровень верхнего бьефа (гидростатическое давление) за период с января 2004 г. по январь 2005 г. (табл. 1). Все исходные данные (уровень верхнего бьефа и результаты перемещений гребня плотины) получены на середину каждого месяца.

Таблица 1

Исходные данные для построения прогнозной модели

Исходные данные математической модели			Остаточные ошибки
Дата, месяц	УВБ, м	$x_{вых}$, мм	ε
1	2	3	4
Янв. 2004	528,8	128,15	-
февраль	523,6	119,26	+5,917
март	516,4	100,74	+0,163
апрель	505,0	76,67	-2,720
май	503,6	66,67	-7,435
июнь	532,2	120,00	+7,242
июль	537,2	125,18	-6,798
август	538,4	125,91	-9,007
сентябрь	538,6	127,41	-7,968
октябрь	539,2	135,92	-0,688
ноябрь	537,0	138,52	+3,347
декабрь	533,6	134,44	+3,801
Янв. 2005	528,6	127,04	+4,806

На первом этапе построения динамических моделей методом МНК оценивались параметры по результатам наблюдений за входом $\{u_k\}$ и выходом $\{x_k\}$ на периоде основания прогноза $k=1,2,\dots,N$. Для этого минимизировался функционал $F_1(\phi, \beta) = \sum_{k=2}^N \left(x_k - \hat{x}_{k/k-1} \right)^2$; через $\hat{x}_{k/k-1}$ обозначено условное математическое ожидание уравнения (1) определяющееся выражением:

$$M \{ x_k / x_{k-1}, u_k \} = \hat{x}_{k/k-1} = \phi x_{k-1} + \beta u_k. \quad (2)$$

Оценки параметров ϕ, β находили из решения полученных систем нормальных уравнений.

$$\begin{aligned} \text{Модель: } 6041,2816\hat{\phi} + 1695,9849\hat{\beta} &= 3873,7474; \\ 1695,9849\hat{\phi} + 1838,7504\hat{\beta} &= 3133,9478. \end{aligned} \quad (3)$$

Из решения системы (3) были получены параметры:

$\hat{\phi} = 0,2196$; $\hat{\beta} = 1,5018$. После вычисления оценок $\hat{\phi}, \hat{\beta}$ находили оценку $\hat{x}_0$ из выражения $\hat{x}_0 = \bar{x}(1 - \bar{\phi}) - \hat{\beta}\bar{u}$; оно получилось равным $\hat{x}_0 = -701,141\text{мм}$.

Остаточные ошибки (табл.1) характеризуют, с одной стороны: – корректность построения модели с точки зрения структурной идентификации; с другой, – это характеристика свойств шумовой компоненты ω_k , т.е. используя остаточные ошибки $\varepsilon_k = x_k - \hat{x}_{k/k-1} = \gamma\omega_{k-1}$ можно произвести математическое описание процесса шума ω_k известными моделями авторегрессии 1-го или 2-го порядков [13].

Для определения порядка модели авторегрессии и выполнения второго этапа оценивания параметров вычислялись асимптотически несмещенные оценки корреляционной функции [14] остаточных ошибок по формуле:

$$\hat{K}_\varepsilon[m] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-m} \varepsilon_k \varepsilon_{k+m}, \quad (4)$$

где временной сдвиг $m = 0, 1, 2 \dots M < N$.

Построенный график корреляционной функции (рис. 2) свидетельствует о том, что описание процесса шума для модели следует производить моделью авторегрессии 2-го порядка. Шумовая компонента модели авторегрессии 2-го порядка [14] имеет вид:

$$\omega_k = \mu\omega_{k-1} + \eta\omega_{k-2} + \xi_k, \quad (5)$$

где μ, η – оцениваемые параметры.

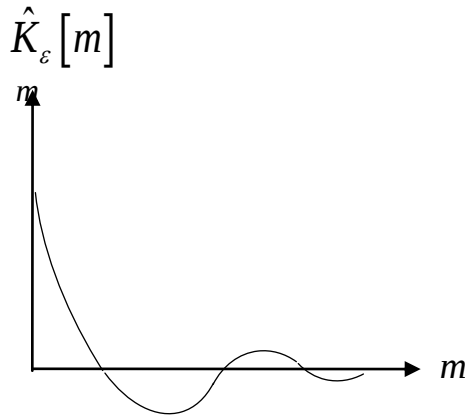


Рис. 2. График корреляционной функции

Оценка этих параметров производилась путём минимизации функционала:

$F_2(\mu, \eta) = \sum_{m=1}^M \left(\hat{K}_\varepsilon[m] - \mu \hat{K}_\varepsilon[m-1] - \eta \hat{K}_\varepsilon[m-2] \right)^2$, т.е. μ, η находились из решения соответствующей системы нормальных уравнений, а оценка коэффициента γ осуществлялась по формуле [8]:

$$\hat{\gamma} = \sqrt{\frac{\hat{K}_\varepsilon[0]}{\hat{K}_\omega[0]}}, \quad (6)$$

$$\text{где } \hat{K}_\omega[0] = \frac{1 - \hat{\eta}}{(1 + \hat{\eta}) \left[(1 - \hat{\eta})^2 - \hat{\mu}^2 \right]}.$$

Для оценивания параметров АР2 были получены следующие системы нормальных уравнений, по которым были вычислены оценки параметров $\hat{\mu}; \hat{\eta}; \hat{\gamma}$.

$$1260,9663\hat{\mu} + 514,8224\hat{\eta} = 289,5179;$$

$$514,8224\hat{\mu} + 1307,1876\hat{\eta} = 49,6265.$$

$$\hat{\mu} = +0,2551; \hat{\eta} = -0,0625; \hat{\gamma} = 5,5246$$

(7)

Таким образом, были получены все оценки параметров модели, которые представляются в следующем виде:

$$x_k = 0,2196x_{k-1} + 1,5018u_k - 701,141 + 5,5321\omega_k;$$

$$\omega_k = 0,2551\omega_{k-1} - 0,0625\omega_{k-2} + \xi_k.$$

(8)

Условные математические ожидания в соответствии с (7 и 8) имеют вид:

$$\hat{x}_k = 0,2196\hat{x}_{N+i-1/N} + 1,5018u_{N+i} - 701,141 + 5,5321\omega_{N+i-1/N};$$

$$\hat{\omega}_{N+1/N} = 0,2551\hat{\omega}_{N+i-1/N} - 0,0625\hat{\omega}_{N+i-2/N}$$

(9)

При $\hat{x}_{N/N} = x_N = 134,44 \text{ мм}$;

$$\hat{\omega}_{N/N} = \hat{\mu} \frac{\varepsilon_N}{\hat{\gamma}} + \hat{\eta} \frac{\varepsilon_{N-1}}{\hat{\gamma}} = 0,2551 \frac{+3,801 \text{ мм}}{5,5321} - 0,0625 \frac{+3,347 \text{ мм}}{5,5321} = 0,1375 \text{ мм}.$$

Результаты прогнозирования методом инверсной верификации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты прогнозирования процесса перемещения гребня плотины

$X_{\text{перемещ.2005}}$ мм	Дата прогноза, месяц	Прогнозная модель	
		$X_{\text{прогн.}}$ мм	Δ_{k2} , мм
1	2	5	6
127,04	Янв.2005	129,14	-2,10
120,26	февраль	113,16	+7,10
100,51	март	93,14	+7,37
75,64	апрель	63,21	+12,43
66,15	май	80,57	-14,42
91,80	июнь	101,77	-9,97
104,62	июль	113,40	-8,78
116,67	август	121,52	-4,85
130,00	сентябрь	134,03	-4,03
135,64	октябрь	140,98	-5,34
138,21	ноябрь	140,91	-2,70
134,36	Дек.2005	129,03	+5,33

Выводы.

1. Построенная прогнозная модель позволяют отслеживать основные закономерности развития процесса деформации гребня плотины.

2. Большинство ошибок прогноза перемещений Δ_k в сравнении с самими перемещениями за исключением отдельных месяцев лежат в пределах графической точности полученных исходных данных по обеим построенным моделям (неточность исходных данных с использованием рис. 1 вносит неточность в результаты прогнозирования).

3. Большие по величине ошибки прогнозирования приходятся на время конца срабатывания и начала нагружения плотины (апрель-июнь); очевидно, что инъецирование трещин [7] изменило характер работы плотины, что препятствует возврату плотины в исходное состояние. Представляется, что для данного периода работы плотины необходимо строить отдельные прогнозные модели.

4. Повысить точность прогнозирования возможно за счет увеличения периода основания прогноза при построении модели (включение нескольких лет натурных наблюдений в период основания прогноза), что планируется показать в последующем при построении прогнозной модели 2007-2009 годов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. РД 153-34.2-21.342-00. – М. 2001. – 80 с.
2. Ф1.22. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений / Собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. – № 30. – Ст. 3589.
3. Дурчева В. Н., Пучкова С. М., Загрядский И. И. Учет сезонных изменений схемы работы бетонных плотин при анализе данных натурных измерений // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2000. – № 237. – С. 45–53.
4. Гордон Л. А., Соколовский И. К., Цовикян Л. Х. Прогноз перемещений арочной плотины на основе идентифицированной прогнозной модели // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1989. – Т. 214. – С. 124–132.
5. Александров Ю. Н. Использование расчетной модели плотины Саяно-Шушенской ГЭС для оценки и прогнозирования ее состояния // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 11. – С. 64–69.
6. Параметрическая идентификация расчетных моделей гидротехнических сооружений / Д. А. Ивашинцов, А. С. Соколов, С. Г. Шульман, А. М. Юделевич. – СПб: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева». 2001. – 432 с.
7. Вульфович Н. А., Гордон Л. А., Стефаненко Н. И. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС (Оценка технического состояния по данным натурных наблюдений). – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2012. – 107 с.
8. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
9. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4С. – С. 22–30.
10. Хорошилов В.С., Павловская О.Г. Математическое моделирование оползневых процессов по геодезическим данным в условиях проведения взрывных работ и вывоза грунта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 156–161.
11. Гуляев Ю. П., Каленицкий А. И. Структурная идентификация прогнозных моделей локальной техногенной геодинамики и деформаций // Совр. проблемы геодезии и оптики: Тез. докл. – Новосибирск, СГГА, 1998. – С. 121.
12. Павловская О. Г., Хорошилов В. С. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 84–88.
13. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 78 с.
14. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. Вып.1. – 405 с. Вып.2. – 197 с.

© Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов, 2015

СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

Адольф Георгиевич Малков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

В статье рассматривается системный подход к исследованию деформаций различных видов инженерных сооружений, представленных в виде динамической системы с воздействием на нее разных факторов, определяющих ее состояние на момент исследований и на основе их идентификации подбор аналитических функций соответствующих регрессионным уравнениям, отражающих поведение исследуемого объекта на последующие прогнозы его эксплуатации.

Ключевые слова: системный подход, деформации сооружения, динамическая систем, прогнозирование, регрессионный анализ, идентификация.

SYSTEM STUDY OF DEFORMATIONS OF STRUCTURES

Adolf G. Malkov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc Prof, Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a senior lecturer in physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Describes a systematic approach to the study of deformations of various types of engineering structures, in the form of a dynamic system with the influence of the different factors determining its condition at the time of research, and on the basis of their identification selection of analytical functions of regression equations that reflect the behavior of the researched object for subsequent predictions of its operation.

Key words: systems approach, deformations of a construction, dynamic system, forecasting, regression analysis, identification.

Главной задачей исследования деформаций различных сооружений является выявление их величины и характера с целью обеспечения нормальной работы технологического оборудования и прогноза ожидаемых деформаций на последующие периоды его эксплуатации для своевременного принятия разных профилактических мер, ведущих к предупреждению аварийных ситуаций, как

оборудования, так и строительных конструкций исследуемого сооружения. В тоже время результаты исследований могут быть использованы для расчета и проектирования сооружений в аналогичных условиях с целью выбора оптимальных конструкций для данного вида объектов.

В связи с этим к исследованию деформаций сооружений необходим системный подход, который предусматривает комплексное изучение состояния сооружения на какой-то определенный момент, устанавливает причинно-следственные связи между отдельными подсистемами и позволяет выработать определенные рекомендации по устранению и предупреждению деформаций сооружения, то есть устанавливает обратную связь между входом и выходом изучаемого объекта.

Однако, решение многих вопросов, связанных с исследованием деформаций сооружений, выполнено различными авторами раздельно без учета связи между отдельными подсистемами исследуемого сооружения [1].

Так, например, исследование деформаций подкрановых путей часто ведется без определения величины осадок колонн, на которых установлены балки, несущих подкрановые пути. Тогда, как известно, что одной из основных причин деформаций подкрановых путей является неравномерные осадки колонн, ведущие к кренам колонн и наклону балок, что в свою очередь, приводит к изменению взаимного положения подкрановых путей в плане и по высоте.

В тоже время измерение осадок сооружений и деформаций технологического оборудования часто производится раздельно без создания единой опорной высотной и плановой основы [1].

Иногда работы по исследованию деформаций сооружения особенно для небольших промышленных предприятий ведутся безсистемно, без создания единого плана-программы, которая бы предусматривала комплексное изучение указанного вопроса. Часто опорная высотная основа создается не для всего комплекса сооружений исследуемого промышленного предприятия, а для выявления осадок какого-либо одного из них и затем корректируется и дополняется новыми опорными знаками при исследовании деформаций других сооружений. Это ведет к дополнительным затратам на производство наблюдений за деформациями сооружений (неоправданная число исходных реперов и др.) и в связи с этим созданная опорная высотная основа не является оптимальной.

Учитывая вышесказанное, представим любое исследуемое сооружение в виде динамической системы, которая характеризуется входом, процессом, обратной связью и ограничением. В качестве основных факторов, изменяющих её состояние, выступают явления связанные с изменением плотности грунта, на которой опирается исследуемое сооружение под действием его веса, а также изменение плотности строительных материалов.

Основными причинами изменения плотности грунта и состояния отдельных элементов сооружения являются постоянные нагрузки от веса сооружения и нагрузки от работы используемого технологического оборудования, сезонные изменения от перепада температур и связанные с ним процессы оттаивания и замерзания грунта, изменение состава грунта вследствие впитывания различ-

ных масел, используемых при производстве, изменения гидрогеологических условий, связанных с изменением уровня грунтовых вод и замачивания грунта.

Принимая во внимание указанные воздействующие факторы представим объект исследований в виде следующей схемы (рис. 1) [2].

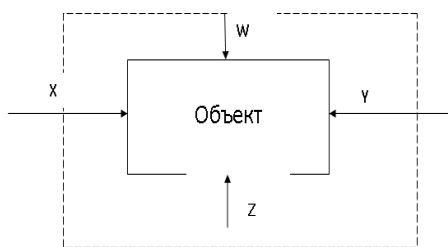


Рис. 1. Схема объекта

Вся совокупность параметров, определяющих состояние объекта на данной схеме, разбита на следующие группы:

1. Входные переменные $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$. В эту группу объединены управляемые параметры объекта (нагрузка на основание фундамента, работа технологического оборудования – машины, краны, молоты и т.п.). Значения выходных переменных определяются задаваемыми технологическими условиями, расчетом строительных конструкций и заключены в определенном интервале: $X_{i, \min} \leq X_i \leq X_{i, \max}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

2. Выходные величины $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ определяют изменения, произошедшие в системе. В качестве выходной величины при исследовании сооружений могут служить значения их деформаций (осадки, крены и т.п.).

3. Контролируемые, но неуправляемые параметры $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_s)$. В эту группу входят те параметры, целенаправленное изменение которых невозможно. Это, например, сезонное колебание уровня грунтовых вод, изменение атмосферного давления, температуры и т.п.

4. Неконтролируемые параметры $W = (W_1, W_2, \dots, W_k)$. В эту группу входят возмущающие воздействия, носящие случайный характер и не поддающиеся определению. Это помехи (шумы), погрешности измерений.

Задачей исследования является установление связи между входными и выходными параметрами объекта по результатам выполненных измерений

$$y = f(X, Z, W). \quad (1)$$

Это есть задача идентификации [3,4,5]. При пассивном эксперименте измерения выполняются в режиме нормальной работы объекта без внесения преднамеренных возмущений.

В случае активного эксперимента все неуправляемые и неконтролируемые параметры представляются в виде эквивалентного шума e , отнесенного к выходу объекта и уравнение связи определяется в виде

$$y = \eta(x) + e. \quad (2)$$

При системном исследовании [6,7] деформаций сооружений объект также можно представить в виде следующей структурной схемы (рис. 2):

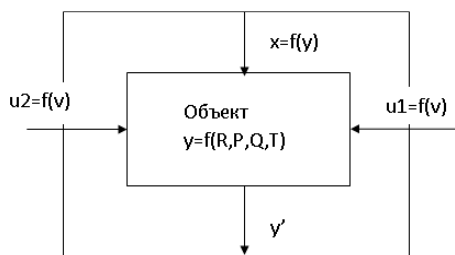


Рис. 2. Структурная схема системы

Рассмотрим данную схему более подробно. Здесь: $R = f(X, Z, W)$, $P = f(X, Z, W)$, $Q = f(X, Z, W)$ – множество параметров, характеризующие соответственно состояние сооружения, технологического оборудования и грунтов;

T – состояние объекта на момент времени t , $t \in T$;

$X = f(y)$ – входные величины, изменяющие форму объекта (вес, колебания грунтовых вод и др.);

Y' – выходные величины – это есть дифференциалы от функции по исследуемым параметрам (осадки, крены, подкрановые пути – высотное и плановое положение);

$U (U \in V)$ – управляющие параметры, воздействующие на объекты, это меры, устраняющие последствия деформаций (укрепление фундамента, стяжка строительных конструкций, рихтовка подкрановых путей, выверка и юстировка технологического оборудования и др.).

На структурной схеме (рис. 2) входные величины определяют состояние объекта системы в зависимости от веса и типа сооружения и технологического оборудования, от характера и состава грунтов и времени выполнения исследований. На выходе по результатам натурных наблюдений мы получаем приращения исследуемых параметров в момент t_i относительно их первоначального состояния t_0 , $t \in T$, определенных дифференцированием функций $y = f(R, P, Q, T)$ по исследуемым параметрам.

На основании полученных данных мы составляем прогноз поведения сооружения на последующий период и в случае появления недопустимых вели-

чин деформаций предусматриваем управляющее воздействие на объект $U = f(v)$, т.е. данная схема предусматривает обратную связь.

Так как результаты измерений неизбежно сопровождаются различными погрешностями, то для получения более надежного прогноза [8,9,10] необходимо перейти к составлению модели, учитывающей статистические свойства выполненных измерений.

Задача нахождения математической модели исследуемого объекта по экспериментальным данным состоит в оценке вида и параметров функций $f(X, Z, W)$, $\eta(x)$ или $f(R, P, Q, T)$, входящих в уравнения (1),(2). Для решения данного типа уравнений удобно использовать регрессионный анализ [2,11,12]. Качество решений задачи будет зависеть от априорной информации о виде уравнения связи, характера возмущающих воздействий и от апостериорной информации об измерениях.

Так как при исследовании осадок сооружений априорная информация подчиняется нормальному закону распределения, то необходимо определить вид функций $\eta(x)$, которая зависит от неизвестных параметров $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$.

Функцию (2) можно привести к виду функции (1), рассматриваемой далее, путем замены векторов X, Z, W и R, P, Q, T одним вектором X , длина которого равна общей длине вектора уравнения (2).

Предполагая, что функция $\eta(x)$ линейна относительно неизвестных коэффициентов и имеет следующий вид:

$$\eta(x) = \sum_{j=0}^k \theta_j f_j(x) \quad (3)$$

где θ_j – искомые коэффициенты регрессии; $(k+1)$ – число членов уравнения регрессии; $f_j(x)$ – известные функции входных переменных $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

При воздействии случайных возмущений мы наблюдаем следующую величину

$$y_i = \sum_{j=0}^k \theta_j f_{ij}(x_i) + l_i, i = 1, 2, \dots, N, \text{ где } N - \text{число наблюдений.} \quad (4)$$

В случае нормального распределения ошибок l_i с некоторыми допущениями, выраженными формулой

$$E \sim N_n(0, \sigma^2, I_n) \quad (5)$$

где N_n – обозначение n -мерного нормального закона распределения;

I_n – единичная матрица размером $n \times n$;

$\sigma^2 I_n$ – ковариационная матрица вектора E .

Мы можем получить оценки $\hat{\theta}_j$ коэффициентов θ_j , используя метод наименьших квадратов, т.е.

$$\sum_{i=1}^N l_i^2 = \sum_{i=0}^N \left[y_i - \sum_{j=0}^k \hat{\theta}_j f_{ij}(x) \right]^2. \quad (6)$$

Значения оценок $\hat{\theta}_j$ из выражения (6) могут быть получены из условия

$$\frac{\partial}{\partial \theta_j} \left(\sum_{i=1}^N l_i^2 \right) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (7)$$

Для оценки регрессионной функции от истинной зависимости может служить дисперсия предсказанных по уравнению регрессии значений:

$$D(x) = E \left[\sum_{j=0}^k f_j(x) \hat{\theta}_j - \sum_{j=0}^k f_j(x) \theta_{ij} \right]^2. \quad (8)$$

Выполненные теоретические исследования можно использовать при системном подходе к исследованию осадок сооружений и построении их математической модели в виде линейной динамической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 343 с.
2. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
3. Малков А. Г. Методика оперативной обработки результатов наблюдений и прогнозирование осадок инженерных сооружений на основе их идентификации. – Межвузовский сборник, Новосибирск, 1986. – С. 47–57.
4. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям: монография / В. А. Середович [и др.]. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 356 с.
5. Крамаренко А. А., Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К. Математическое обеспечение идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С. 3–13.
6. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Системно-целевой подход к анализу пространственно-временного состояния техногенных систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 224–230.
7. Хорошилов В. С. Методологические аспекты системного подхода в области исследования технической системы – "Геодезический прибор" // Современные проблемы геодезии и оптики: ЛП междунар. Научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА, 11–21 марта 2003 г. Ч. II. – Новосибирск, 2003. – С. 287.
8. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
9. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4С. – С. 22–30.

10. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 78 с.
11. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений: учеб. пособие. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
12. Малков А. Г., Николаев Н. А. Применение регрессионного анализа для исследования осадок инженерных сооружений. – Межвузовский сборник, Новосибирск, НИИГАиК, 1987. – С. 9–15.

© А. Г. Малков, Н. Н. Кобелева, 2015

КОЭФФИЦИЕНТ ВАРИАЦИИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ОСАДКИ СООРУЖЕНИЯ

Елена Сергеевна Плюснина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры высшей математики, тел. (383)344-33-00, e-mail: plusnina@ssga.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы влияния коэффициента вариации на процесс осадки инженерного сооружения и возможности использование элемента случайности при выявлении статистических закономерностей между явлениями и причинами, вызывающими эти явления.

Ключевые слова: коэффициент вариации, предельные значения коэффициента вариации, случайные процессы.

VARIATIONS COEFFICIENTS AS CHARACTERISTIC OF CHANGES IN STRUCTURE SETTLEMENT PROCESS

Elena S. Plusnina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Higher Mathematics, tel. (383)344-33-00, e-mail: plusnina@ssga.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

Variations coefficient effect on the process of engineering structures settlement is considered. The authors show the possibilities for using element of chance for revealing statistical laws of phenomena and causes.

Key words: variations coefficient, limiting values of variations coefficient, random processes.

При построении прогнозных моделей процессов деформации сооружений по результатам геодезических наблюдений возникает вопрос о статистической однородности геодезических данных о перемещениях наблюдаемых точек сооружения. В общей теории статистики однородность исследуемой совокупности определяет коэффициент вариации [2]:

$$\nu_x(t_j) = \frac{\sigma_x(t_j)}{m_x(t_j)},$$

где $\sigma_x(t_j)$ – оценка стандарта осадки, вычисленная для времени t_j , $m_x(t_j)$ – оценка среднего значения осадки в рассматриваемом цикле наблюдений. В общем случае принято считать совокупность однородной при $\nu_x(t_j) \leq 0,33$.

Опытом исследований установлено [1], что уже при $\nu_x(t_j) = 0,2$ в эксплуатационный период возможны трещинообразования в конструкциях; предельному состоянию по непригодности к нормальной эксплуатации соответствуют значения $0,3 \leq \nu_x(t_j) \leq 0,7$, а предельное состояние по непригодности к эксплуатации возникает при значении коэффициента вариации равным 1.

При обработке геодезических наблюдений коэффициенты вариации имеет смысл вычислять вначале по результатам наблюдений за осадкой всех деформационных марок, заложенных в фундамент сооружения. Затем логично будет выделить наиболее неблагоприятные участки. Как правило, осадки марок фундамента сооружения делятся на группы по величине осадок. Группы позволяют выделить фрагменты фундамента наиболее сильно подверженные деформационному процессу. Вычисления коэффициента вариации полезно проводить как внутри каждой такой группы, так и между группами.

Наблюдения за изменениями коэффициента вариации позволяют оценить временное изменение процесса осадки. Так, например, тенденция к возрастанию коэффициента вариации будет свидетельствовать о неблагоприятном течении процесса, а убывание – о стабилизации состояния деформируемого сооружения.

При выявлении статистических закономерностей между изучаемыми явлениями и причинами, вызвавшими эти явления, часто не существует однозначной связи и в описании результатов явления присутствует элемент случайности. Результат такого явления можно предсказать только в вероятностном смысле. Потому при математическом моделировании некоторых задач удобно использовать элемент случайности, а в качестве меры случайности результата как раз и может быть использован коэффициент вариации.

Если коэффициент вариации отличен от нуля, то результат процесса содержит элемент случайности, причем, чем больше ν , тем более случаен результат процесса. Если существует возможно установить предельное относительное отклонение полученного значения изучаемой величины x от ее математического ожидания m_x , при котором результат процесса еще сохраняется, т.е. величину $\frac{\alpha}{m_x}$, где $\alpha = x - m_x$, то на основании закона больших чисел будем иметь:

$$P\left(\left|\frac{x}{m_x} - 1\right| > \frac{\alpha}{m_x}\right) \leq \frac{\nu^2}{\left(\frac{\alpha}{m_x}\right)^2}.$$

Если распределение полученных результатов будет нормальным, а это проверяется центральной предельной теоремой теории вероятностей, можно получить точную оценку того, что результат процесса будет сохраняться:

$$P\left(\left|\frac{x}{m_x} - 1\right| \leq \frac{\alpha}{m_x}\right) \leq \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \nu} \int_{-\frac{\alpha}{m_x}}^{+\frac{\alpha}{m_x}} e^{-\frac{\left(\frac{x}{m_x} - 1\right)^2}{2\nu^2}} d\left(\frac{x}{m_x} - 1\right).$$

Описанный выше метод включения элемента случайности дает возможность установить численные значения, которые может принимать коэффициент вариации и вероятность случайности результата P в пределах некоторого доверительного интервала, что позволит выделить однородные группы осадок конструкции, а, следовательно, изучать процесс как внутри локальных групп, так и между группами в целом по сооружению. Получив вероятность P , при которой результат будем считать случайным, возможно сделать вывод о случайности или детерминированности всего процесса для последующего построения математических моделей при прогнозировании осадок и деформаций инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе кинематической модели / учебное пособие – Новосибирск: СГГА, 2012. – 93 с.
2. Шимко П. Д., Власов М. П. Статистика / Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 448 с.
3. Математические модели в геологии и геостатистика / сборник научных трудов СО АН СССР Институт земной коры – Москва: Наука, 1973. – 182 с.
4. В.Е. Гмурман Теория вероятностей и математическая статистика. учеб. пособие для вузов. – Москва: Высшая школа, 2000 – 479 с.
5. Karpik A. P., Horoshilov V. S. Essence of territories GIS environment as common base for state property cadastre development // News of higher educational institutions. Geogesy and Aerophotography. – 2012. – № 2/1. – p. 134–136.
6. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст]: монография. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
7. Гуляев Ю. П., Максименко Л. И., Хорошилов Е. В. Параметры осадок фундаментов как характеристики состояния зданий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 5. – С. 44–48.
8. Сиськов В. И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. – М., Статистика, 1975. – 186 с.
9. Хорошилов В. С., Павловская О. Г., Носков М. Ф. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений вертикальных перемещений осадочных реперов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 31–34.

© Е. С. Плюсина, В. С. Хорошилов, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>И. Г. Вовк</i> . Вычисление площади участка физической поверхности Земли в задачах прикладной геоинформатики.....	3
2. <i>Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова</i> . Геодезический контроль геометрических параметров укрупненных элементов градири с металлическим каркасом.....	8
3. <i>А. А. Басаргин</i> . Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine.....	15
4. <i>Б. А. Харченко</i> . Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе программного комплекса MathCad-15.....	21
5. <i>Г. Г. Китаев, А. В. Никонов</i> . Схема построения высотной сети при наблюдениях за осадками зданий и сооружений на территории ТЭС	28
6. <i>Г. Н. Тетерин, М. Л. Синянская</i> . Точность геодезических измерений в ретроспективе и перспективе (по историческим эпохам).....	34
7. <i>М. Л. Синянская</i> . Точность геодезических работ в древнее время (на примере пробивки туннеля на острове Самос)	40
8. <i>А. Г. Барлиани</i> . Уравнивание нивелирной сети на основе обобщенного решения.....	46
9. <i>Г. А. Уставич, А. П. Чахлова, Я. Г. Пошивайло</i> . Создание инженерных топографических планов для проектирования объектов в горной местности.....	52
10. <i>И. И. Кулага, А. П. Чахлова</i> . О необходимости создания текущих дежурных планов площадки строительства в условиях горной местности	60
11. <i>Л. В. Быков, Л. В. Татаурова, П. В. Орлов, А. Е. Анисимов, Р. Л. Полухин, С. В. Бартенев</i> . Геодезические работы на археологическом памятнике XVII-XVIII века «Ананьино»	64
12. <i>Г. А. Уставич, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова</i> . Геодезическое обеспечение реконструкции гидрогенераторов.....	68
13. <i>П. П. Мурзинцев, Н. С. Косарев, А. В. Никонов</i> . Применение спутниковых ГНСС-технологий для обеспечения надвижки арки Бугринского моста через реку Обь	72
14. <i>А. В. Никонов, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, Т. М. Медведская</i> . Определение средней квадратической ошибки измерения превышения на станции цифровым нивелиром.....	77
15. <i>Г. А. Уставич, А. В. Никонов</i> . Совершенствование локальной поверочной схемы для поверки нивелиров и тахеометров.....	85
16. <i>А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина</i> . Особенности определения угла i цифровых нивелиров	94

17. Л. С. Любивая. Концепция проектирования объектов инфраструктуры в программном продукте MapProject в среде MapInfo	102
18. А. М. Яковенко, С. Б. Субботин, Г. А. Уставич. К использованию комплекса геодезических работ для оценки техногенной опасности испытательных площадок бывшего Семипалатинского испытательного полигона	105
19. В. Д. Астраханцев, И. И. Золотарев. О необходимости адаптации геодезических и ВМ-технологий.....	110
20. А. А. Моргунова. Системы автоматизированных программных средств обработки геодезических данных при проектировании линий электропередач. Преимущества и проблемы	113
21. Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов, Е. А. Звягинцев. Технология автоматизированного сбора и обработки результатов наблюдений за кренами и осадками здания Спасо-Преображенского собора в г. Новокузнецке.....	119
22. С. А. Цыганов. Комплексный мониторинг проблем глобальной ресурсообеспеченности и инновационные пути их решения.....	126
23. М. М. Кабанов, С. Н. Капустин. Интеграция нового оборудования и развитие интерфейса аппаратно-программной системы контроля геодинамических процессов	134
24. А. В. Войтенко. Нестандартный подход к вопросу обновления координат геодезических пунктов в глобальной геоцентрической системе отсчета.....	139
25. К. Ф. Афонин. Преобразование координат Гаусса – Крюгера из СК-42/95 в ГСК-2011.....	149
26. К. Ф. Афонин. Технология преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из системы координат субъекта Федерации в единую государственную геодезическую систему координат ГСК-2011	154
27. К. Ф. Афонин. Точность преобразования пространственных прямоугольных координат из общеземных систем в референцные	160
28. А. И. Каленицкий, А. Н. Соловицкий. О едином пространстве деформаций земной коры и ее поверхности при освоении месторождений Кузбасса	164
29. Б. Т. Мазуров, Н. А. Кудеринова. Аппроксимация гравитационного влияния локального рельефа с использованием некоторых аналитических моделей	169
30. Б. Т. Мазуров, Ф. Х. Зарзура, С. Х. Ахмед. Алгоритм определения прогнозной модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС-мониторинга.....	174
31. Б. Т. Мазуров, Ф. Х. Зарзура, С. Х. Ахмед. Аналитический метод определения коэффициентов корреляции между результатами наблюдений	179

32. <i>А. А. Силаева</i> . Особенности проектирования геодинамических полигонов на техногенных объектах.....	183
33. <i>Б. А. Харченко</i> . Определение глобальных изменений силы тяжести по гармоническим коэффициентам геопотенциала.....	188
34. <i>О. А. Коробова, Л. А. Максименко</i> . Методы усовершенствования расчета осадок грунтовых оснований	194
35. <i>Л. А. Максименко</i> . Современные методы мониторинга технического состояния здания	200
36. <i>В. П. Вербная, В. С. Хорошилов, А. В. Комиссаров</i> . Оптимальный метод выбора лазерного сканера для различных видов инженерно-технических работ.....	204
37. <i>И. Е. Дорогова</i> . Влияние выбора исходных пунктов на результаты уравнивания повторных геодезических измерений.....	209
38. <i>Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов</i> . Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС	214
39. <i>А. Г. Малков, Н. Н. Кобелева</i> . Системное исследование деформаций сооружений	221
40. <i>Е. С. Плюснина, В. С. Хорошилов</i> . Коэффициент вариации как характеристика изменения процесса осадки сооружения.....	228

CONTENTS

1. I. G. Vovk. Calculating the area of some Earth's physical surface part in applied geoinformatics tasks.....	3
2. G. A. Ustavich, V. G. Salnikov, N. M. Ryabova. Geodetic control of geometric parameters of cooling stack preassembled members with metal frame	8
3. A. A. Basargin. Geological 3D model-building by micromine GIS techniques	15
4. B. A. Kharchenko. Analysis and prediction of the buildings deformations using the geodetic data are based on the program product the MathCad-15.....	21
5. G. G. Kitaev, A. V. Nikonov. Scheme of height network to monitoring buildings on power plants	28
6. G. N. Teterin, M. L. Sinensky. The accuracy of geodetic measurements in retrospect and prospect (historical eras)	34
7. M. L. Sinensky. Precision surveying in ancient times (for example, punching tunnel on the island of Samos)	40
8. A. G. Barliani. Leveling network adjustment based on generalized solution	46
9. G. A. Ustavich, A. P. Chakhlova, Y. G. Poshivailo. Need of creation of engineering topographical plans for creation projects of mountain district	52
10. I. I. Kulaha, A. P. Chakhlova. About the need of creation of present monitor plans of the construction site in mountainous terrain	60
11. L. V. Bykov, L. V. Tataurova, P. V. Orlov, A. E. Anisimov, R. L. Poluhin, S. V. Bartenev. Geodetic works at the archeological XVII-XVIII century «Ananyino».....	64
12. G. A. Ustavich, V. A. Skripnikov, M. A. Skripnikova. Surveying works for hydrogenerator reconstruction	68
13. P. P. Murzintsev, N. S. Kosarev, A. V. Nikonov. GNSS-techniques for sliding arch of Bugrinsky bridge over Ob river.....	72
14. A. V. Nikonov, E. L. Soboleva, N. M. Ryabova, T. M. Medvedskaya. Determination of mse for height difference measurement by digital level at the station.....	77
15. G. A. Ustavich, A. V. Nikonov. Improvement local verification scheme for calibration levels and total stations	85
16. A. V. Nikonov, I. N. Checheva, G. V. Lifashina. The analysis of methods for determining angle i digital levels.....	94
17. L. S. Lyubivaya. Concept of infrastructure units design in Map-Project software using MapInfo environment.....	102

18. A. M. Yakovenko, S. B. Subbotin, G. A. Ustavich. On the use of a number of geodetic survey to assess technogenic danger of test sites of the former Semipalatinsk test site	105
19. V. D. Astrahancev, I. I. Zolotarev. Geodetic and BIM-technologies adaptation importance	110
20. A. A. Morgunova. Geodetic cad for design of power lines. Advantages and problems	113
21. D. B. Novoselov, B. A. Novoselov, E. A. Zvyagintsev. Technology automated data collection and analysis of observations of banks and building settlement Spaso-Preobrazhensky cathedral in Novokuznetsk.....	119
22. S. A. Tsyganov. Complex monitoring the problems of global resourcing and innovative solutions	126
23. M. M. Kabanov, S. N. Kapustin. New hardware integration and interface enhancements to hardware-software system for geodynamic processes monitoring	134
24. A. V. Voitenko. Unconventional approach to the issue of the coordinates of geodetic points updating in the global geocentric reference system.....	139
25. K. F. Afonin. Transformation coordinates of Gauss – Krueger from SK-42/95 of GSK-2011	149
26. K. F. Afonin. Technology of transformation of flat rectangular coordinates of Gauss – Krueger from system of coordinates of the subject of Federation in uniform state geodetic system of coordinates of GSK-2011.....	154
27. K. F. Afonin. Accuracy of transformation of spatial rectangular coordinates from all-terrestrial systems in referentsnye	160
28. A. I. Kalenizkij, A. N. Solowizkij. About an integrated area of deformation of earth crust and its surfage at the development of deposits in Kusbass.....	164
29. B. T. Mazurov, N. A. Kuderinova. Approximation gravitational influence local relief using some analytical models	169
30. B. T. Mazurov, F. H. Zarzoura, S. H. Ahmed. Algorithm for determining a predictive model of the dynamics stayed bridge according GNSS-monitoring.....	174
31. B. T. Mazurov, F. H. Zarzoura, S. H. Ahmed. An analytical method to improve the correlation coefficients between observations.....	179
32. A. A. Silaeva. Design peculiaritie's of geodynamic polygon's on the of technogenic object's.....	183
33. B. A. Kharchenko. Determination of global gravity variations with geopotential model	188
34. O. A. Korobova, L. A. Maksimenko. Techniques for improving ground base settlement calculation	194
35. L. A. Maksimenko. Current techniques for building technical state monitoring	200
36. V. P. Verbnaya, V. S. Khoroshilov, A. V. Komissarov. Laser scanner for different types of engineering: optimal choicetechniques	204

37. <i>I. E. Dorogova</i> . Influence of the choice initial pointson the results equalizing of repeated geodetic measurements	209
38. <i>N. N. Kobeleva, V. S. Khoroshilov</i> . Build a predictive mathemati- cal model of motion of the dam Sayano-Shushenskaya HPP	214
39. <i>A. G. Malkov, N. N. Kobeleva</i> . System study of deformations of structures	221
40. <i>E. S. Plyusnina, V. S. Khoroshilov</i> . Variations coefficients as characteristic of changes in structure settlement process.....	228

Научное издание

XI Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2015

Международная научная конференция

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ**

Т. 1

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 14.04.2015. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 13,77. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плехотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плехотного, 8.