МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

IX Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2013

Международная научная конференция

ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск
СГГА
2013

УДК 528:528.9:622.1
С26

Ответственные за выпуск:

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

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

Доктор технических наук, зав. кафедрой высшей геодезии СГГА, Новосибирск
В.С. Хорошилов

Председатель Рабочей группы МКА «Картография для раннего предупреждения
и управления кризисными ситуациями», вице-президент Международного общества
«Цифровая Земля», президент Объединенного исследовательского центра
Международной академии наук Евразии, доктор наук, Чешская Республика
Милан Конечны

Кандидат технических наук, генеральный директор ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск
В.И. Обиденко

Technet-rail 2010 GmbH, Берлинский университет прикладных наук им. Бойта, Германия
Иво Милев

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

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

Кандидат технических наук, зав. лабораторией,
кафедра картографии и геоинформатики СГГА, Новосибирск
В.С. Писарев

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. Т. 3. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 226 с.

ISBN 978-5-87693-623-3 (т. 3)
ISBN 978-5-87693-620-2
ISBN 978-5-87693-610-3

В сборнике опубликованы материалы IX Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013», представленные на Международной конференции «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

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

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 978-5-87693-623-3 (т. 3)
ISBN 978-5-87693-620-2
ISBN 978-5-87693-610-3
© ФГБОУ ВПО «СГГА», 2013

Сборник включен в систему РИНЦ.

УДК 004.4

УЛУЧШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОДНОЧАСТОТНЫХ ГНСС ПРИЁМНИКОВ ПРИ ПОМОЩИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Антон Станиславович Щербаков
Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Лаврентьева, 6, аспирант, email: anton.scherbakov@gmail.com

Денис Юрьевич Першин
Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Лаврентьева, 6, младший научный сотрудник, email: dyp@perchine.com

Местоположение приемника в системе спутниковой навигации вычисляется пересечением сфер от разных спутников. Радиусы сфер определяются неточно из-за ионосферной и тропосферной задержек, релятивистского эффекта, эффекта приема отраженного сигнала и других факторов. Без каких-либо коррекций точность определения местоположения составляет 30-50метров. В данной работе рассматривается модель, в которой учитывается максимальное количество дополнительных данных для коррекции ошибок. Для исправления ионосферной задержки используются данные IONEX о состоянии ионосферы. Все используемые данные хранятся на международных серверах. Для улучшения точности навигации используются инерциальные MEMS-датчики (акселерометр, гироскоп, магнитометр). Кроме того, в работе описан кинематический метод определения местоположения высокой точности. Для минимизации ошибок приборов спутниковой навигации и инерциальных датчиков использован фильтр Калмана.

Ключевые слова: спутниковая навигация, ГЛОНАСС, GPS, IMU, инерциальные MEMS-датчики, фильтр Калмана, одночастотный приёмник, точные орбиты и часы спутников.

IMPROVING ACCURACY OF THE LOCATION OF SINGLE-FREQUENCY GNSS RECEIVER WITH INERTIONAL SENSORS

Anton S. Shcherbakov
Institute of Informatics Systems A. P. Ershov, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentiev Street, 6, post-graduated student, email: dyp@perchine.com

Denis Yu. Pershin
Institute of Informatics Systems A. P. Ershov, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentiev Street, 6, junior Researcher, email: dyp@perchine.com

Location of the receiver in the GNSS is calculated by the intersection of the spheres from different satellites. The radii of the spheres are determined inaccurately because of the ionospheric and tropospheric delays, the relativistic effect, the effect of the reception of the reflected signal, and other factors. Without any corrections positioning accuracy is about 30-50 meters. Here considered the model which takes into account the maximum number of additional data for error corrections. For ionospheric delay correction ionosphere state data IONEX is used, for satellite positions and clock errors corrections precise satellite ephemeris (final ephemerides) are used. All used data is stored on the international servers. For positioning accuracy increasing inertial sensors MEMS-sensors (accelerometer, gyroscope, magnetometer) are used. The kinematical point precise positioning method is considered in this paper. To minimize errors of satellite navigation devices and inertial sensors Kalman filter is used.

Key words: satellite navigation, GLONASS, GPS, IMU, Inertial MEMS-sensors, the Kalman filter, a single-frequency receiver, the precise satellite orbit and clock.

Каждая система спутниковой навигации содержит не менее 24 спутников. Спутники постоянно передают пакеты, в которых закодировано время отправки и координаты спутника во время отправки. Скорость передачи данных известна - скорость света в вакууме. После получения пакета приемник рассчитывает время прохождения сигнала, вычитая из времени получения время отправки. Значит, расстояние от спутника (в момент отправки) до приёмника (в момент получения) есть произведение времени на скорость. Следовательно, приемник может быть на любой точке сферы соответствующего радиуса с центром в точке, где находился спутник во время отправки. Если добавить информацию со второго спутника, то приемник будет находиться на пересечении двух сфер. Таким образом, добавив еще один излучатель, мы найдём точное местоположение. На рис. 1 представлена схема определения местоположения.

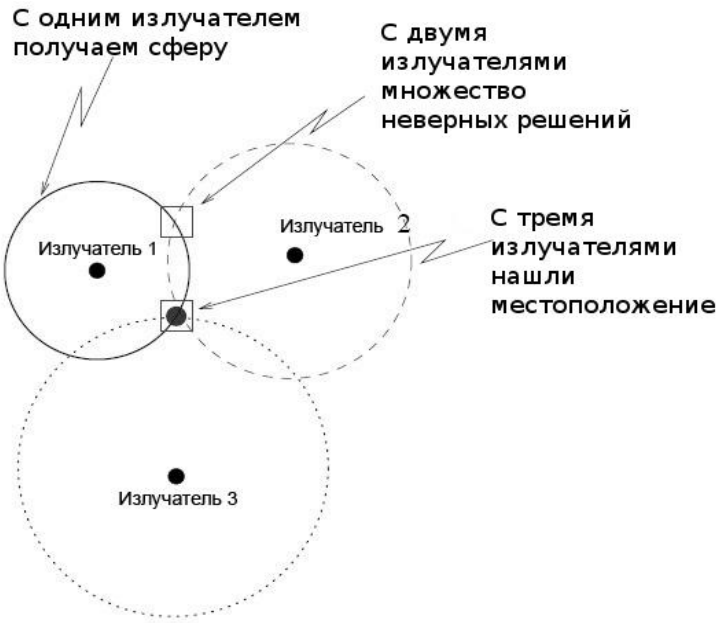


Рис. 1. Линейная пространственная засечка

Однако таким способом найти точное местоположение невозможно. Это происходит по причине того, что расстояние от спутника до приёмника найдено не точно: в подсчёте присутствуют различные неучтённые ошибки и задержки.

Под *ошибкой* будем понимать какой-либо сдвиг координат спутника или часов приёмника и спутников. *Задержка* − это ошибка, по причине которой изменилась скорость прохождения сигнала на каком-либо участке от спутника до приёмника.

На рис. 2 схематично показаны ошибки и их порядки. Более подробную информацию об ошибках и методах их исключений можно найти, к примеру, в [1, 2].

Рис. 2. Ошибки и их порядки

Для уменьшения влияния ошибок и для решения поставленной задачи был разработан *метод высокой точности для кинематических наблюдений* [3]. Основные идеи этого метода:

- использование фильтра Калмана [4, 5] для кинематической серии наблюдений в системе спутниковой навигации;
- в качестве физической модели использовать Ньютоновскую механику;
- в качестве измерений использовать данные с прибора со спутникового приёмника (псевдодальности) и данные с инерциальных датчиков;
- вектор состояний будет в себя включать 15 основных компонент: координаты, скорости, ускорения, углы поворота и вектор магнитного склонения;
- вектор измерений будет в себя включать псевдодальности, ускорения, угловые скорости, вектор магнитного поля;
- ковариационные матрицы будут диагональными, т.к. все величины считаются независимыми.

Данный алгоритм был реализован на языке программирования C++ при использовании библиотеки GPSTk, для которого были рассчитаны все параметры фильтра Калмана [6]. Псевдодальности в векторе измерений скорректированы в соответствии с теми ошибками и задержками, которые можно исключить (полностью или частично). Ионосферная задержка подсчитана при помощи модуля IonexModel. Реализованный метод, возможно, применять в любой спутниковой системе, т.к. программа использует общий формат получаемых данных RINEX (receiver independent exchange).

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Были проведены экспериментальные вычисления местоположения при помощи данного метода. В качестве прибора спутниковой навигации был исполь-

зован Ublox Antaris LEA-6T. В качестве инерциального датчика был использован IMU Sparkfun 9DOF (рис. 3 и 4).

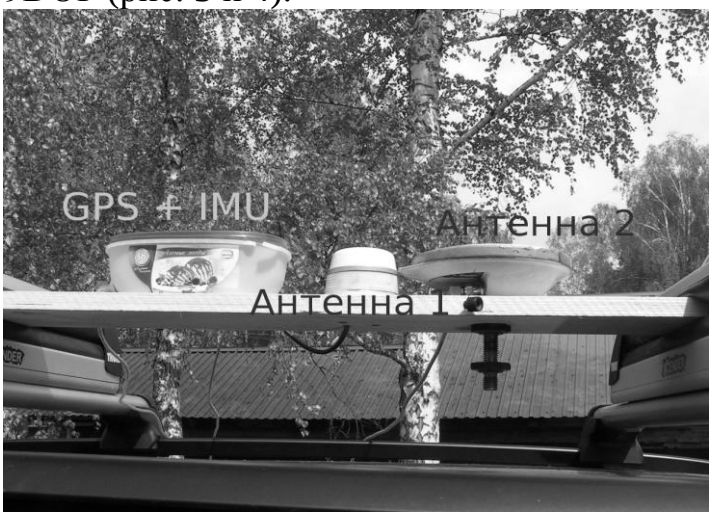


Рис. 3. Приёмник спутниковой навигации Ublox AntarisLEA-6T
и инерциальный датчик Sparkfun 9DOF

Рис. 4. Комплекс GPS+IMU, одночастотная антенна
и двухчастотная антенна на крыше автомобиля

Для оценки точности метода было подсчитано другое решение разностным методом при использовании двухчастотных приёмников. Для этого были выполнены измерения в относительном методе с помощью двухчастотной аппаратуры Trimble 5700. В этом случае, при использовании разностного метода, заявленная точность решения в кинематическом случае 50-60 мм.

Кроме того, был проведён выезд по пути, длиной 48 километров. Среднеквадратичное отклонение решения разработанного метода от решения, полученного при помощи двухчастотного приёмника, составило 72.2 сантиметра. При этом среднеквадратичное отклонение решения без использования инерциальных данных от решения, полученного при помощи двухчастотного приём-

ника, составило 96.4 сантиметра. Таким образом, использование инерциальных данных повышает точность позиционирования.

ВЫВОДЫ:

1. Работа посвящена разработке метода определения высокой точности для случая кинематических наблюдений с использованием одночастотного приёмника спутниковой навигации и инерциальных датчиков.

2. Особенностью данного метода является использование всех девяти параметров с инерциального датчика в сильной связи с данными с приборов спутниковой навигации.

3. Другой особенностью разработанного метода является низкие требования к оборудованию. Вследствие этого можно использовать более дешёвое оборудование. Поэтому данный метод можно применять в таких областях, как мобильная картография - в ситуации, когда бригады картографов достаточно большие, и каждому необходим приёмник и при этом точности порядка дециметра, как правило, достаточно.

4. Проведены полевые испытания этого метода, проведены сравнения с разностным методом на двухчастотном приёмнике - инерциальные датчики повышают точность позиционирования в среднем на 24 сантиметра в кинематическом случае.

5. Основное направление дальнейших работ - увеличение точности позиционирования при помощи одночастотных приёмников и проведение комплексных экспериментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alfred Leick, GPS Satellite Surveying // John Wiley & Sons, Inc. 2004.

2. Boonsap Witchayangkoon, Elements of GPS precise point positioning // Технологический университет имени Короля Монгкута, Банкок, 1992, университет Майна, 1997.

3. А. С. Щебраков, Д.Ю. Першин, Определение местоположения высокой точности для одночастотных приемников спутниковой навигации с использованием инерциальных датчиков // Новосибирский государственный университет, МНСК-2011.

4. Greg Welch and Gary Bishop, An Introduction to the Kalman Filter // Университет Северной Каролины в Чапел-Хилл, 2006.

5. Vanheeghe, GPS/IMU Data Fusion using Multisensor Kalman Filtering: Introduction of Contextual Aspects.

6. Открытая библиотека GPSTk [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gpstk.org/

© А.С. Щербаков, Д.Ю. Першин, 2013

УДК 528.44

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ МЕЖЕВАНИИ ЗЕМЕЛЬ

Адольф Георгиевич Малков
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного,10, доцент кафедры высшей геодезии, тел.(383)343-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

В статье рассмотрены вопросы экономической эффективности применения спутниковых систем при межевании земель.

Ключевые слова: спутниковые системы, эффективность применения.

FEASIBILITY OF SATELLITE SYSTEMS APPLICATION IN LAND SURVEYING

Adolf G. Malkov
Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo Ul., candidate of technical science, docent, docent of high geodesy department, tel. (383)3-43-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

The problems of economic efficiency of satellite systems application in land surveying are considered.

Key words: satellite system, efficiently application.

В настоящее время наряду с традиционными наземными методами, используемых при межевании земель, находят широкое применение технологии, основанные на совместном использовании спутниковых систем и электронных тахеометров. Учитывая особенности работы GPS – приемников в районах плотной многоэтажной застройки, когда затруднен прием спутниковых сигналов от ИСЗ, большую эффективность от применения геодезических спутниковых приемников можно получить при использовании комбинированных методов съемки с использованием электронных тахеометров.

Однако следует отметить, что максимальная отдача от применения спутниковых приемников, работающих в системах GPS и ГЛОНАСС, достигается при работе на больших объектах.

При оценке степени экономической эффективности проведения топографических съемок с использованием GPS приемников и тахеометров следует учитывать высокую стоимость оборудования, и их рентабельность может быть реализована лишь при больших объемах работы и продолжительной эксплуатации. По выполненным расчетам она может быть ниже при использовании традиционно набора геодезических приборов. Однако внедрение новой техники способствует значительному снижению трудоемкости полевых работ и качественной автоматизированной их обработки по известным программным комплексам.

© А.Г. Малков, 2013

УДК 528.48

ПЕРЕХОД НА МЕСТНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАБОТЫ В НЕЙ

Александр Сергеевич Аникин
ООО «Новосибирский инженерный центр», 630048, Россия, г. Новосибирск, начальник топографо-геодезической партии, тел. 8-952-927-31-64, e-mail: alexanik88@mail.ru

Александр Николаевич Тимофеев
ООО «Новосибирский инженерный центр», 630048, Россия, г. Новосибирск, кандидат технических наук, заместитель директора, тел. 8-913-373-21-84, e-mail: nica.nsk@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с выполнением топографо-геодезических работ в системе координат МСК НСО, установленной в отношении Новосибирской области.

Ключевые слова: Региональная система координат МСК – 54 НСО, сеть ПДБС-НСО, режима RTK.

CONVERSION TO LOCAL COORDINATE SYSTEM AND USING PERMANENT BASE STATION IN NOVOSIBIRSK REGION FOR WORKING IN THEM

Alexander S. Anikin
«Novosibirsk Enginiring Center», 630048, Russia, Novosibirsk, head of topographic and geodetic party, tel. 8-952-927-31-64, e-mail: alexanik88@mail.ru

Alexander N. Timofeev
«Novosibirsk Enginiring Center», 630048, Russia, Novosibirsk, candidate of technical science, the deputy director, tel. 8-913-373-21-84, e-mail: nica.nsk@mail.ru

In paper are considered questions of topographic and geodetic works using coordinate system MSK – 54.

Key words: local coordinate systems MSK – 54, permanent base stations, RTK.

Постановлением Администрации Новосибирской области № 471-па от 25 декабря 2009 г. устанавливается Местная система координат, в отношении территории Новосибирской области [1], а постановлением № 608-п от 28 декабря 2011 г. она введена в действие [2]. Целью установления МСК НСО является «повышение оперативности и точности преобразований координат (прямо и обратно) из государственной (СК-95) в региональную систему координат Новосибирской области для проведения на территории Новосибирской области геодезических и топографических работ при выполнении инженерных изысканий, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ, включая применение глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) на территории Новосибирской области».

С 2011 года в Новосибирской области введена в эксплуатацию сеть постоянно действующих базовых станций ГЛОНАСС-GPS на территории НСО (далее ПДБС-НСО). На данный момент работают 19 станций, расположенных на удалении примерно 40-80 км друг от друга, располагающихся, как правило, в районных областных центрах [3].

Эти два события направлены на обеспечение высокой точности определения пространственного положения объектов недвижимости и границ земельных участков, формирования основы для создания единой электронной картографической продукции регионального назначения, оперативности проведения на территории Новосибирской области геодезических и топографических работ, а также для формирования и обеспечения использования наземной инфраструктуры областного сегмента глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Новосибирской области

Региональная система координат МСК НСО обеспечивает единое координатное пространство на территории области, равно как позволяет делать переход на единую координатную основу Российской федерации. Развернутая сеть постоянно действующих базовых станций ГЛОНАСС-GPS на территории НСО позволяет обеспечить эффективную работу геодезистов в системе координат МСК НСО.

Решение этой задачи встречает ряд трудностей, главная из которых деформация систем координат СК-42 и СК-95. Существующий огромный топографо-геодезический материал выполнен в различных системах координат, являющимися производными от СК-42, для работы в этих системах используются пункты плановой сети, также определенных в СК-42. Кроме того в силу режимности координат геодезических пунктов в системах СК-95 и СК-42, а также ключей перехода и параметров их преобразования проблематичным становится использование прогрессивного режима RTK при полевых работах.

Первая проблема возникает в связи с ограниченной точностью измерений, выполненных ранее при создании государственных геодезических сетей (ГГС). Ошибки положения пунктов ГГС могут достигать десятки сантиметров. Таким образом, для перевода картографического материала или координат каких-либо объектов из системы координат г. Новосибирска, основанной на СК-42 в МСК НСО, основанной на СК-95 необходимо определить на локальном участке, в частности на территорию г. Новосибирска, параметры связи между СК-42 и СК-95, иначе говоря определить локальную деформацию системы СК-42 относительно СК-95.

Для получения параметров связи двух систем координат, требуется наличие пунктов (точек), координаты которых известны в обеих системах. Для определения параметров на территорию г. Новосибирска были взяты 16 вспомогательных точек рабочих центров каркасной сети ПДБС города. Эти пункты расположены по периметру города. В Управлении Росреестра по Новосибирской области были получены координаты этих пунктов в системах СК-42 и СК-95. Далее в программе ТРАНСКОР, компании «Кредо-Диалог», были определены

параметры связи геоцентрических систем СК-42 и СК-95 по данным точкам методом ортогонального преобразования. Такой метод, согласно «Руководству пользователя в СК-95» [4], приводит к наименьшим общим смещениям и одновременно наименьшим внутренним деформациям, свойственным СК-42 относительно СК-95. Координаты используемых пунктов, параметры пересчета и другие результаты преобразований хранятся в техническом отчете в режимном отделе ООО «НИЦа». Схема определения параметров связи СК-95 и СК-42 приведена на рис. 1.

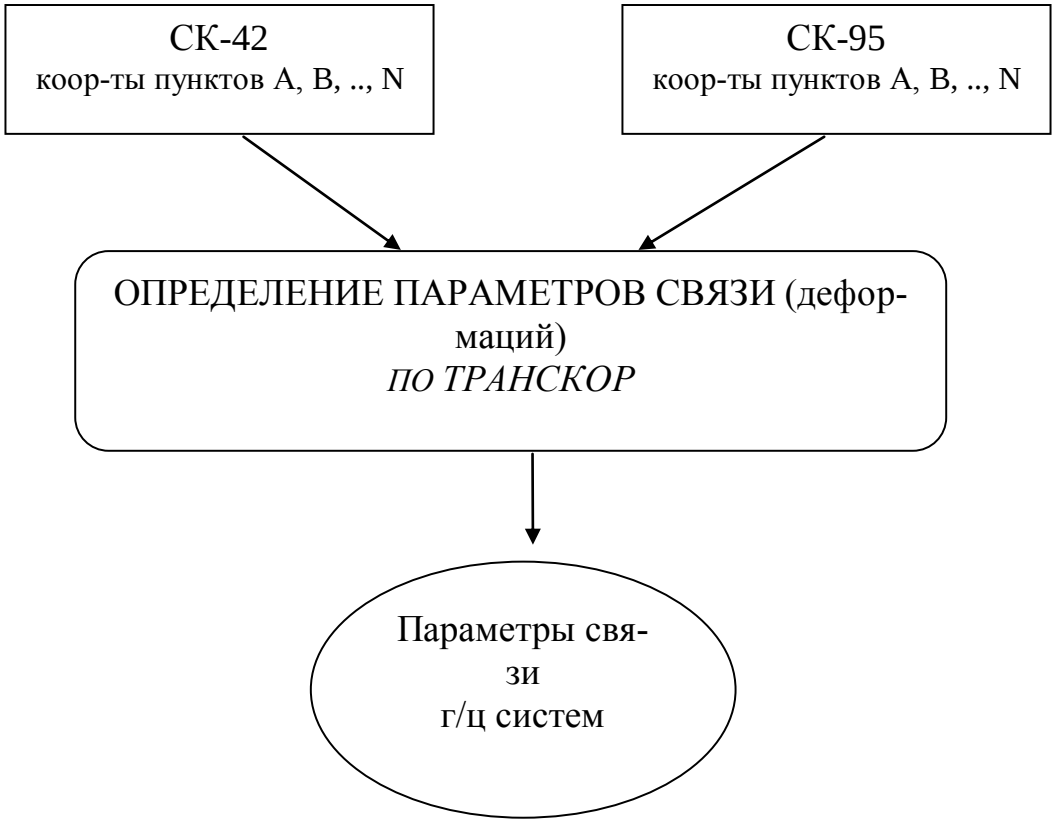


Рис. 1. Схема определения параметров связи систем координат СК-42 и СК-95

Имея параметры связи СК-42 и СК-95 на конкретном локальном участке, появляется возможность связывать «напрямую» и системы координат, являющимися производными от этих ГСК. При этом есть возможность перевода не только координат пунктов, а так же и графического материала, например, планшетов различного масштаба в растровом виде. Схема определения координат объектов в новых системах координат, основанных на СК-95, приведена на рис. 2.

Как уже отмечалось, в г. Новосибирске необходимо выполнять работы в новой системе координат МСК НСО. Так как она есть производная от СК-95, то появляется возможность эффективного использования базовых станций при работе в этой системе. Встает задача определения параметров связи между СК-

95 и МСК НСО. Аналогично схеме приведенной на рисунке 1 такие параметры были найдены. Для этого были использованы пункты триангуляции на некоторую территорию, координаты которых взяты в управлении Росреестра в системах СК-95 и СК НСО. Различие нахождения параметров связи лишь в том, что в данном случае определялись параметры между плоскими системами координат Гаусса-Крюгера (а не геоцентрическими): СК-95 и МСК НСО. Программное обеспечение ТРАНСКОР позволяет определить долготу осевого меридиана и сдвиг действительного начала МСК НСО. Согласно постановлению [1], именно эти параметры и являются ключами перехода к МСК НСО. Поскольку в Постановлении указано, что МСК НСО разделена на 4 одинаковые трехградусные зоны с одинаковым сдвигом действительного начала в каждой из них, то без труда становится возможным определить параметры связи с СК-95 для каждой из зон.

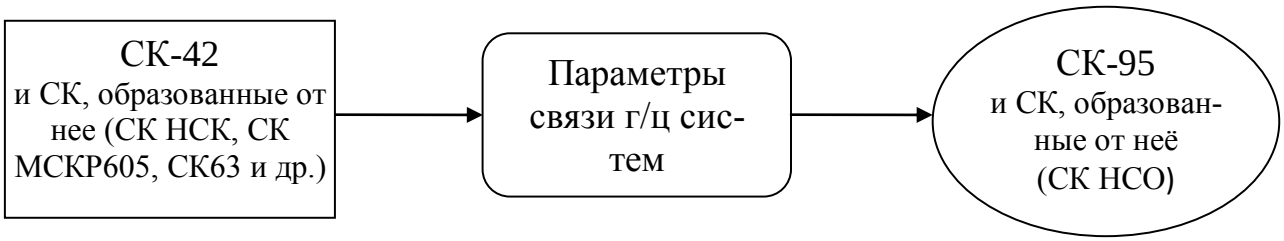


Рис. 2. Схема перевода координат из систем, основанных на СК-42 в системы, основанные на СК-95

Таким образом, в настоящее время, имея в Новосибирске координаты пунктов в любой системе координат, основанной на СК-42, мы можем перевести их в систему координат МСК НСО. Выполнение геодезических изысканий и выдача готового материала, с использованием материалов прошлых лет, сводится к следующему:

1. Создать съемочное обоснование с использованием ПДБС, существующих в Новосибирске (лучше – нескольких сразу) и выполнить необходимые измерения (съемку);

2. Обработать данные спутниковых измерений в МСК НСО, уравнять результаты тахеометрических измерений с использованием в качестве исходных пунктов определённые точки в МСК НСО;

3. Если на территорию изысканий имеются картматериалы прошлых лет в какой-либо системе (как правило в Новосибирске – в системе NSK), то следует перевести их по известным параметрам в МСК НСО;

4. Согласовать результаты полученных измерений и ранее выполненных съемок (поднять подземные коммуникации и проч.)

Проведя описанные измерения, найдя параметры связи систем координат для г. Новосибирска, появляется возможность работать в необходимой СК с использованием режима RTK (Real Time Kinematic) спутниковой аппаратуры.

ПДБС-НСО имеют возможность в режиме реального времени передавать поправки в определение местоположения пользователю через протокол GPRS (беспроводной мобильный интернет). В любом контроллере спутникового оборудования имеется возможность задавать и редактировать системы координат. Остается лишь ввести в контроллер вычисленные параметры связи местных и государственных СК, затем задать связь государственной референцной СК и системой WGS-84, и выполнять необходимые работы, будь то вынос в натуру или съемка ситуации и рельефа. Но при этом возникает проблема, связанная с режимными ограничениями, относящимися к параметрам перехода, поскольку в контроллер необходимо будет вводить параметры связи с системой СК-95 (или СК-42), которая является на сегодняшний день секретной.

Для решения этой проблемы предлагается следующее. По найденным параметрам связи систем координат мы имеем возможность для г. Новосибирска пересчитать координаты какого-либо объекта сначала в систему СК-95. Затем, на локальном участке следует определить параметры связи геоцентрических координат WGS-84 и СК-95. В качестве локального участка была выбрана вся территория НСО. Для определения этих параметров были использованы координаты пунктов ПДБС-НСО в этих двух системах.

Найдя параметры связи WGS-84 и СК-95, мы можем, таким образом, перевести координаты объектов уже из любой местной СК Новосибирска в систему WGS-84.

Зафиксировав координаты базовых станций в системе WGS-84, мы получаем возможность выносить в натуру объекты в режиме RTK.

Например, необходимо вынести в натуру границы участка в г. Новосибирске, координаты которого имеются в системе координат NSK. В режимном отделе мы переводим эти координаты в СК-42, затем в СК-95, затем в WGS-84, которая является открытой для пользователя. Полученные координаты вводим в контроллер в виде геодезических координат B, L, и выполняем вынос в натуру. При этом в контроллере могут отсутствовать какие-либо параметры связи каких-либо СК, что позволяет уйти при работе в полевых условиях от проблем, связанных с режимными ограничениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «О местной системе координат, устанавливаемой в отношении Новосибирской области. Постановление администрации Новосибирской от 25.12.2009. области №471-па» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.regionz.ru/index.php?ds=477347. – Загл. с экрана.

2. «О введении в действие местной системы координат Новосибирской области. Постановление от 28 декабря 2011 г. № 608-п» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.regionz.ru/index.php?ds=1464123. – Загл. с экрана.

3. Сеть наземных базовых станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://geossga.gisn.ru/. – Загл. с экрана.

4. ГКИНП (ГНТА)-06-278-04. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). [Текст]. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 138 с.

© А.С. Аникин, А.Н. Тимофеев, 2013

УДК 539.3: 624.04

ВЫПРАВКА ПУТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ГНСС

Владимир Васильевич Щербаков
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук 187, кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерная геодезия», заведующий лабораторией «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Научно-инженерного дорожного центра СГУПС, тел. (383)328-05-91, e-mail: vvs@stu.ru

Рассмотрены существующие технологий постановки пути в проектное положение, выполнен сравнительный анализ и предложены современные методы и системы автоматизированного управления постановки пути в проектное положение с использованием ГИС-технологий и ГНСС (ГЛОНАСС/GPS).

Ключевые слова: выправка пути, постановка пути в проектное положение, координатные методы, ГЛОНАСС, GPS, сглаживание, реконструкция, рельсовая колея, системы автоматизированного управления.

THE TECHNOLOGY AND DEVICES FOR DETERMINING THE GEOMETRICAL PARAMETERS IN THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF HIGHWAYS

Vladimir V. Shcherbakov
The citizen of the Russian Federation The candidate of technical science, associate professor, the head of sub-faculty «Engineering geodesy» of Siberian State University of Railway Transport, The service address: 630049, Russia, Novosibirsk, Dusi Kovalchuk, str. 187, STU, phone: (383)328-05-91, e-mail: vvs@stu.ru

Existing methods shortcomings and facilities for determining the flatness of the road surface were examined. Universal Road Curvometer (URC "Rovnost") is presented. It was developed in Siberian State University of Railways based on the coordinate method for determining the geometrical parameters.

Key words: bearing of a railway, statement railway way to the design position, coordinate methods, GLONASS, GPS, smoothing, reconstruction, rail track, automated control system.

Выправка пути - один из наиболее трудоёмких процессов и в тоже время наиболее значимый, так как от качества выправки пути зависят эксплуатационные характеристики (плавность хода, скорость и т.д.), безопасность движения, затраты на текущий ремонт и содержание. Выправка пути производится при всех видах ремонта, реконструкции и новом строительстве. Выправка пути характеризуется как технологический процесс перемещения рельсовых нитей рельсо-шпальной решетки (РШР) в поперечных по отношению к оси пути горизонтальном и вертикальном направлениях из натурного положения, характеризуемого отступлениями от допусков и норм содержания, в другое, также натурное положение, характеризуемое отсутствием указанных отступлений, при этом натурное положение пути в общем случае характеризуется:

- наличием неровностей (изолированных или периодических), определяемых как плавно изменяющиеся вдоль пути отклонения рельсовых нитей в вер-

тикальной и горизонтальной плоскостях от некоторого усредненного положения, характеризуемого геометрически определенной линией (прямой, переходной или круговой кривой);

- наличием общего отклонения срединного положения рельсовых нитей относительно их проектного.

Приведенные данные нормируются и оцениваются в продольном профиле, плане, по уровню и расстоянию между рельсовыми нитями, требованиями ПТЭ (правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, ЦРБ-756), СТН-Ц-1-95 (Строительно-технические нормы МПС РФ Железные дороги колеи 1520мм), инструкциями ЦП-774 (инструкция по текущему содержанию пути) и ЦРБ-393 (инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов). При проведении контроля геометрии пути в процессе эксплуатации по положению средних (расчётных) линий путеизмерительными вагонами выявляются отступления от норм содержания, которые необходимо устранить.

Цель технологической операции выправки рельсовой нити, показанной условно линией (рис. 1), заключается в ее смещении в сечениях с заданным «шагом» вдоль пути по направлению и на величины, показанные стрелками, до положения линии 3. При таком смещении: происходит уменьшение отклонений положения 1 рельсовой нити относительно срединного натурного положения 2 и при этом уменьшаются соответственно разности отклонений в соседних вдоль пути сечениях. Повышается плавность в положении рельсовой нити вдоль пути. Такой процесс выправки пути, когда происходит общее смещение срединного положения из положения 1 в положение 2 (рис. 1) рельсовой нити, называют сглаживанием. Если такое смещение происходит в горизонтальной плоскости, то его называют сдвигом, а в вертикальной плоскости - подъемкой (движение вверх) или осаживанием (движение вниз, например, при динамической стабилизации балластного слоя стабилизатором). При смещении натурного положения рельсовой нити из положения 1 в положение 3 (рис. 1) достигается постановка пути в проектное положение.

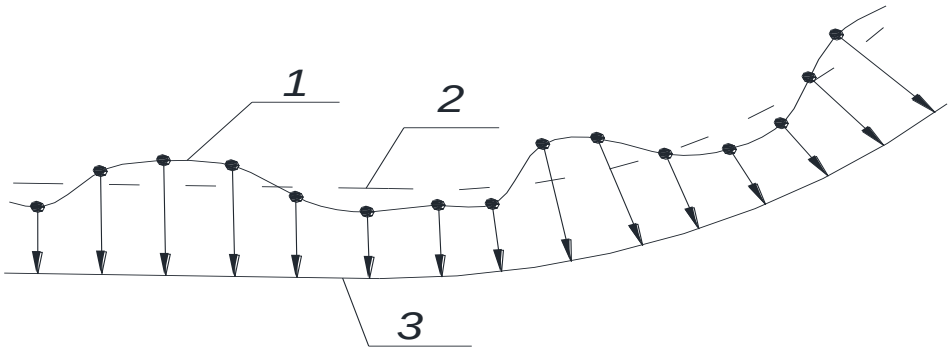


Рис. 1. Методы выправки пути

На практике работы выполняются в зависимости от назначения выправки. Так, например, при текущем содержании выполняется выправка путём сглаживания, т.е. рельсовая нить смещается (рис. 1) из натурного положения 1 в натурное положение 2. При этом натурное положение 2, как правило, не совпадает с проектным положением 3. В последние 30 лет не уделялось должного внимания на «увод» пути с проектного положения. Главной задачей в соответствии с требованиями по содержанию пути является обеспечение плавности хода. Такой подход привёл путь в настоящее время к тому, что появились многорадиусные кривые, длинные неровности в плане (заводины), длинные неровности в профиле (лощины). Недостаток такого подхода выправки при реконструкции и ремонтах проявляется на этапе работ по содержанию рельсовой колеи. Так, длинные неровности в плане и профиле, ограничивают скорость движения, способствуют увеличению расстройства пути и износу рельсов, усилению концентрации значений напряженно-деформированных рельсовых плетей на локальных участках. При этом многорадиусные кривые также как и длинные неровности являются причиной расстройства пути, более ускоренного износа рельсов, ограничения скоростей, связанных с превышением нормирующих показателей непогашенного ускорения, и все эти факторы в совокупности негативно влияют на безопасность движения. Кроме того метод сглаживания приводит к нарушениям габаритов приближения строений.

Недостатки сглаживающих систем являются принципиальными, т.к. ограничивают их функциональные возможности в целом и без комплексирования с системами управления выправкой пути, созданными на базе координатных методов, и соответственно пространственных данных не эффективны и не имеют перспективы развития. При этом в настоящее время практически весь парк выправочных машин типа ВПР, ВПО, Дуоматик и другие оснащен хордовыми (сглаживающими) системами. Кроме того, путеизмерительные вагоны типа КВЛП и ЦНИИ-4 также оснащены хордовыми системами измерений.

Второй тип измерительных систем выправки пути основан на использовании неподвижной относительно пути измерительной базы. Системы, реализующие методы выправки, связанные с использованием неподвижных относительно пути баз - линий визирования, называются системами, работающими по методу постановки пути в фиксированные точки, или системами, работающими по методу фиксированных точек. Неподвижная базовая линия визирования в зависимости от конструктивных особенностей системы может быть выполнена в виде оптической оси, лазерного модулированного в горизонтальной и (или) вертикальной плоскости луча и т.д. Выправка пути по прямой неподвижной базовой линии отчёта значительной протяженности позволяет измерить и устранить длинные неровности в плане (заводины) и профиле (лощины).

Методы и СУВП, основанные на фиксированной базе, могут быть использованы как в режиме сглаживания, так и постановки пути в проектное положение. Если оптический прибор или лазерный построитель плоскости не привязан к геодезической системе координат или проектным параметрам, то выправка выполняется из натурного положения 1 в натурное положение 2 (рис. 1). Если

лазерные построители плоскости или другие средства измерений имеют геодезическую привязку в системе координат проекта, то выполняется перемещение пути из натурного положения 1 в натурное положение 3 (рис. 1). В отличие от сглаживающих методов на подвижной хорде данный метод позволяет избежать появления длинных неровностей в плане и профиле. Практическая реализация данных методов показывает эффективность их применения при выправке пути. В качестве примера можно привести систему EM- SAT. Электронная аппаратура системы EM-SAT размещается в измерительном вагоне и на специальной самоходной тележке. Опыт использования этих системы получен на железных дорогах Германии (DBAG), Австрии и в Италии.

Создание опорной оптической оси в вертикальной и горизонтальной плоскости широко применяется в настоящее время при планировочных работах, профилировании земляного полотна на бульдозерах, автогрейдерах, экскаваторах и др. строительной технике. Проблема постановки пути в проектное положение на железных дорогах ОАО «РЖД» заключается в том, что проекты создаются в относительных величинах. Наиболее распространенным в настоящее время методом постановки пути в проектное положение является измерение и сравнение текущего расстояния между осями выправляемого и соседнего пути с проектными данным из эпюры рихтовок, путем вычисления их разности и сдвижки пути на эту разность, т.е. проектную величину. Недостатки очевидны, они связаны с относительными методами измерений. Это длинные неровности в плане и в профиле, т.к. рихтовочный путь (рельсовая нить), от которого выполняются измерения, в течение времени изменяет пространственное положение под действием динамических нагрузок. На момент выполнения ремонтных работ железнодорожный путь не соответствует пространственному положению в период проектирования. Решением задачи постановки пути в проектное положение с высоким качеством является использование координатных методов. Сущность этих методов заключается в сравнении текущих координат натурного положения выправляемого пути с проектным. Сравнение может выполняться непрерывно или дискретно в зависимости от САУ и аппаратно-программной реализации выправки пути. В странах Европы наиболее широкое применение получил координатный метод, в основе которого лежит создание искусственной опорной линии вдоль ремонтируемых путей в виде копир-струны (см. рис. 2).

Копир-струна натягивается на держатели, которые имеют геодезическую привязку к пунктам реперной геодезической сети через определенный интервал 10 – 50 м. Это наиболее точный метод постановки пути в проектное положение, в то же время наиболее трудоемкий и затратный.

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС) в сентябре 2008 г. впервые в России разработал и совместно с ОПМС- 19. провел испытания системы управления выправкой пути (СУВП) на базе ГНСС (ГЛОНАСС/GPS). На рисунке 3 показан внешний вид ЭЛБ-4С, а на рис. 4 функциональная схема САУ ЭЛБ-4С. Принципиальным отличием, разработанной в СГУПС САУ для строительных железнодорожных машин является наличие

систем контроля пространственного положения рабочих органов ПРУ относительно фазового центра спутниковой антенны.

Рис. 2. Копир-струна

Рис. 3. Внешний вид электробалластера ЭЛБ -4С

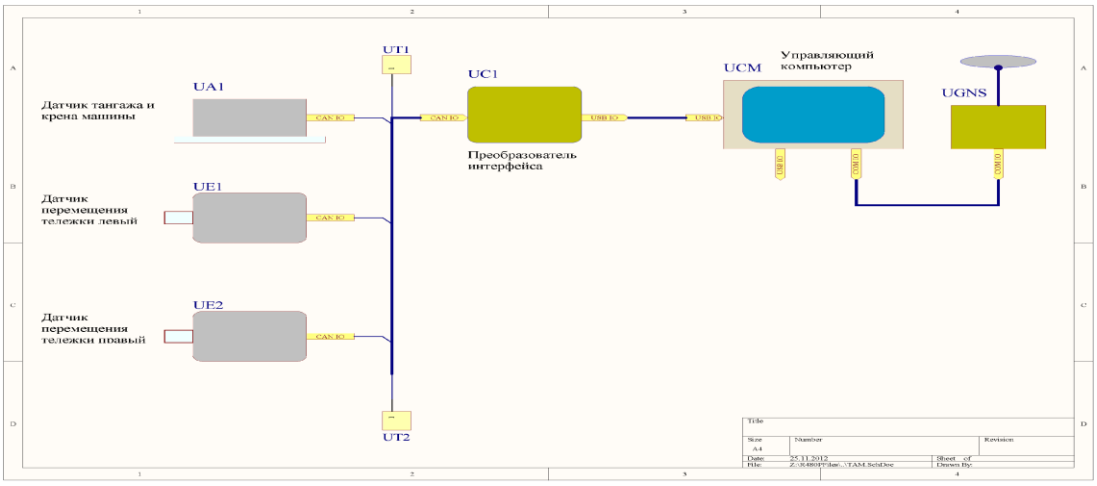


Рис. 4. Функциональная схема ЭЛБ-4С

САУ такого типа значительно сложнее в сравнении с САУ жестко связанных с рабочими органами, например САУ бульдозера.

Всего СГУПС разработал, изготовил и испытал два типа САУ на четыре путевые машины, включая три щебнеочистительные и одну выправочную машину отечественного и импортного производства. Это направление является наиболее перспективным и развивающимся с нарастающей динамикой. Опыт, полученный при создании СУВП на базе ГНСС для железнодорожной строительной техники, позволяет создавать комплексные технологии по реконструкции пути, использующиеся на всех этапах реконструкции от планировочных работ до постановки пути в проектное положение и исполнительных съемок.

На рис. 5 показан общий вид щебнеочистительной машины RM 2002 и схема размещения оборудования САУ. Машина предназначена для глубокой вырезки балласта, САУ обеспечивает вырезку в соответствии с проектом, включая глубину вырезки по фактическим и проектным высотным отметкам, планировку по поперечным уклонам итд.

Рис. 5. Внешний вид щебнеочистительной машины, оборудованной САУ

Рис. 6. САУ ЩОМ на базе ГНСС

Преимуществом СУВП на базе ГНСС является возможность полной автоматизации процесса выправки пути, комплексирования с базовыми системами управления выправкой пути, установленными на путевых машинах, обеспечение единства измерений и отказ от разбивочных работ и геодезического сопровождения в процессе ремонта (модернизации) железнодорожного пути. По точности СУВП, созданные на базе ГНСС (ГЛОНАСС/GPS), пока уступают лазерным построителям плоскости и особенно СУВП, включающих копир–струну, при этом по производительности работ и трудоемкости имеют лучшие показатели. На рис. 7 показано главное окно оператора ЩОМ.

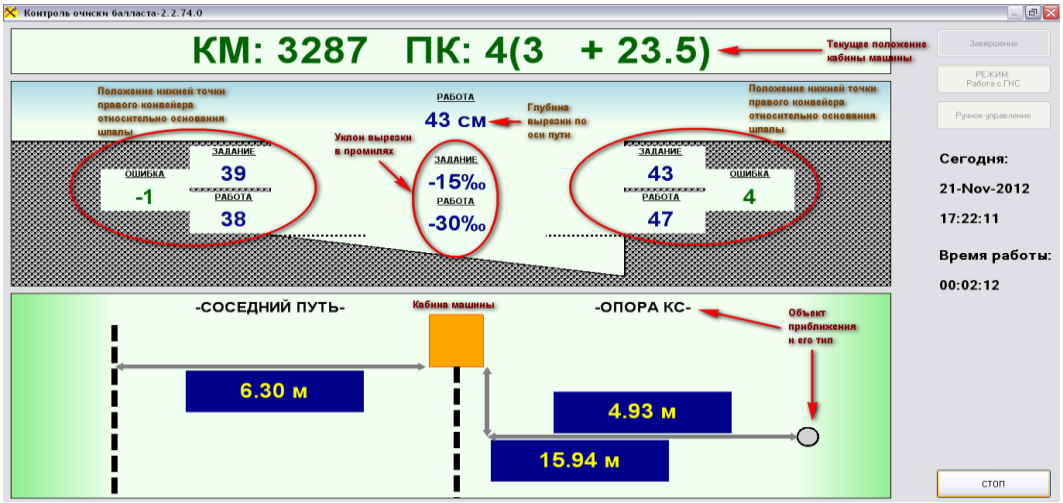


Рис. 7. Главное окно оператора ЩОМ

Из приведенного рисунка видно, что кроме служебной информации САУ на базе ГНСС, обеспечивает оператора машины данными о габаритах приближения строений, что позволяет на действующем пути обеспечивать безопасность движения поездов.

Учитывая, что в соответствии с постановлением президента компании В.И.Якунина №2511 от 03.12.2010 г. «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» ОАО «РЖД» переходит на координатные методы проектирования, ремонтов и эксплуатации, железных дорог разработки САУ на базе ГНСС, выполненные в СГУПС будут востребованы.

© В.В. Щербаков, 2013

УДК: 528.344:629.783

К ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЙ ПУНКТОВ ПДБС НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЫСОТ

Николай Кириллович Шендрик
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, заведующий лабораторией космической геодезии кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59, e-mail: snk_aig@mail.ru

Выполнены расчеты и оценка точности положений пунктов постоянно действующих базовых станций в Новосибирской области (ПДБС НСО) в государственной системе координат (СК-95) и высот (БСВ-77), образующих фрагмент из 19 пунктов геодезической сети регионального масштаба. Рассмотрены варианты высотной привязки в пределах данной геодезической сети без использования и с использованием глобальных моделей геоида. Предложен вариант единого ключа преобразования из геоцентрической системы ITRF2005 к государственной системе координат и высот.

Ключевые слова: оценка точности**,** постоянно действующие базовые станции (ПДБС), государственные системы координат СК-95 и высот БСВ-77, геоцентрическая система координат ITRF2005, ключ преобразования координат, калибровочный участок.

ACCURACY OF POINTS LOCATION OF NOVOSIBIRSK REGION FIRST-ORDER STATIONARY BASE STATIONS IN NATIONAL SYSTEM OF COORDINATES AND HEIGHTS

Nikolai K. Shendrik
Head of the Laboratory of Satellite Geodesy, Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo st., 630108, Russia, Novosibirsk, phone: 383 3610159, e-mail: snk_aig@mail.ru

Calculation and accuracy assessment was made for points location of stationary base stations (CPHC) on Novosibirsk region territory in national coordinate (CK-95) and height (Б-1977) system. The author offers the uniform key for this fragment of the geodetic network. It provides transition from the global reference system (ITRF) to the national coordinate and height system.

Key words: estimation of precision, permanent base stations, national coordinate (CK-95) and height (Б-1977) system, geodetic coordinate system ITRF2005, key of the transformation coordinates, region calibration.

С 1 января 2012 г. на территории Новосибирской области введена новая местная система координат (МСК НСО). Новая местная система координат призвана решить задачи повышения точности и унификации координатного геодезического обеспечения на территории Новосибирского региона. В основу МСК НСО положена государственная система координат СК-95. В качестве основных носителей новой местной системы региона наиболее целесообразно рассматривать сеть пунктов постоянно действующих базовых станций СРНС (ПДБС НСО). Первая очередь из 19 ПДБС уже развернута и функционирует. Вторая очередь из 12 пунктов будет введена в ближайшее время. В связи с

этим и возникает, собственно, вопрос о точности координат для данной сети пунктов ПДБС в СК-95, а также их высот в БСВ-77. В данной работе анализ точности выполнялся для фрагмента сети первой очереди ПДБС НСО [1], схема которой приведена ниже на рис. 1.

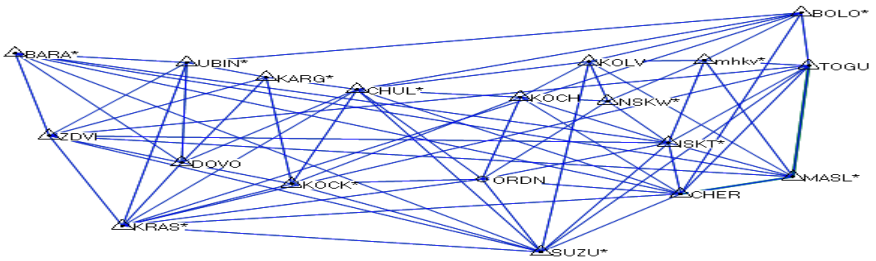


Рис. 1. Схема геодезической сети ПДБС НСО первой очереди

Для пунктов ПДБС данной сети была выполнена геодезическая привязка в плане и по высоте с ближних пунктов государственной геодезической сети (ГГС). Привязка выполнялась радиальным методом. Точность привязки пунктов ПДБС к сети ГГС из уравнивания по внутренней сходимости составила ±0.009÷0.059 метра (смотри приложение 1).

В дальнейшем были рассмотрены и реализованы следующие задачи (этапы исследования):

1. оценка точности координат и высот пунктов ПДБС НСО из анализа вариантов с разным числом исходных пунктов и с различными моделями глобального геоида в государственной системе координат и высот;

2. сравнение результатов из вариантов уравнивания со значениями, фактически полученными из геодезической привязки к пунктам ГГС;

3. создание единого ключа преобразования координат и высот пунктов из системы ITRF2005 к СК-95 и Б-1977 (методика №1);

4. создание калибровочного участка для геодезической сети из 19 ПДБС НСО (методика №2);

5. сравнение точности преобразований координат и высот пунктов ПДБС НСО из системы ITRF2005 к государственной системе координат (СК-95) и Балтийской системе высот 1977 года, выполненным по двум методикам.

6. основные выводы и рекомендации.

На первом и втором этапах были выполнены варианты уравнивания рассматриваемой сети с фиксацией координат и высот 3-х (Болотное (BOLO), Сузун (SUZU), Барабинск (BARA)) и 4-х (Болотное, Маслянино (MASL), Краснозерское (KRAS), Барабинск) пунктов ПДБС в качестве исходных. Для этих вариантов были выполнены исследования с моделями геоидов, а именно: без модели геоида, и с глобальными геоидами DMA10x10, OSU91A, EGM-96, EGM2008-25 и EGM2008-1. Некоторые варианты сравнения результатов вычислений приведены в приложениях 2 и 3.

Анализ результатов вычислений для 1 и 2 этапов показал что:

- точность координат по внутренней сходимости из уравнивания с разным количеством исходных пунктов хорошо согласуется с оценкой точности из прямого сравнения, то есть с фактически полученными координатами из привязки к пунктам ГГС (см. приложения 2 и 3) и оценивается порядком величин ±0.02÷0.05 метра;

- применение разных моделей глобального геоида или его отсутствие показало наличие заметных различий в вычислении отметок высот пунктов. Результаты вычислений показаны ниже в таблице 1. При этом в координатах x, y (в плане) существенных изменений не выявлено (пример для модели DMA10x10 см. в табл.1). Следует отметить хорошее согласование результатов с данными из геодезической привязки для моделей EGM2008-25 и EGM2008-1. Расхождения для этих моделей геоида между собой находятся в пределах ±0.001÷0.002 метра. На 3 и 4 этапах расчетов всегда применялась модель геоида EGM2008-25.

Таблица 1

Разности координат и высот пунктов из уравнивания
без модели геоида и с глобальными моделями геоида

№ п/п	Имя точки	В плане (м)		По высоте (м)				
		DMA 10x10		DMA 10x10	EGM-96	EGM08-25	EGM08-1	SU91A
		dX	dY	dH	dH	dH	dH	dH
1	BARA	-0.001	0.000	0.528	-0.188	-0.091	-0.091	0.920
2	BOLO	-0.001	0.010	-0.444	-1.131	-0.843	-0.843	-0.426
3	CHER	-0.003	0.014	0.439	-0.685	-0.386	-0.387	-0.148
4	CHUL	-0.002	0.004	-0.139	0.125	0.438	0.437	0.600
5	DOVO	0.002	0.004	0.612	-0.053	-0.171	-0.170	0.807
6	ISKT	-0.001	0.013	0.168	-0.318	-0.178	-0.177	0.043
7	KARG	-0.001	0.004	-0.161	-0.335	-0.061	-0.060	0.409
8	KOCH	-0.001	0.000	-0.114	-0.155	0.335	0.335	0.071
9	KOCK	0.002	0.000	0.429	-0.016	0.035	0.035	0.924
10	KOLV	-0.001	-0.001	-0.304	-0.666	-0.438	0.437	-0.274
11	KRAS	0.003	0.002	1.206	-0.327	-0.358	-0.356	0.733
12	MASL	-0.001	-0.003	0.374	-0.788	-0.526	-0.524	-0.316
13	MHKV	-0.002	0.007	-0.265	-0.872	-0.392	-0.392	-0.483
14	NSKW	-0.001	0.008	-0.076	-0.542	-0.065	-0.065	-0.173
15	ORDN	0.000	0.005	0.354	-0.152	-0.019	-0.017	0.246
16	SUZU	-0.005	-0.004	0.727	-0.582	-0.622	-0.622	-0.164
17	TOGU	-0.002	-0.007	-0.179	-0.494	-0.221	-0.221	-0.088
18	UBIN	-0.001	0.001	0.036	-0.502	-0.280	-0.279	0.329
19	ZDVI	0.002	0.001	0.939	-0.313	-0.151	-0.152	0.465
Min=		-0.005	-0.007	-0.444	-1.131	-0.843	-0.843	-0.483
Max=		0.003	0.014	1.206	0.125	0.438	0.437	0.924
Med=		-0.001	0.003	0.217	-0.421	-0.210	-0.210	0.183
Sko=		0.002	0.006	0.456	0.321	0.306	0.306	0.462

На третьем этапе по методике автора были вычислены параметры единого ключа преобразования координат и высот из системы координат ITRF2005 в СК-95 и БСВ-77 на весь фрагмент из 19 ПДБС НСО. Все вычисления отнесены к 14-ой шестиградусной зоне в проекции Гаусса-Крюгера на эллипсоиде Красовского. Координаты пунктов сети ПДБС НСО в ITRF2005 были получены из минимально ограниченного уравнивания с фиксацией координат в плане и по высоте исходного пункта NSKW (Новосибирск). Точность расчета положений пунктов в системе ITRF2005 оценивается величинами порядка ±0.010÷0.015 метра [1]. Координаты и высоты пунктов ПДБС НСО в государственной системе координат и высот взяты по факту из геодезической привязки для 12 пунктов ПДБС НСО. На схеме сети (см. рис. 1) названия этих пунктов дополнены символом «*». Результаты сравнения вычисленных по ключу с фактическими значениями из привязки к пунктам ГГС в виде разностей координат и высот для 18 пунктов сети ПДБС НСО представлены ниже в табл. 2. Из них 6 пунктов (в обозначениях на схеме это пункты ZDVI, DOVO, ORDN, KOCH, KOLV, CHER) не участвовали в вычислении ключа и являются независимыми контрольными пунктами. Средняя квадратическая погрешность для выборки из 18 пунктов в целом составила в плане ±0.061 метра, по высоте ±0.049 метра, а максимальные амплитуды в разностях координат в пределах ±0.09 метра и высот ±0.12 метра.

На четвертом этапе решалась задача по созданию калибровочного участка для данной геодезической сети ПДБС НСО, то есть, аналогичная этапу 3, но по стандартной методике в среде ПО «Trimble Business Center». По аналогии с этапом 3 здесь также были вычислены разности координат и высот между фактическими данными и данными, полученными по калибровочному участку. Результаты по 3 и 4 этапам сведены в общую таблицу 2. При расчетах по обеим методикам согласующим параметром являлся масштаб для длин линий геодезической сети.

Как видно из таблицы 2, результаты, полученные по ключу и с использованием калибровочного участка, достаточно хорошо согласуются как по значениям разностей координат и высот для пунктов сети ПДБС, так и по статистическим параметрам оценки точности для анализируемой выборки величин: по амплитуде разброса минимальных и максимальных значений, по значениям медианы, по средним квадратическим погрешностям (Sko), как по одномерным выборкам, так и в обобщенном трехмерном пространстве (3D). Важно отметить качественные показатели разностей по координатам и высотам для 6 контрольных пунктов ПДБС, которые не только по знаку, но и по значениям разностей являются хорошо согласованными величинами как в самой выборке, так и при вычислении по двум разным методикам.

Всё, выше сказанное, позволяет сделать достаточно объективные выводы о точности реализации посредством сети ПДБС системы координат СК-95 и системы высот БСВ-77, а значит и новой местной системы координат МСК НСО. По нашим оценкам потенциальная точность МСК НСО для сети ПДБС может составлять ±0.05÷0.06 метра (СКП) как в плане, так и по высоте. Но такая точность для первичных носителей системы координат и высот, которыми

являются пункты ПДБС НСО, является уже недостаточной. Для решения научно-производственных задач на современном этапе с помощью спутниковых технологий необходимо повысить точность этой сети до уровня системы ITRF. И эта задача может быть вполне реализуемой. Для этого в МСК НСО следует положить в основу вместо СК-95, систему ITRF, зафиксированную на некоторую эпоху и редуцированную на эллипсоид Красовского [1, 2]. В этом случае МСК НСО может действительно стать эталоном для региональных систем координат в России.

Таблица 2

Разности координат и высот пунктов из геодезической привязки, по ключу и калибровочному участку

№ п/п	Имя точки	Разности координат и высот (м)					
		По ключу преобразования			По калибровочному участку		
		dX	dY	dH	dX	dY	dH
1	BARA*	-0.085	-0.044	0.038	-0.093	-0.041	-0.017
2	BOLO*	-0.085	0.090	-0.029	-0.103	0.085	-0.002
3	CHER	0.039	0.011	0.031	0.030	0.004	0.069
4	CHUL*	0.035	-0.040	-0.008	0.028	-0.045	-0.025
5	DOVO	-0.022	0.017	0.021	-0.030	0.010	-0.002
6	ISKT*	0.022	0.011	0.001	0.018	0.006	0.028
7	KARG*	0.003	-0.014	0.115	-0.007	-0.016	0.089
8	KOCH	0.053	0.027	-0.008	0.045	0.026	-0.002
9	KOCK*	0.033	0.021	0.043	0.026	0.013	0.030
10	KOLV	-0.032	0.067	-0.024	-0.042	0.065	-0.017
11	KRAS*	-0.024	-0.002	0.049	-0.031	-0.007	0.024
12	MASL*	0.033	-0.023	-0.018	0.023	-0.032	0.032
13	Mhkv*	-0.053	0.056	-0.070	-0.063	0.053	-0.051
14	NSKW*	0.016	-0.031	0.033	-0.008	-0.032	0.041
15	ORDN	0.034	0.012	0.017	0.033	0.009	0.027
16	SUZU*	0.080	0.003	-0.108	0.074	-0.004	-0.085
17	UBIN*	-0.014	-0.017	-0.023	-0.022	-0.016	-0.065
18	ZDVI	-0.075	-0.013	0.034	-0.082	-0.018	-0.011
19	UBIN*	-0.014	-0.017	-0.023	-0.022	-0.016	-0.065
Min= Max= Med= Sko=		-0.085 0.080 -0.002 0.049	-0.044 0.090 0.007 0.036	-0.108 0.115 0.005 0.049	-0.103 0.074 -0.011 0.051	-0.045 0.085 0.003 0.036	-0.085 0.089 0.003 0.044
3D Sko=		0.078			0.076		

Примечание. Символом « * » помечены исходные пункты ПДБС при уравнивании для создания ключа и при калибровке.

Приложение 1

Оценка точности геодезической привязки ПДБС НСО к пунктам ГГС из уравнивания по внутренней сходимости радиальным методом

Номер п/п	Имя точки	Средние квадратические погрешности (м)			Число исходных пунктов ГГС	
		mx	my	mH	В плане	По высоте
1	BARA	0.017	0.017	0.016	12	10
2	BOLO	0.019	0.019	0.025	6	5
3	CHER	0.018	0.018	0.019	12	12
4	CHUL	0.024	0.024	0.027	9	10
5	DOVO	0.015	0.015	0.017	12	12
6	ISKT	0.023	0.022	0.034	9	9
7	KARG	0.035	0.035	0.029	12	12
8	KOCH	0.026	0.025	0.030	5	5
9	KOCK	0.040	0.039	0.033	12	12
10	KOLV	0.027	0.027	0.059	7	7
11	KRAS	0.043	0.043	0.037	10	9
12	MASL	0.020	0.020	0.020	10	10
13	mhkv	0.018	0.017	0.015	9	9
14	NSKW	0.022	0.022	0.023	17	17
15	ORDN	0.011	0.011	0.014	11	10
16	SUZU	0.039	0.039	0.038	10	8
17	UBIN	0.024	0.024	0.021	11	11
18	ZDVI	0.009	0.090	0.010	12	12
Min=		0.009	0.009	0.010	5	5
Max=		0.043	0.043	0.059	17	17
Med=		0.024	0.024	0.026	10.3	10.0
Sko=		0.010	0.010	0.012		

Приложение 2

Разности координат и высот пунктов из геодезической привязки и из уравнивания с моделью геоида dma10x10 с двумя вариантами по числу исходных пунктов

Номер п/п	Имя точки	Разности координат и высот (м)					
		Уравнивание с 3 ИП			Уравнивание с 4 ИП		
		dX	dY	dH	dX	dY	dH
1	BARA	0.000	0.000	0.000 *	0.000	0.000	0.000 *
2	BOLO	0.000	0.000	0.000 *	0.000	0.000	0.000 *
3	CHUL	0.049	-0.065	-1.297	0.066	-0.045	-1.398
4	ISKT	0.029	0.007	-0.495	0.049	0.011	-0.537
5	KARG	0.027	-0.029	-0.674	0.037	-0.007	-0.767
6	KOCK	0.035	-0.005	-0.616	0.065	0.020	-0.839
7	KRAS	-0.003	-0.047	0.379	0.000	0.000	0.000 *
8	MASL	0.049	-0.020	-0.058	0.000	0.000	0.000 *
9	mhkv	-0.026	0.030	-0.492	-0.029	0.035	-0.447
10	NSKW	0.027	-0.041	-0.686	0.041	-0.032	-0.716
11	SUZU	0.000	0.000	0.000*	0.109	0.005	-0.226
12	UBIN	0.033	-0.035	-0.360	0.033	-0.012	-0.459
Min=		-0.026	-0.065	-1.297	-0.029	-0.045	-1.398
Max=		0.049	0.030	0.379	0.109	0.035	0.000
Med=		0.018	-0.017	-0.358	0.031	-0.002	-0.449
Sko=		0.023	0.027	0.448	0.039	0.021	0.436

Примечание. Символом « * » помечены исходные пункты ПДБС (ИП).

Приложение 3

Разности координат и высот пунктов из геодезической привязки и из уравнивания с моделью геоида EGM2008-25 и вариантами по числу исходных пунктов

Номер п/п	Имя точки	Разности координат и высот (м)					
		Уравнивание с 3 ИП			Уравнивание с 4 ИП		
		dX	dY	dH	dX	dY	dH
1	BARA	0.000	0.000	0.000 *	0.000	0.000	0.000 *
2	BOLO	0.000	0.000	0.000 *	0.000	0.000	0.000 *
3	CHUL	0.052	-0.065	0.012	0.074	-0.052	-0.018
4	ISKT	0.028	0.006	0.075	0.054	0.008	0.011
5	KARG	0.030	-0.029	0.119	0.043	-0.014	0.098
6	KOCK	0.039	-0.001	0.094	0.073	0.017	0.016
7	KRAS	-0.001	-0.037	0.098	0.000	0.000	0.000 *
8	MASL	0.044	-0.027	0.082	0.000	0.000	0.000 *
9	mhkv	-0.027	0.033	-0.027	-0.024	0.038	-0.049
10	NSKW	0.027	-0.040	0.083	0.048	-0.035	0.042
11	SUZU	0.000	0.000	0.000 *	0.121	-0.005	-0.122
12	UBIN	0.036	-0.038	-0.034	0.037	-0.020	-0.045
Min=		-0.027	-0.065	-0.034	-0.024	-0.052	-0.122
Max=		0.052	0.033	0.119	0.121	0.038	0.098
Med=		0.019	-0.017	0.042	0.035	-0.005	-0.006
Sko=		0.024	0.027	0.055	0.042	0.023	0.053

Примечание. Символом « * » помечены исходные пункты ПДБС (ИП).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шендрик, Н.К. Об использовании пунктов Международной геодинамической сети и системы координат ITRF для геодезического обеспечения территорий [Текст] // Интерэкспо Гео-Сибирь-2012. 10-20 апреля 2012г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3т. Т.2. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С.230 - 235.

2. Шендрик, Н.К. О возможности применения системы координат ITRF для геодезического обеспечения Новосибирской области [Текст] // Интерэкспо Гео-Сибирь-2012. 10-20 апреля 2012г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3т. Т.2. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 204 - 208.

© Н.К. Шендрик, 2013

УДК 528.34:629.783

О ПРИМЕНЕНИИ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ РОССИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ К ПОНЯТИЯМ «СИСТЕМА КООРДИНАТ» И «КООРДИНАТНАЯ ОСНОВА»

Юрий Венедиктович Сурнин
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, профессор кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59, e-mail: surnin@ssga.ru

В геодезической практике России нет однозначного перевода на русский язык, нет четкого разделения и применения понятий международной терминологии «Reference System» и «Reference Frame». Термин «Reference System», предлагается переводить как «система отсчета», означающий теоретическое (декларативное) описание геометрии пространства и хронометрии. Термин «Reference Frame» предлагается переводить как «отсчетная основа», которая материализует систему отсчета (Reference System) через реальные объекты. «Система координат» - одна из составных частей понятия «системы отсчета». Термин «координатная основа» - составная часть «отсчетной основы».

Ключевые слова: геодезия, система отсчета, отсчетная основа, система координат, координатная основа.

APPLICATION OF RUSSIAN GEODETIC PRACTICE OF THE INTERNATIONAL LANGUAGE THE CONCEPT OF COORDINATE SYSTEM AND COORDINATE FRAME

Yuri V. Surnin
Prof., department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo st.. 630108, Novosibirsk, phone: (383) 361-01-59, e-mail: surnin@ssga.ru

In Russian geodetic practice is not single translation, clear separation, and application of concepts and terminology «Reference System» and «Reference Frame». Term of «Reference System» offered to translate as «Reference System» meaning a theoretical description of geometry space and timing. Term of «Reference Frame» offered to translate as «Reference Frame» which materialized as Reference System through real object. «Coordinate system» is one composite part of term «Reference System». Term of «coordinate frame» is one composite part of term «Reference Frame».

Key words: geodesy, reference system, reference frame, coordinate system, coordinate frame.

Международный термин Reference System трактуется в астрономии [1], [4, с. 44], физике [2, с. 11] и механике [3, с. 11] - как релятивистской, так и классической – как абстрактная «система отсчета» в виде теоретического (декларативного) описания геометрии пространства и хронометрии в совокупности. Он объединяет два понятия «систему координат» (геометрию) и «систему времени» (хронометрию) в одно определение «систему отсчета» (рис. 1) [2, 3].

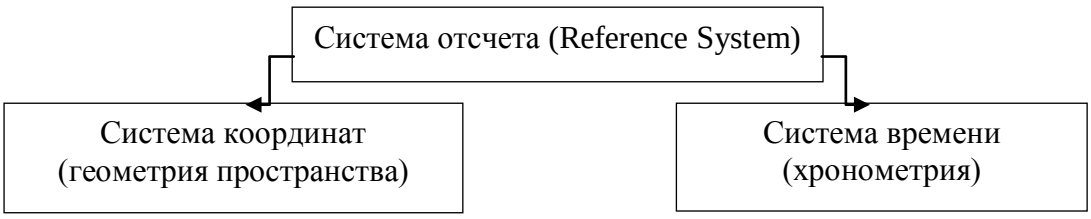


Рис. 1. Теоретическое определение системы отсчета (Reference System)

В релятивистской механике [2], в эфемеридной астрономии [4] «система отсчета» представляется как четырехмерный пространственно-временной континуум. В классической механике [3] пространство и время «абсолютны» и понятия «система координат» и «система времени» рассматриваются независимо друг от друга.

Термин «отсчетная основа» (Reference Frame) трактуется в [1], [4, с. 44] как материальная основа для физической реализации системы отсчета (рис. 2).

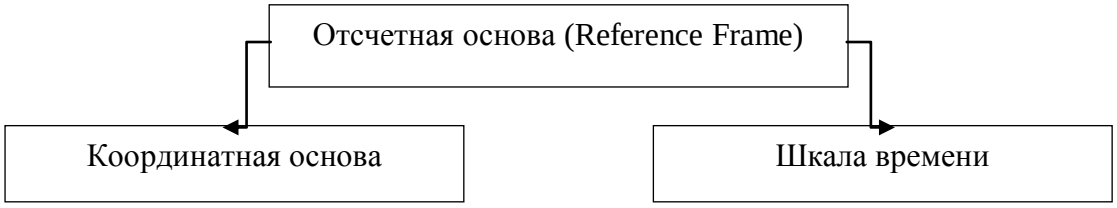


Рис. 2. Физическая реализация системы отсчета

Однако, в эфемеридной астрономии международные термины «Reference System» и «Reference Frame» переводятся с английского на русский как «система координат» и «система отсчета» [4, с. 44, 45]. Однако этот перевод вводит коллизию в терминологию между физикой [2] и механикой [3] с одной стороны и эфемеридной астрономией [4] и геодезией с другой. Поэтому для устранения этой коллизии термин «Reference System» лучше переводить как «система отсчета», чем «система координат» как в [4], т.е., так, как он употребляется в физике и механике [2, 3], где термин «система координат» является одной из составных частей термина «система отсчета» (рис. 1). Термин «Reference Frame» правильнее переводить в отечественной терминологии как «отсчетная основа», чем как «система отсчета», как это делается в [4]. Поскольку в астрономии [1], физике [2] и механике [3] термин «система отсчета - Reference System» уже занят: он означает абстрактное описание пространства и времени (рис. 1).

Термин «система координат» означает теоретическое описание геометрической составляющей системы отсчета. Описание системы координат должно включать три основных характеристики: положение начала координат, ориентировку координатных осей и вид координат (рис. 3).

Рис. 3. Теоретическое определение системы координат

Термин координатная основа означает материализацию системы координат, или иначе, физическую реализацию геометрической составляющей «отсчетной основы». Координатная основа – это некоторое ограниченное множество физических носителей координат и математическая модель движения носителей относительно принятой системы координат (Рис. 4).

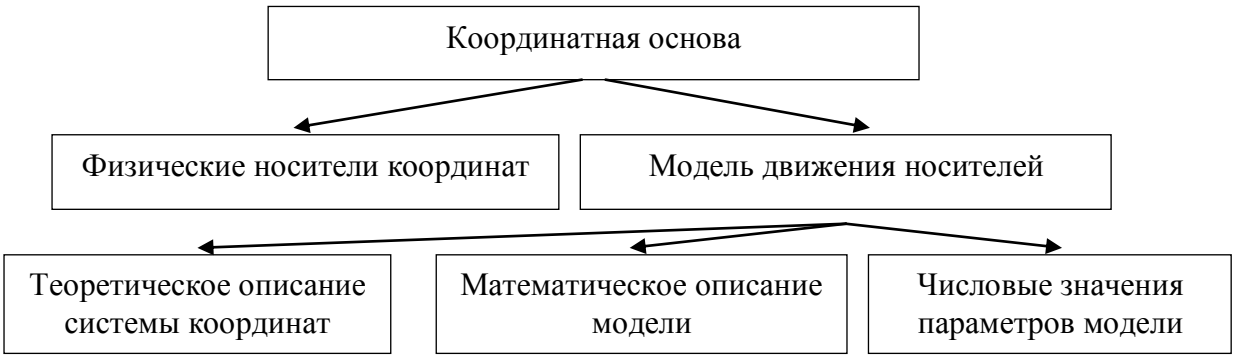


Рис. 4. Физическая реализация системы координат – координатная основа

Физическими носителями, например, земной координатной основы являются центры геодезических пунктов, жестко связанные с телом Земли. Космические аппараты (КА) ГЛОНАСС/GPS также можно считать носителями земной (орбитальной) координатной основы – если эфемериды КА даются в земной системе отсчета. В небесной координатной основе носителями координат являются квазары, звезды и тела солнечной системы.

В свою очередь, математическая модель движения носителей координат включает описание системы координат, в которой создается модель, математическое описание модели и числовые значения параметров этой модели. Например, геодезические каталоги содержат описание системы координат, статическую или кинематическую модель эволюции координат и числовые значения координат геодезических пунктов (для статической модели) и дополнительно - значения скоростей движения пунктов с указанием начальной эпохи каталога (для кинематической модели). Таким образом, термин координатная основа является более общим, чем координатная система. Он включает в себя термин координатная система, как один из четырех компонентов координатной основы.

Геодезический термин «общеземная система координат» (ОЗСК) эквивалентен геометрической составляющей термина «земная система отсчета - Terrestrial Reference System (TRS)», который используется в международной терминологии эфемеридной астрономии [1, 4, 5]. Общеземная система координат вводится в геодезии согласно рекомендации Международного астрономического союза (МАС) [1] в соответствии концепцией «Небесного и земного эфемеридных начал» (Celestial and Terrestrial Ephemeris Origins, CEO and TEO) или кратко концепцией «невращающегося начала» (Non-rotating origin, NRO) [1, 4, 5].

Небесное CEO и земное TEO эфемеридные начала вводятся совместно и определяются друг относительно друга принятой моделью поступательного и вращательного движения Земли (МДЗ). Оба начала CEO и TEO задаются на небесной и земной сферах двумя парами точек. Небесная сфера – это единичная сфера, жестко связанная с координатной составляющей «небесной системы отсчета» – Celestial Reference System (CRS). Земная сфера – это единичная сфера, жестко связанная с координатной составляющей земной системы отсчета (TRS). В определение CEO включается небесный эфемеридный полюс P(CEO) и «неподвижная» точка σ(CEO) на подвижном экваторе Q небесной сферы текущей эпохи t. В определение TEO вводится земной эфемеридный полюс p(TEO) и «неподвижная» точка ω(TEO) на этом же подвижном экваторе Q земной сферы эпохи t. Небесный эфемеридный полюс P(CEO) и земной эфемеридный полюс p(TEO) являются точками пересечения мгновенной оси вращения Земли с небесной и земной сферами. Подвижный экватор Q эпохи t един для CEO и TEO.

В ОЗСК начало помещается в центр масс Земли. Ориентировка ОЗСК вводится тремя малыми углами $x_p(T)$, $y_p(T)$, $s`(T)$ относительно TEO – точек p(TEO) и ω(TEO) на земной сфере. Ось аппликат направляется в «неподвижный» относительно тела Земли полюс p`(TEO), задаваемый на земной сфере тремя угловыми координатами $x_p(T)$, $y_p(T)$, $s`(T)$ относительно земного эфемеридного начала TEO. Нулевой меридиан ОЗСК проводится через неподвижный земной полюс p`(TEO) и неподвижную точку ω`(TEO) на неподвижном земном экваторе. Точка ω`(TEO) вводится относительно земного эфемеридного начала TEO двумя угловыми координатами $s`(T)$ и $x_p(T)$. Малые углы $x_p(T)$, $y_p(T)$, $s`(T)$ являются нерегулярными функциями времени и не моделируются. Они оцениваются Международной службы вращения Земли (МСВЗ) по результатам наблюдений мировой сети станций средствами радиоинтерферометрии квазаров, лазерной локации Луны и искусственных спутников Земли, ГЛОНАСС/GPS-измерений и других систем.

Таким образом, общеземная система координат вводится, как геометрическая составляющая земной системы отсчета TRS, через небесную систему отсчета CRS (выполняющую в рамках классической механики функцию инерциальной системы координат), модель движения Земли МДЗ и земную систему отсчета TRS (рис. 5). Модель движения Земли включает модель поступательного и вращательного движения Земли, а также модель орбитального движения

тел солнечной системы. Модель вращения Земли включает прецессионно-нутационное движение оси вращения Земли, звездный угол (stellar angle), собственную нутацию ядра Земли, геофизическую нутацию и движение полюса. Модель орбитального движения тел солнечной системы определяет положение барицентра солнечной системы (начала координат CRS) и смещение (сдвиг) ориентации CRS относительно экватора и равноденствия традиционной экваториальной системы координат стандартной эпохи 2000.0 и входит составной частью в модель вращения Земли через гравитационное взаимодействие Земли, Луны, Солнца и планет.

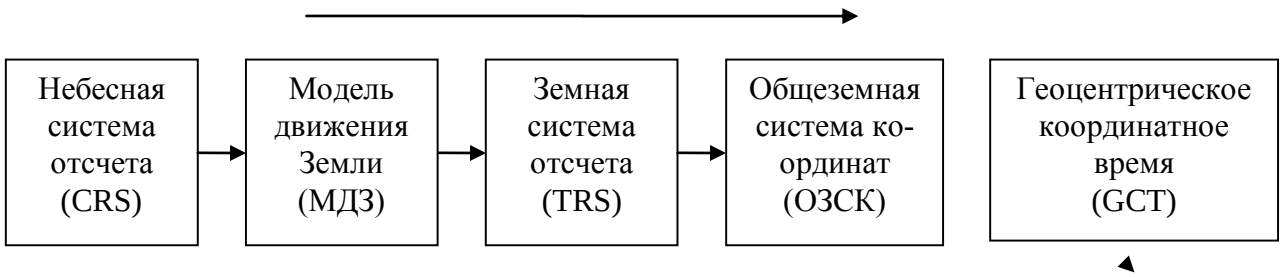


Рис. 5. Определение общеземной системы координат (ОЗСК) через небесную (CRS) и земную (TRS) отсчетные системы

Термин координатная система рассматривается в статье применительно к таким геодезическим понятиям как общеземная, референцная и местная системы координат (ОЗСК, РСК, МСК), в которых декларируется, в какой точке тела Земли находятся начала координат, как ориентируются оси координат и какого вида вводятся координаты. В геодезии используется несколько видов земных систем координат: общеземная, референцная, местная и др. (Рис.6).

Рис. 6. Некоторые системы земных координат, используемые в геодезии

Современная референцная система координат РСК теоретически определяется относительно общеземной системы координат параметрами трансформирования: тремя параметрами сдвига, тремя углами наклона и масштабом.

Традиционная РСК теоретически определяется относительно тела Земли исходными геодезическими датами в исходном пункте сети триангуляции и по-

лигонометрии, а также астрономическими долготами, широтами и азимутами на пунктах Лапласа.

Местная система координат МСК теоретически определяется относительно референцной системы координат, так называемыми, «ключами перехода».

Физическую реализацию ОЗСК, РСК и МСК в соответствии с терминологией, введенной выше (рис. 4), можно называть общеземная координатная основа (ОЗКО), референцная координатная основа (РКО) и местная координатная основа (МКО) соответственно.

Некоторыми представителями общеземной координатной основы ОЗКО являются:

- координатная составляющая обновляемых версий Международной земной отсчетной основы ITRF (International Terrestrial Reference Frame) МСВЗ,
- координатная составляющая обновляемых версий Системы геодезических параметров «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) России*),
- координатная составляющая обновляемых версий Мировой геодезической системы 1984 года «Word Geodetic System 1984» (WGS-84) США (ПЗ-90 и WGS-84 являются координатно-гравитационными основами, которые реализуют внешнее гравитационное поле Земли двумя составляющими: координатной и гравитационной),
- Государственная система координат 2011 года (ГСК-2011) России [6], [7].

Эти различные ОЗКО определяются единым теоретическим описанием ОЗСК, едиными моделями вращения Земли и орбитального движения тел солнечной системы, но разным множеством носителей координат и разными моделями эволюции общеземных координат.

Носителями координатной основы ITRF являются около полутысячи пунктов МСВЗ, которые распределены планетарно с разной плотностью по всей поверхности Земли. Модель эволюции координат кинематическая – в каталоге каждый пункт определяется семью параметрами (X_o, Y_o, Z_o, V_x, V_y, V_z, T_o): тремя координатами X_o, Y_o, Z_o геоцентрического вектора положения пункта, тремя компонентами его скорости V_x, V_y, V_z и эпохой каталога T_o. Координатная основа ITRF, среди других реализаций ОЗСК, имеет наивысшую точность (на уровне первых миллиметров). Результаты измерений с пунктов МСВЗ и координаты пунктов имеют свободный доступ через Internet. Четыре фактора: планетарное распределение, наивысшая точность, свободный доступ к результатам измерений и свободный доступ к каталогу координат – определяют широкое использование координатной основы ITRF массовым потребителем.

Носителями земной координатной основы ПЗ-90 является ограниченное число пунктов, расположенных на территории России. Модель эволюции координат статическая – в каталоге каждый пункт определяется тремя координатами X, Y, Z на фиксированную эпоху каталога T_o. Координатная составляющая ПЗ-90 по сравнению с ITRF имеет меньшую точность по сравнению с ITRF, ограниченный доступ к наземным пунктам, к результатам измерений с этих пунктов, к каталогу координат. В результате «привязаться» к земной координатной основе ПЗ-90 широкому кругу пользователей затруднительно.

Проблема частично решается посредством орбитальной координатной основы ПЗ-90, носителями которой являются космические аппараты (КА) ГЛОНАСС с бортовыми эфемериды в ОЗСК. Но точность «привязки» наземных пунктов к ПЗ-90 низкая: из-за недостаточной точности бортовых эфемерид, из-за снижения точности геометрическим фактором обратной пространственной линейной засечки при передаче координат с орбиты на наземный пункт.

Носителем земной координатной основы WGS-84 является очень ограниченное число наземных пунктов (около двух десятков), расположенных в экваториальной зоне на расстояниях между ними в несколько тысяч километров. Точность земной координатной основы WGS-84 постепенно приближается к точности ITRF (пока до уровня одного-двух сантиметров). Но доступа, ни к пунктам WGS-84, ни к координатам, ни к результатам измерений с этих пунктов, у массового потребителя нет. Поэтому непосредственная «привязка» определяемого наземного пункта к координатной основе WGS-84 практически невозможна.

Косвенная «привязка» к системе WGS-84 возможна через орбитальную координатную основу WGS-84, носителями которой являются космические аппараты GPS с бортовыми эфемериды в ОЗСК. Точность такой косвенной привязки низкая. Причины те же, что и для косвенной привязки к ПЗ-90 через КА ГЛОНАСС.

Таким образом, определение координат наземных пунктов для массового потребителя в ОЗСК через ПЗ-90 и WGS-84 с точностью, с какой они созданы, практически невозможно. Поэтому, часто встречающиеся, технические требования в проектах к геодезическому обеспечению объектов в системах ПЗ-90 или WGS-84 являются не всегда обоснованными. Выход из этого положения один – объекты «привязывать» к координатным основам ITRF или ГСК-2011.

Государственная система координат 2011 года ГСК-2011 является одной из физических реализаций ОЗКС. Поэтому в соответствии с международной терминологией ее следовало бы назвать «Государственной координатной основой 2011 года» и сокращенно обозначить ГКО-2011. Система координат, реализуемая ГКС-2011, уже входит в определение координатной основы ГКС-2011, как одна из четырех составных частей ГКС-2011 (рис. 4). Этот факт, очередной раз, свидетельствует о том, что в геодезической практике России нет четкого разделения и употребления понятий «координатная система» и «координатная основа». В отечественной литературе употребление термина «система координат» может обозначать и координатную систему, и координатную основу. Понимать о чем идет речь (о системе или об основе) приходится по контексту.

Носителями координатной основы ГСК-2011 являются пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) - 50 пунктов, высокоточной геодезической сети (ВГС) - 300 пунктов и спутниковых геодезических сетей 1 класса (СГС-1) - порядка $4 \cdot 10^3$ пунктов, которые расположены на территории России. В состав пунктов ГСК-2011 вошло также около 350 тысяч пунктов государственной геодезической сети (ГГС) 1 – 4 классов путем уравнивания ГГС с опорой на пункты ФАГС, ВГС и СГС-1 [5]. Модель эволюции координат ста-

тическая – в каталоге каждый пункт определяется тремя координатами X, Y, Z на фиксированную эпоху каталога T_o. Из пятидесяти пунктов ФАГС около тридцати пунктов являются активными – постоянно действующими станциями, которые входят в состав МСВЗ. К результатам измерений с этих активных пунктов и координатам имеется свободный доступ. Это дает возможность непосредственного определения координат новых пунктов в ОЗСК через пункты ГСК-2011, к сожалению, с некоторым понижением точности из-за большого удаления определяемого пункта от исходных пунктов ГСК-2011.

Представителями референцной координатной основы РКО в России являются:

- Система координат 1942 года (СК-42),
- Система координат 1995 года (СК-95).

Эти РКО следовало бы называть, в соответствии с международной терминологией, как «Координатная основа 1942 года» и «Координатная основа 1995 года» и обозначать КО-42 и КО-95. Общим для них является теоретическое описание системы координат, входящее как составная часть в определении координатной основы (рис. 4). Координатные основы СК-42 и СК-95 различаются между собой разным множеством носителей координат, методами развития и уравнивания, величиной систематических и случайных погрешностей координат.

Референцные координатные основы СК-42 и СК-95 для массового потребителя практически реализуют двухмерную систему координат. Поскольку для потребителя доступны плановые координаты (x, y – плоские прямоугольные координаты в проекции Гаусса-Крюгера) и нормальные высоты H^{γ} и практически не доступны относительные высоты квазигеоида ζ`. В результате тройка чисел x, y, $H^{\gamma}$ какого-либо пункта, доступная для широкого круга пользователей, не образует единую геометрическую систему координат и не позволяет получать по x, y, $H^{\gamma}$ трехмерные пространственные координаты X`, Y`, Z` этого пункта в РСК. Этот факт является главным недостатком СК-42 и СК-95 в современной трехмерной спутниковой геодезии.

Представителями местной координатной основы МКО в России являются, так называемые, местные системы координат субъектов федерации, городов, районов, промышленных площадок. Их следовало бы называть, последовательно применяя международную терминологию, местными координатными основами, в которых система координат лишь одна из четырех составных частей координатной основы (рис. 4). Носителями МКО являются ограниченное число наземных пунктов на территории субъекта федерации, города, района или промышленной площадки. Главный недостаток МКО тот же, что и для РКО – они образуют только двухмерную координатную основу. В век спутниковой технологии трехмерных координатных определений это является существенным недостатком.

В заключении укажем, что в статье обращено внимание на коллизию в употреблении терминов «система координат» и «система отсчета» в физике и механике с одной стороны и в эфемеридной астрономии и геодезии с другой.

На конкретных примерах показано практическое приложение международной терминологии в отношении таких понятий как Reference System и Reference Frame к терминам «система отсчета» и «отсчетная основа», а также производных от них таких понятий как «система координат» и «координатная основа».

БИЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IERS Conventions 2003 (ed. McCarthy D. D. and G. Petit) / IERS Technical Note 32. Verlag des Bundesamts für Kartographie and Geodäsie. Frankfurt am Main, 2004. 127 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. Серия теоретическая физика. Том II / Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. М.: 1973. 504 с.
3. Айзерман М. А. Классическая механика /Наука. Гл. р. физ.-мат. лит. М.: 1974. 368 с.
4. Брумберг В. А. Релятивистские системы координат и шкалы времени. /Труды института прикладной астрономии. Вып. 10. 2004. СПб.: Изд-во Ин-та прикладной астрономии РАН. 2004. С. 44-61.
5. Лукашова М. В., Свешников М. Л. Небесное эфемеридное начало. Там же. С. 186-206.
6. Результаты построения государственной геоцентрической системы координат Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «ГЛОНАСС» / Горобец В. П. [и др.]. Журн. ГиК. №2. 2012. М.: 2012. С. 53-57.
7. Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» [Электронный ресурс] http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70192380/#0 (дата обращения 15 февраля 2013 г.).

© Ю.В. Сурнин, 2013

УДК 625.143.1

ПРОВЕРКА АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТОВ ПО РЕМОНТУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Иван Александрович Бунцев
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, Д. Ковальчук 191, ведущий научный сотрудник научно-инженерного дорожного центра, тел. (913)397-48-42, e-mail: geodep@ngs.ru

Виталий Михайлович Жидов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, Д. Ковальчук 191, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

Использование спутникового геодезического оборудования при проверке проектов для ремонта железнодорожного пути позволяет проверить актуальность проектного решения. Результаты, полученные в процессе контроля проектных решений, показывают необходимость в сокращении периода времени между изысканиями, проектированием и реализацией проектного решения.

Ключевые слова: железная дорога, проект.

CHECK OF RELEVANCE OF PROJECTS ON TRACK REPAIR WITH USE OF THE SATELLITE GEODETIC EQUIPMENT

Ivan A. Buntsev
Siberian Transport University, 630049, Russia, D. Kovalchuk 191, Novosibirsk, leading researcher of the scientific and engineering road center, ph. (913) 397-48-42, e-mail: geodep@ngs.ru

Vitaliy M. Zhidov
Siberian Transport University, 630049, Russia, D. Kovalchuk 191, Novosibirsk, the senior lecturer of department "Engineering geodesy", ph. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

Use of the satellite geodetic equipment at verification of projects for repair of a track allows to check relevance of the design decision. The results received in the course of control of design decisions, show need for reduction of the period of time between researches, design and implementation of the design decision.

Key words: railroad, project.

Составление проектов для целей ремонта и модернизации железнодорожного пути является длительным процессом. Время, проходящее с момента выполнения полевых изыскательских работ до момента реализации проекта в натуре, составляет, как правило, от 0.5 года до 1.5 лет. При этом, после проведения необходимых полевых работ, железнодорожный путь находится в эксплуатации, следовательно, подвергается постоянным нагрузкам. В процессе таких нагрузок путь изменяет свое пространственное положение. Возникает вопрос о

величине смещений пространственного положения пути от его положения с момента съемки под проектирование.

В научно-инженерном дорожном центре Сибирского государственного университета путей сообщения под руководством В.В. Щербакова при участии сотрудников опытной путевой машинной станции №19 проводились эксперименты по изучению пространственного смещения действующего железнодорожного пути с течением времени.

Целью испытаний ставилось определение смещений пунктов съемочного обоснования, с помощью которого проводилась съемка железнодорожного пути во время проведения изыскательских работ, а также определение величины пространственного смещения железнодорожного пути.

Первое что следует отметить, это сохранность пунктов съемочного обоснования. За период между началом проектирования и его реализацией количество сохранившихся пунктов составляет около 60 процентов. Съемка пунктов съемочного обоснования проводилась с использованием спутникового геодезического оборудования. Результаты проведенных работ показывают, что смещение существующего железнодорожного пути от своего исходного, проектного, положения составляет до 12 см, рис. 1.

Рис. 1. Плановое положение пути до проектирования и перед ремонтом

Съемка железнодорожного пути выполнялась с использованием, разработанного в Сибирском государственном университете путей сообщения, аппаратно-программного комплекса АПК «Профиль», рис. 2. Структура определе-

ния геометрических параметров рельсовой колеи включает пространственно-временные данные, по которым вычисляются линейные координаты и геометрические параметры пути.

Рис. 2. АПК «Профиль»

Установленные референцные станции вырабатывают различные дифференциальные поправки, обеспечивая позиционирование как стационарных, так и подвижных объектов с субсантиметровой точностью. Дифференциальные поправки, формируемые референцными станциями, передаются по радиоканалам (УКВ-диапазон, GSM-диапазон, широкополосная связь и т.д.).

Для построения таблицы координат, используемой в процессе проведения испытаний, было выполнено преобразование полученных данных из глобальной навигационной спутниковой системы координат в координатную основу Российской Федерации. Исходные данные на участок проведения испытаний предоставлены в местной системе координат. Преобразование проектных данных из местной системы координат в систему координат исследуемого пути производилось с применением общих калибровочных точек равномерно расположенных на рассматриваемом участке. Пунктами калибровки были репера, имеющие координаты в местной системе координат и расположенные вдоль участка пути. На каждом из выбранных реперов были проведены высокоточные спутниковые геодезические определения координат.

© И.А. Бунцев, В.М. Жидов, 2013

УДК 625.173.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ГНСС ДЛЯ ЭЛЕКТРОБАЛЛАСТЕРА

Виталий Михайлович Жидов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

Александр Сергеевич Пикалов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, преподаватель на кафедре «Путь и путевое хозяйство», тел. +7-913-945-03-80, e-mail: Pikalov_alex@mail.ru

Павел Михайлович Секачев
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ведущий инженер научно-инженерного дорожного центра, тел. +7-903-902-94-97, e-mail: sekachev.p@yandex.ru

Разработанная в Сибирском государственном университете путей сообщения система управления электробалластером позволяет повысить производительность работ, связанных с ремонтом и реконструкцией железнодорожного пути. Система максимально интегрирована с бортовыми устройствами выправки пути. В процессе испытаний на нескольких участках железнодорожного пути Западно-Сибирской железной дороги получены положительные результаты испытаний.

Ключевые слова: железная дорога, электробалластер.

RESULTS OF TESTS OF SYSTEM OF AUTOMATED MANAGEMENT ON THE BASIS OF GNSS FOR THE ELECTROBALLASTING MACHINE

Vitaliy M. Zhidov
«Federal government budgetary institution of higher education Siberian Transport University», 630049, Russia, city Novosibirsk, D. Kovalchuk street, 191, Novosibirsk, the senior lecturer of department "Engineering geodesy", ph. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

Alexander S. Pikalov
Federal government budgetary institution of higher education «Siberian Transport University», 630049, Russia, city Novosibirsk, D. Kovalchuk street, 191, lecturer of department "Track and Track Facilities" Tel. +7-913-945-03-80, e-mail: Pikalov_alex@mail.ru

Pavel M. Sekachev
Federal government budgetary institution of higher education «Siberian Transport University», 630049, Russia, city Novosibirsk, D. Kovalchuk street, 191, senior engineer in research engineering railway center, phone: +7-903-902-94-97, e-mail: sekachev.p@yandex.ru

Developed at the Siberian state university of means of communication the control system of an electroballasting machine allows to increase productivity of the works connected with repair and reconstruction of a track. The system is most integrated with onboard devices of bearing of a way.

In the course of tests on several sites of a track of West Siberian Railway positive results of tests are received.

Key words: railroad, the electroballasting machine.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросу повышения скоростей движения железнодорожных составов. Решение такой задачи невозможно без наличия качественного пути. Получение качественного пути возможно при наличии полноценной цифровой модели пути, специализированной дорожно-строительной техники и квалифицированного персонала.

Главная задача любого ремонта пути – восстановление его технических параметров в соответствие проектным значениям. Главная задача содержания пути – поддержание всех геометрических параметров в соответствии с их проектными значениями.

В научно-исследовательской лаборатории «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Сибирского государственного университета путей сообщений (СГУПС) разработаны системы автоматизированного управления (САУ) специализированной дорожно-строительной техникой, выполняющей комплекс работ по капитальному ремонту и модернизации железнодорожных путей. САУ устанавливаются на щебнеочистительную машину, электробалластер и доумат. Системы автоматизации процесса работ на каждой машине реализованы с использованием спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

Штатные системы автоматизации работ позволяют выполнять сглаживание пути и выставлять заданные параметры кривых. Главный недостаток – не имеют привязки к пространственному положению пути. Штатное оборудование электробалластера позволяет надежно выполнять постановку пути в проектное положение на двухпутных участках, где есть возможность использовать положение соседнего пути и опор контактной сети. В таком варианте работ имеется проблема, связанная с временным интервалом между геодезической съемкой перед проектированием, самим проектированием и реализацией проектного решения в натуре. В этот период оба пути находились в процессе эксплуатации, и как следствие – подвергались динамическим нагрузкам. Выполняя подготовку проектных данных для работы дорожно-строительных машин к работе в автоматизированном режиме, выявлялись участки соседнего пути с отклонениями в плановом положении от проекта на величину до 10 см. В конечном итоге при выполнении работ по ремонту или модернизации пути получаем устаревшее проектное решение. В случае однопутных участков проблема реализации проектного решения вызывает серьезные затруднения как с точки зрения качества, так и скорости выполнения работ.

Установленное оборудование позволяет полностью автоматизировать процесс работы электробалластера, и перейти на координатные методы реализации проектных решений. Такой подход позволяет избежать вопроса актуальности проекта. При этом появляются новые требования к качеству проектных данных. В настоящее время работы выполняются по имеющимся проектным данным,

представленным на бумажной основе, где вся информация имеет привязку к пикетам и опорам контактной сети.

В настоящее время проведены испытания САУ на нескольких опытных участках, расположенных на территории Западно-Сибирской железной дороги. Эксперименты проводились в Кемеровской и Новосибирской областях как на двухпутных, так и на однопутных участках железнодорожных путей, общей протяженностью более 10 км.

Контроль работы электробалластера в автоматизированном режиме осуществлялся с помощью промеров междупутных расстояний на двухпутных участках и сравнении этих данных с проектными значениями. На однопутных участках такой контроль осуществлялся независимой геодезической съемкой пути и сравнением его пространственного положения с цифровой моделью пути. Такой контроль осуществлялся после каждого прохода техники. Несколько проходов техники связано с конструктивными особенностями и технологией производства работ.

Результаты таких испытаний показывают, что постановка пути в проектное положение в автоматизированном режиме осуществляется с точностью 2-3 см. Результаты работы САУ, полученные на участке Белово-Бочаты, I путь от 239 км до 241.9 км направления Юрга-Таштагол Западно-Сибирской железной дороги, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пример контроля работы электробалластера

Данные по проекту		Автоматизированная работа ЭЛБ		
пикет	Междупутье (по нерабочим граням)	Междупутье (1 проход ЭЛБ)	Междупутье (2 проход ЭЛБ)	Междупутье (3 проход ЭЛБ)
239067.86	5.05	5.03	5.01	5.03
239130.64	3.37	3.38	3.38	3.37
239373.99	2.98	3.02	2.97	3.00
239424.18	3.19	3.20	3.22	3.19
239474.08	3.28	3.30	3.29	3.28
239991.31	2.74	2.75	2.74	2.74
240095.30	2.96	3.01	2.88	2.95
240147.25	3.05	3.03	3.02	3.04
240198.58	2.91	2.93	2.95	2.90
240246.35	2.75	2.82	2.91	2.77
240297.66	2.65	2.69	2.67	2.65
241257.20	2.69	2.69	2.68	2.70
241318.33	2.66	2.68	2.66	2.68

© В.М. Жидов, А.С. Пикалов, П.М. Секачев, 2013

УДК 625.143.1

ПРИМЕНЕНИЕ ГНСС ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЛИНЫ РЕЛЬСОВ

Владимир Васильевич Щербаков
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, Д. Ковальчук 187, кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерная геодезия», заведующий лабораторией «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Научно - инженерного дорожного центра, тел. (383) 328-05-91, e-mail: vvs@stu.ru

Виталий Михайлович Жидов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, Д. Ковальчук 191, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

В статье рассмотрен процесс определения длин рельсов с использованием спутниковой геодезической аппаратуры. Показаны преимущества перед традиционными измерениями и возможность получения дополнительной информации.

Ключевые слова: железная дорога, рельс, длина плети.

APPLICATION OF GNSS OF THE EQUIPMENT AT DETERMINATION OF LENGTH OF RAILS

Vladimir V. Shcherbakov
Siberian Transport University, 630049, Russia, D. Kovalchuk 187, The candidate of technical science, associate professor, the head of sub-faculty «Engineering geodesy», the head of the laboratory "Diagnostics of road clothes and a road-bed" Scientifically - the engineering road center, phone.: (383) 328-05-91, E-mail: vvs@stu.ru

Vitaliy M. Zhidov
Siberian Transport University, 630049, Russia, D. Kovalchuk 191, Novosibirsk, the senior lecturer of department "Engineering geodesy", phone. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

In article process of determination of lengths of rails with use of the satellite geodetic equipment is considered. Advantages before traditional measurements and possibility of obtaining additional information are shown.

Key words: railroad, rail, lash length.

При традиционном определении длин рельсовых плетей используют металлическую рулетку. Точность определения длин составляет 1/1000. В процессе измерений рулеткой необходимо закреплять границы максимальной длины. В таких местах бывают «пробросы», выявление которых возможно только при повторных измерениях. Технологический процесс измерения длины плети не позволяет повысить скорость измерений. Использование инварных проволок повышает точность, но существенно увеличивает время измерений и вызывает некоторые сложности при измерениях рельсовых плетей на криволинейных участках железнодорожного пути.

Использование спутникового геодезического оборудования для определения длин рельсовых плетей позволяет получить ряд преимуществ перед традицион-

ными методами измерений. Главными достоинствами такого подхода к измерениям является повышение скорости выполнения и безопасности сбора данных.

В научно-исследовательской лаборатории «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Сибирского государственного университета путей сообщения для определения длин рельсовых плетей предложена путеизмерительная тележка, оснащенная двумя комплектами спутникового геодезического оборудования Trimble R7. Принимающие антенны спутниковых приемников закреплены по оси железнодорожного пути и над одной из головок рельсов. Такая конструкция позволяет определять границы рельсовых плетей и уравнительных рельсов, рассчитать возвышение рельсов в кривых. По полученным данным можно сформировать базу данных о пространственном положении каждой плети. Располагая такой информацией на разные периоды времени можно выполнить анализ изменений пути в пространстве с учетом времени года, количеством перевезенных объемов грузов. В качестве дополнительной информации можно получить положение пути в плане и продольном профиле.

В июле и августе 2012 года были проведены измерения длин рельсовых плетей бесстыкового пути на участке Барнаул – Рубцовск Западно-Сибирской железной дороги, протяженностью 212 км. Формирование отчетных материалов заняло меньше месяца, при этом большая часть времени потрачена на дополнительный полевой контроль и выявление разногласий между имеющимися материалами в дистанции пути и полученными результатами.

Обработка полевых материалов средствами геоинформационных технологий позволяет наглядно представить все материалы в требуемом виде, а также исключить возможные наложения и повторы одних и тех же данных. В табл. 1 приведены сравнения имеющихся и полученных результатов длин рельсовых плетей.

Таблица 1

Сравнение длин рельсовых плетей

Пикет	№ плети	Длина плети, м		Расхождение
		по проекту	по факту	
247807.15	24811	800.00	797.53	2.47
248657.37	24891	800.00	800.27	-0.27
249244.92	24971	550.00	550.14	-0.14
249532.51	25031	262.50	262.60	-0.10
249807.46	25071	200.00	200.11	-0.11
250657.75	25091	800.00	800.17	-0.17
251207.94	25171	512.50	512.80	-0.30
252057.87	25231	800.00	799.97	0.03
252595.38	25311	500.00	500.08	-0.08
253445.72	25371	800.00	800.21	-0.21
254182.46	25451	700.00	699.16	0.84
254507.75	25531	300.00	300.23	-0.23
255358.87	25561	799.60	801.23	-1.63
256314.50	25641	912.94	918.17	-5.23
257165.04	25741	799.60	800.44	-0.84

На графических отчетах представлена следующая информация:

- Пикетажные значения начала и конца плети.
- Положение «рубок» плети относительно начала плети и их длина.
- Положение и длина уравнительных рельсов.
- Расположение изолирующих стыков.
- Ситуация.

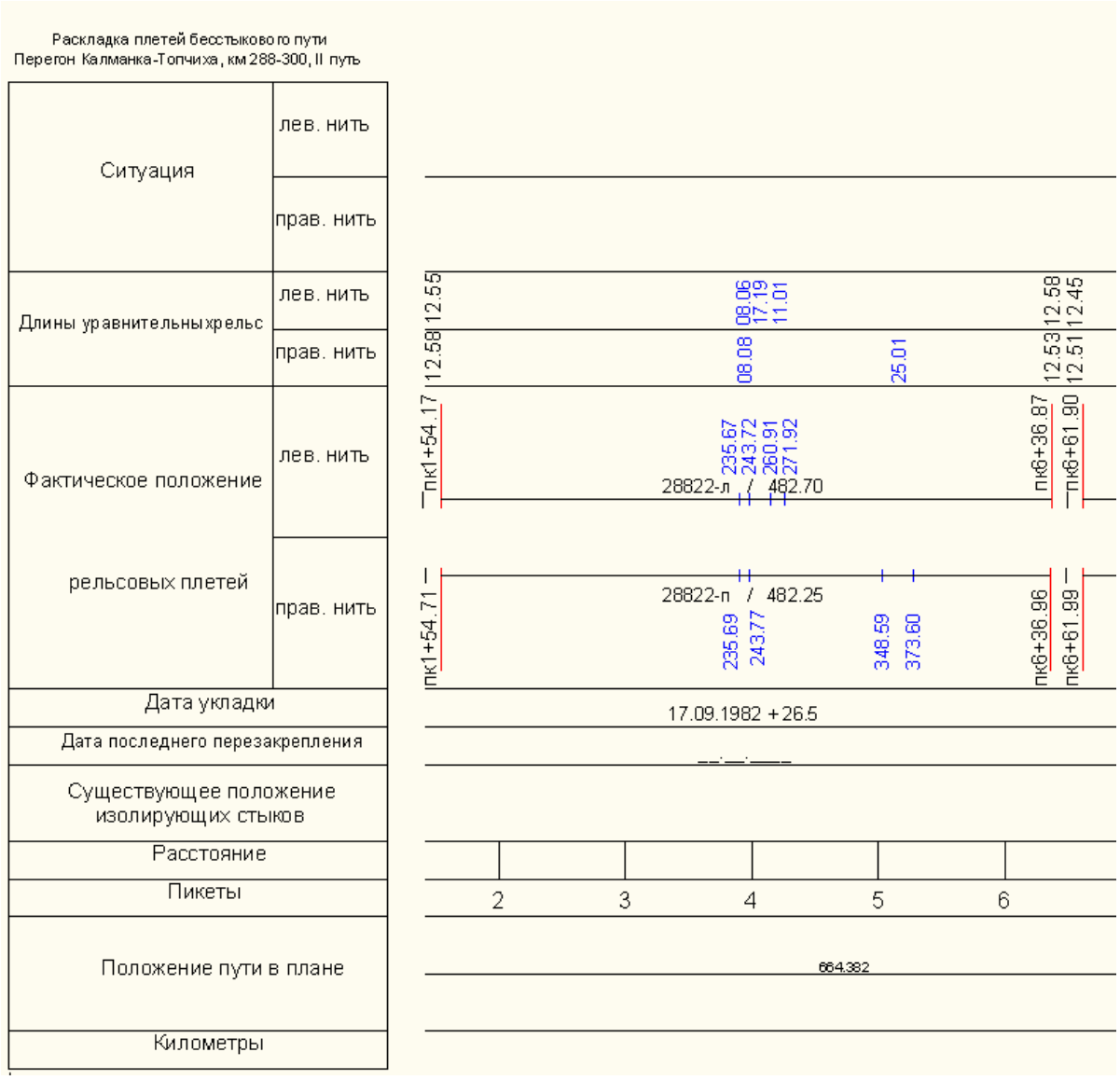


Рис. 1. Графические материалы по рельсовым плетям

Полученные материалы показывают эффективность использования спутникового геодезического оборудования при определении длин рельсовых плетей. Повышается скорость выполнения полевых и камеральных работ. Полученные отчетные материалы имеют большую информативность и наглядность.

© В.В. Щербаков, В.М. Жидов, 2013

УДК 629.783:528.2

ПРИВЕДЕНИЕ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ К ЦЕНТРУ ПУНКТА ПОСРЕДСТВОМ РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Александр Викторович Елагин
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, к. т. н., доцент кафедры высшей геодезии, тел.(383-2)-43-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

Николай Алексеевич Телеганов
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, к. т. н., доцент кафедры высшей геодезии, тел.(383-2)-43-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

Вблизи пункта, на котором невозможно выполнить ГНСС-измерения, спутниковым приемником определяются положения двух точек в геодезической системе координат B, L, H. В точке 1, которая расположена ближе к пункту, тахеометром измеряются: горизонтальный угол между направлением на точку 2 и направлением на центр пункта, зенитные расстояния этих направлений и наклонная дальность до центра пункта. Из решения обратной и прямой геодезических задач в пространстве вычисляются координаты центра пункта.

Ключевые слова: эллипсоид, прямая и обратная геодезические задачи, уклонение отвесной линии.

REDUCING GNSS-MEASUREMENTS TO THE CENTER OF THE POINTS BY RESOLVING SPACE GEODETIC PROBLEMS

Alexander V. Elagin
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo Ul., 630108, Russia, Novosibirsk, candidate of technical science, docent, docent of high geodesy department, tel. (383)3-43-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

Nikolay A. Teleganov
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo Ul., 630108, Russia, Novosibirsk, candidate of technical science, docent, docent of high geodesy department, tel. (383)3-43-29-11, e-mail: VG@ssga.ru

Near point at which it is impossible to perform GNSS – measurements the satellite receiver determinate position two points in geodetic coordinate system B, L, H. On point the first at which located near the point to perform measurement the horizontal angles between direction on point the second and direction on point the first, zenith distances this direction and slant distance of center points by tachymeter. Resolving forward and reverse geodetic problems calculation coordinate center point.

Key words: ellipsoid, forward and reverse geodetic problems, plump deviation.

В работе [1] представлены формулы Н.А. Телеганова для решения прямой и обратной геодезических задач в пространстве. Эти формулы могут быть использованы для приведения ГНСС-измерений к центру пункта.

Вблизи пункта, на котором невозможно выполнить ГНСС-измерения, определяются при помощи спутникового приёмника положения двух точек в геодезической системе координат: $B_1, L_1, H_1, B_2, L_2, H_2$. В точке 1, которая расположена ближе к пункту, тахеометром измеряются: горизонтальный угол – $\tilde{\beta}$ между направлениями на точку 2 и центр c, зенитные расстояния – $\tilde{Z}_{12}, \tilde{Z}_{1c}$ и наклонная дальность до центра пункта – D_{1c}. Чтобы точнее привести ГНСС-измерения к центру пункта, необходимо знать в точке 1 составляющие уклонения отвесной линии (УОЛ) ξ и η. Рассмотрим случай, когда азимутальные направления 1-2 и 1-с находятся в первой четверти, причем геодезический азимут направления 1-с меньше азимута 1-2.

Используя формулы пространственной обратной геодезической задачи, получим геодезический азимут нормального сечения – A_{12}:

$$N_i = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_i}}, \quad i = 1, 2; \quad \Delta N_2 = N_2 - N_1;$$

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta N_2 \sin B_2}{N_2 + \Delta N_2 \cos B_2}\right);$$

$$B_2' = B_2 - \gamma;$$

$$A_{12} = \operatorname{arctg}\left[\frac{\sin(L_2 - L_1)\cos B_2}{\cos B_1 \sin B_2 - \sin B_1 \cos B_2 \cos(L_2 - L_1)}\right],$$

где a, e^2 – соответственно, большая полуось и квадрат эксцентриситета эллипсоида.

Поправки за УОЛ в направления вычисляются по формулам:

$$\tilde{A}_{1c} = A_{12} - \tilde{\beta};$$

$$\xi_{12} = (\eta \cos A_{12} - \xi \sin A_{12}) \operatorname{tg} \tilde{Z}_{12}; \quad \xi_{1c} = (\eta \cos \tilde{A}_{1c} - \xi \sin \tilde{A}_{1c}) \operatorname{tg} \tilde{Z}_{1c}.$$

Введём поправку за УОЛ в угол и вычислим геодезический азимут нормального сечения направленного на центр:

$$\beta = \tilde{\beta} + (\xi_{12} - \xi_{1c}); \quad A_{1c} = A_{12} - \beta.$$

Определим зенитное расстояние Z_{1c}, отсчитываемое от направления нормали к эллипсоиду в точке 1, введя поправку за УОЛ:

$$\xi_{1c} = \xi \cos A_{1c} + \eta \sin A_{1c}; \quad Z_{1c} = \tilde{Z}_{1c} + \xi_{1c}.$$

В пространственной полярной системе координат с полюсом в точке 1 величины A_c, D_c, Z_c являются полярными координатами центра пункта. Теперь можно приступить к решению пространственной прямой геодезической задачи.

Определим приближённую широту B'_c и долготу L_c центра пункта по формулам:

$$\tau = D_c \cos A_c; \quad \sigma = \operatorname{arctg}\left(\frac{D_c \sin A_c}{Z_c}\right);$$

$$B'_c = \arcsin\left(\cos\sigma \cos B_1 + \sin\sigma \sin B_1 \cos A_c\right); \quad L'_c = L_1 + \arcsin\left(\frac{\sin\sigma \sin A_c}{\cos B'_c}\right).$$

С заданной погрешностью ε геодезическая широта может быть определена в результате реализации следующего итерационного процесса:

$$d = \frac{\tau}{\cos\sigma}; \quad \mu = N_1 e^2 \sin B_1; \quad i = 1; \quad B_c^1 = B'_c;$$

$$met: \quad N_c^i = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_c^i}}; \quad \Delta = N_c^i e^2 \sin B_c^i \cos B_c^i; \quad B_c^{i+1} = \operatorname{arctg}\left(\frac{d + \Delta}{d + \mu}\right);$$

если $\left| B_c^{i+1} - B_c^i \right| > \varepsilon$, тогда $i = i + 1$; перейти на метку met.

Геодезическая высота центра пункта вычисляется по формуле:

$$H_c = \frac{d \cos B_c^{i+1}}{\cos B_c^i} - N_c^i.$$

В результате определены искомые координаты центра пункта B_c, L_c, H_c.

Если заданы пространственные прямоугольные координаты $X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2$ точек 1 и 2, то удобно воспользоваться формулами В.П. Морозова [2].

Вначале находим геодезические координаты точки 1:

$$D = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}; \quad C = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}}; \quad p = \frac{Ce^2}{D}; \quad k = \frac{1}{1 - e^2}; \quad t_0 = \frac{Z_1}{D};$$

$$t_{i+1} = t_0 + p \frac{t_i}{\sqrt{k + t_i^2}}, \quad i = 0, 1, 2, \ldots;$$

$$B_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_1}{r_1}\right); \quad L_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_1}{X_1}\right); \quad H_1 = D_1 - \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_1}}\sqrt{1 - e^2}.$$

Прямоугольные координаты второй точки перевычислим в систему координат $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$, в которой ось $\bar{X}$ образуется в результате пересечения плоскости меридиана первой точки с экватором, ось $\bar{Z}$ совпадает с осью вращения эллипсоида, а ось $\bar{Y}$ дополняет систему до правой:

$$\bar{X}_2 = X_2 \cos L_1 + Y_2 \sin L_1; \quad \bar{Y}_2 = -X_2 \sin L_1 + Y_2 \cos L_1; \quad \bar{Z}_2 = Z_2.$$

Преобразуем эти координаты в топоцентрическую систему координат:

$$X_2' = (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)\sin B_1 - (\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1)\cos B_1;$$

$$Y_2' = \bar{Y}_2;$$

$$Z_2' = (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)\cos B_1 + (\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1)\sin B_1;$$

Вычислим геодезический азимут направления 1 – 2 и приближённый геодезический азимут направления 1 – с:

$$A_{12} = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_2'}{X_2'}\right); \quad A_{1c} = A_{12} - \tilde{\gamma}.$$

Введём поправку в измеренный угол за уклонение отвесной линии:

$$\delta_{12} = (\eta_1 \cos A_{12} - \xi_1 \sin A_{12})\operatorname{tg}\tilde{\varphi}_1; \quad \delta_{1c} = (\eta_1 \cos A_{1c} - \xi_1 \sin A_{1c})\operatorname{tg}\tilde{\varphi}_1;$$

$$\beta = \tilde{\beta} + (\delta_{12} - \delta_{1c}).$$

Уточним геодезический азимут направления 1 – с:

$$A_{1c} = A_{12} - \gamma.$$

Введём поправку за уклонение отвесной линии в измеренное зенитное расстояние:

$$\varepsilon_{1c} = \xi_1 \cos A_{1c} - \eta_1 \sin A_{1c}; \quad Z_{1c} = \tilde{Z}_{1c} + \varepsilon_{1c}.$$

Вычислим топоцентрические прямоугольные координаты центра пункта:

$$X_{1c} = D_{1c} \sin Z_{1c} \cos A_{1c}; \quad Y_{1c} = D_{1c} \sin Z_{1c} \sin A_{1c}; \quad Z_{1c} = D_{1c} \cos Z_{1c}.$$

Преобразуем эти координаты в систему координат $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$:

$$\bar{X}_C = X'_C \cos\xi + Z'_C \sin\xi;$$

$$\bar{Y}_C = Y'_C;$$

$$\bar{Z}_C = -X'_C \sin\xi + Z'_C \cos\xi.$$

Полученные координаты перевычислим в Гринвичскую пространственную прямоугольную систему координат X, Y, Z:

$$X_C = \bar{X}_C \cos\eta + \bar{Y}_C \sin\eta; \quad Y_C = -\bar{X}_C \sin\eta + \bar{Y}_C \cos\eta; \quad Z_C = \bar{Z}_C.$$

По представленным двум типам формул решения пространственных прямых и обратных геодезических задач был просчитан один и тот же тестовый пример, со следующими исходными данными:

$$a = 6378{,}80\ м; \quad e^2 = 0{,}0066; \quad \xi = 29{,}5''; \quad \eta = 51{,}1'';$$

$$B_1 = 50°00{,}00'; \quad L_1 = 80°00{,}00'; \quad H_1 = 150{,}00\ м;$$

$$B_2 = 50°00{,}60'; \quad L_2 = 80°01{,}01'; \quad H_2 = 160{,}00\ м;$$

$$\tilde{Z}_{12} = 86°23'; \quad \tilde{Z}_C = 88°21'; \quad D_C = 270\ м; \quad \tilde{\beta} = 42°01{,}5'.$$

Для вычисления по формулам В.П. Морозова геодезические координаты точек 1 и 2 были перевычислены в прямоугольные:

$$X_1 = 4468{,}78\ м, \quad Y_1 = 3639{,}94\ м, \quad Z_1 = 5206{,}12\ м;$$

$$X_2 = 4469{,}26\ м, \quad Y_2 = 3639{,}94\ м, \quad Z_2 = 5207{,}12\ м.$$

В результате вычислений по формулам Н.А. Телеганова, получены геодезические координаты центра пункта:

$$B_C = 50°00{,}60', \quad L_C = 80°00{,}01', \quad H_C = 155{,}00\ м.$$

По формулам В.П. Морозова вычислены прямоугольные координаты центра пункта:

$$X_C = 4468{,}98\ м, \quad Y_C = 3639{,}94\ м, \quad Z_C = 5206{,}62\ м.$$

Геодезические координаты пункта, которые определены по формулам Н.А. Телеганова, были пересчитаны в прямоугольные координаты. Они совпали с прямоугольными координатами, полученными по формулам В.П. Морозова.

Это говорит о том, что формулы Н.А. Телеганова верные и могут быть использованы для приведения ГНСС-измерений к центру пункта.

При измерении горизонтального угла, зенитных расстояний и наклонной дальности, требуется совместить точку пересечения горизонтальной и визирной осей тахеометра с точкой, где находился фазовый центр антенны. На практике выполнить это условие можно лишь приближенно. Целесообразно совместить по направлению отвесной линии вертикальные оси вращения антенны и тахеометра, но тахеометр установить выше антенны. Затем найти относительно центра точки 1 разность высот точек пересечения осей тахеометра и фазового центра антенны. Отложив при помощи отвеса и рейки с делениями эту разность от центра пункта, найти точку наведения для измерения тахеометром горизонтального угла, зенитного расстояния и наклонной дальности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Телеганов Н.А., Елагин А.В. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 238 с.
2. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. Изд. 2, перераб. и доп. – М., Недра, 1979. – 296 с.

© А.В. Елагин, Н.А. Телеганов, 2013

УДК 528.236.5

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ГНСС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОДЕРНИЗАЦИИ НА ЗСЖД

Иван Александрович Бунцев
Сибирский государственный университет путей сообщения, лаборатория диагностики дорожных одежд и земляного полотна, ведущий научный сотрудник, тел. 8-(913)-397-48-42, e-mail: geodep@ngs.ru

Вячеслав Павлович Славкин
ООО НТК «ЗаВеТ-Гео», группа разработки измерительной техники, ведущий инженер, тел. +7-923-233-92-20, e-mail: vispa@ngs.ru

В статье рассмотрены особенности применения данных спутниковых геодезических наблюдений при проведении работ по модернизации пути на западносибирской железной дороге.

Ключевые слова: система координат, цифровая модель, система автоматического управления, спутниковый геодезический приемник, автоматизация работ, глобальная навигационная спутниковая система.

COORDINATE SYSTEMS AND DIGITAL MODELS FOR AUTOMATIC CONTROL BASED ON GNSS DURING UPGRADE ON ZSZD

Ivan A. Buntsev
Siberian Transport University, 630049, D. Kovalchuk 191, the scientific and engineering road center, leading researcher, phone (913)397-48-42, e-mail: geodep@ngs.ru

Vyacheslav P. Slavkin
Scientific-technique Company “ZaVeT-Geo”, Russia, 630102, Novosibirsk, Voskhod 26/1 st., office 56, lead engineer, phone +7-923-233-92-20, e-mail: vispa@ngs.ru

The article describes the features of the application of satellite geodetic observations in the works of repairing the rail track on the West-Siberian railway.

Key words: system coordinate, digital model, automated control system, satellite geodetic receiver, automated work, global navigation satellite system.

Процесс модернизации на ЗСЖД в настоящее время в основном выполняется с использованием проектных данных в относительных величинах, при этом используются, как правило, расстояния между осями проектного и соседнего пути и величины превышения от заданной точки, рис. 1.

Для эффективного проведения работ по модернизации пути необходимо обладать качественной информацией о местности и ее изменениях. Одним из современных методов производства съемочных работ является спутниковый метод позволяющий определять местоположения с высокой точностью по данным спутниковых наблюдений вне зависимости от места, времени суток и по-

годы. Выполнение проектирования и подготовка проекта в геодезической системе координат позволяет повысить качество проектов и автоматизировать процесс проектирования.

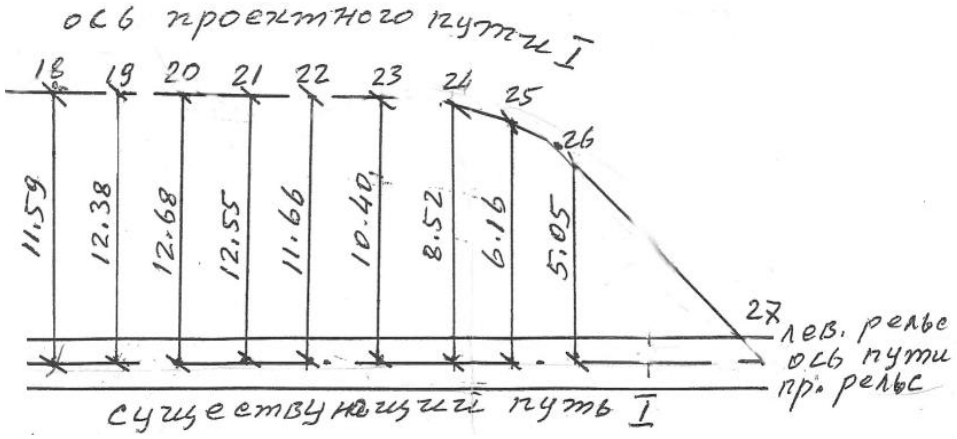


Рис. 1. Проектные данные участка работ

Для получения координат проекта производится высокоточная спутниковая геодезическая съемка пути. Для съемки пути используется аппаратно-программный комплекс АПК «Профиль», рис. 2.

Рис. 2. АПК «Профиль»

Структура определения геометрических параметров рельсовой колеи включает пространственно-временные данные, по которым вычисляются линейные координаты и геометрические параметры пути. Съемка участка пути с

использованием АПК «Профиль» выполняется с синхронизацией спутниковых данных и данных гироскопа. Основным достоинством данных, полученных с использованием АПК «Профиль», является однозначное определение местоположения любой точки пути. Данный подход позволяет использовать опорную сеть специальной реперной сети, пункты государственной геодезической сети или работать в условной системе координат, предварительно закрепив на местности временные репера. Референцные станции вырабатывают различные дифференциальные поправки, обеспечивая позиционирование как стационарных, так и подвижных объектов с субсантиметровой точностью. Дифференциальные поправки, формируемые референцными станциями, передаются по радиоканалам (УКВ-диапазон, GSM-диапазон, широкополосная связь и т.д.).

Системы координат, в которых осуществляется ввод данных и проведение работ, могут отличаться от выходных систем координат. Для перехода между различными системами координат используется набор параметров определяющих различие эллипсоидов, на которых базируются координатные системы. Это линейные элементы трансформирования, которые определяют сдвиг центра масс эллипсоида относительно общеземного и угловые элементы трансформирования, определяющие поворот эллипсоида относительно общеземного. Отличие одних и тех же координат в разных системах может достигать сотни метров. Для целей автоматизации проектирования можно использовать набор данных, элементами которого является топографо-геодезическая информация о местности являющаяся цифровой моделью пути. Цифровая модель пути описывает топографическую ситуацию и рельеф местности и позволяет ускорить процесс модернизации и реконструкции железнодорожного пути.

Данные, полученные с использованием АПК «Профиль», используются для формирования высокоточной цифровой модели пути с помощью программы «АПК ВЦМП», разработанной в научно-исследовательской лаборатории ДДОиЗП СГУПС. При работе в местной (условной) системе координат (МСК) выполняются спутниковые определения координат на известных реперах. Репера полностью закрывают выбранный участок пути, рис. 3.

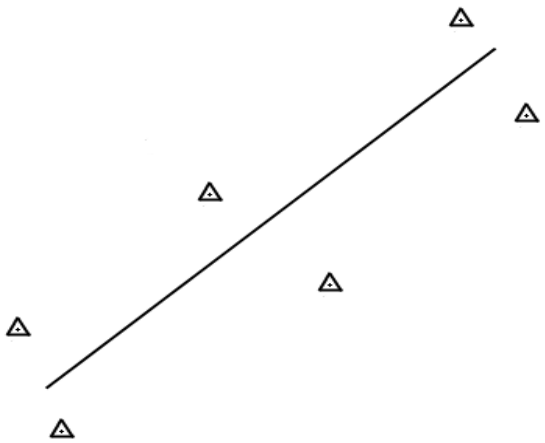


Рис. 3. Схема расположения реперов вдоль участка пути

При использовании проектных данных в относительных величинах, как правило, в виде расстояния между осями проектного и соседнего пути и величиной превышения от заданной точки, производится предварительное преобразование проекта в геодезические координаты. Перевод измеренных координат пути в проектное положение производится путем смещения под прямым углом к выбранному направлению.

Вывод: Автоматизация работ на основе использования цифровых моделей сокращает затраты труда и времени в несколько раз по сравнению с использованием для этих целей бумажных носителей информации.

© И.А. Бунцев, В.П. Славкин, 2013

УДК 629.783: 528.481

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД СОЗДАНИЯ ГОРОДСКОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ

Виктор Вильгельмович Яхман
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

В докладе представлена современная технология создания городской геодезической основы с применением комбинированного метода. В основу метода заложено оптимальное сочетание высокой точности современных активных спутниковых геодезических сетей и высокой надежности и гибкости, присущих традиционным линейно-угловым построениям. Такая методика позволит создавать и развивать качественную городскую геодезическую основу на всей городской территории, осуществлять мониторинг смещения геодезических пунктов и обеспечит выполнение топографо-геодезических и землеустроительных работ с учетом возросших потребностей интенсивно развивающегося городского и муниципального хозяйства.

Ключевые слова: современная технология создания городской геодезической основы, комбинированный метод, спутниковые измерения, активные спутниковые геодезические сети, мониторинг смещения геодезических пунктов, линейно-угловые измерения, городская полигонометрия, метод свободных станций, метод связующих точек.

COMBINE METHOD OF THE CONSTRUCTION OF CITY GEODETIC BASE

Victor V. Yakhman
docent of department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo st., phone: (383) 361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

In paper present the modern technology of construction city geodetic base applying the combine method. The basic method is optimal combination of high precision modern permanent satellite network and high reliability and flexibility traditional line-angle construction. This method will build and develop a quality city geodetic base on all city territory, and produce the monitoring displacement of geodetic points, and provide performance of topographic and geodetic work.

Key words: modern technology of construction city geodetic base, combine method, satellite observation, permanent base stations, monitoring displacement of geodetic points, line and angle measurements, city poligonometry, free stations method, tie points method.

В связи с развитием муниципальных, градостроительных, землеустроительных кадастровых систем, созданием геодезических и опорных межевых сетей в научно-технической литературе все чаще отмечается неудовлетворительное состояние геодезического обеспечения городов, которое в настоящее время не соответствует возросшим потребностям интенсивно развивающегося городского и муниципального хозяйства. Причин тому много, в том числе, и объективных. Это, прежде всего, не подготовленность геодезических служб к решению поставленных потребителями геодезической информации современных задач, требующих незамедлительного решения, организационная и финансовая

неопределенность предприятий и т. д. Большинство из них уже стали «классическими» и были вскрыты в научной и технической литературе в 60-80 годы, в связи с внедрением в топографо-геодезическое производство светодальномеров и электронных тахеометров.

Положение обострилось в связи с появлением программного документа «Концепция перехода топографо-геодезического производства на автономные методы спутниковых координатных определений» в условиях неудовлетворительного состояния геодезического обеспечения городских территорий. Хотя в данном документе и не говорилось о прямом запрете использования традиционных методов при развитии и реконструкции городской геодезической основы, многие авторы увидели решение проблемы геодезического обеспечения городских территорий с помощью применения только спутниковых технологий. Например, в проекте НТА «Инструкция по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS - г. Нижний Новгород, 2000г.» не было ни слова о городской полигонометрии и нивелировании. Как авторы данного проекта пытались решить проблемы геодезического обеспечения городских территорий и обеспечить требуемую точность и плотность геодезической основы?

Для решения сравнительно новой задачи по созданию и ведению высокоточного городского кадастра и решения землеустроительных задач в соответствии с требованиями НТА средняя квадратическая погрешность определения координат межевого знака относительно пунктов государственной геодезической сети должна быть не более 5 см. Это весьма жесткие требования. Более того, в развитых странах и в соответствии международным стандартом точности для решения этой задачи требуется городская геодезическая основа с погрешностью взаимного положения пунктов порядка 1-2 см. Однако следует отметить, что вопрос о повышении надежности определения координат городской геодезической основы в связи с возросшими требованиями до сих пор остается открытым.

Для достижения требуемой точности во многих крупных городах России стали выполнять работы по созданию и реконструкции городской геодезической основы с применением спутниковых технологий в соответствии с требованиями НТА [1-4]. Особо следует отметить работы [1-3], так как в них впервые предпринята попытка пересмотра технических требований предъявляемым к сетям сгущения городской геодезической основы. В НТА [4] данные параметры хоть и изменились, но отдельные требования остались без изменения. Например, при выполнении работ в городских условиях практически невозможно выполнить угловые измерения со средней квадратической ошибкой в 2" из-за горизонтальной рефракции. Более того, в данном НГА нет ни слова о повышении надежности сетей городской полигонометрии, которая, как известно, повышается за счет дополнительных связей.

По непонятной причине в данных НТА остался открытым вопрос о постоянном съемочном обосновании и координировании углов зданий и сооружений. Хотя при выполнении работ по реконструкции городской геодезической основы необходимо решить вопросы не только создания геодезических сетей с приме-

нением спутниковых технологий, но и вопросы, связанные с ее эксплуатацией. Ведь на практике 90% пользователей, как правило, выполняют технические работы в сжатые сроки и не имеют дело с пунктами высокоточных спутниковых сетей. Вопрос как с помощью только спутниковых измерений можно координировать углы зданий остается открытым. Более того, при выполнении спутниковых измерений в условиях городской застройки исполнители сталкиваются с проблемами их выполнения, так как очень трудно найти на местности точку, которая бы удовлетворяла требованиям открытости радиогоризонта на угле возвышения в 15°. Например, при выполнении работ по реконструкции городской геодезической сети г. Новосибирска, из обследованных 218 пунктов триангуляции только 17 пунктов имели приемлемые условия для спутниковых измерений. В условиях застроенной территории качественные точные спутниковые измерения можно получить только в том случае, если они выполняются на пунктах, установленных на кровле зданий и сооружений. Однако в современных условиях доступ на кровлю зданий для выполнения спутниковых измерений веьма ограничен.

На практике имеются и другие факторы, ограничивающие выполнение точных спутниковых измерений в городах. На городской территории имеются множество источников радиопомех в полосе частот сигналов спутников. Такие помехи могут быть как явными, так и неизвестными, разовыми и долговременными. Например, долгое время институт метрологии не мог принимать спутниковые сигналы ГЛОНАСС из-за радиопомех, источником которых был штаб СибВО. Наличие в спутниковых приемниках опции шумоподавления не всегда позволяет отфильтровать различного рода помехи, мешающие работе спутникового приемника, что, в конечном счете, сказывается на точности спутниковых измерений. Более того, при создании спутниковых сетей в городах исполнители сталкиваются с так называемой многопутностью. Практика выполнения спутниковых измерений в застроенной территории показывает, что ошибка координат пунктов в этом случае может достигать нескольких метров. Причем ошибка определения геодезической высоты превышает ошибку в плане в несколько раз. Многопутность может возникать не только при выполнении спутниковых измерений вблизи зданий и деревьев, но и столбов. Практика выполнения спутниковых измерений в городах показала, что ее не возможно обнаружить по невязкам в замкнутых фигурах спутниковой геодезической сети.

Все это существенно ограничивает возможности использовании спутниковых измерений в городах.

В последнее время в крупных городах создаются активные спутниковые геодезические сети, которые позволяют не только определять координаты пунктов, но и осуществлять мониторинг смещения геодезических пунктов.

Однако создание и развитие городской геодезической основы должно базироваться на оптимальном сочетании высокоточных спутниковых геодезических сетей и высокой надежности и гибкости, присущих традиционным линейно-угловым построениям. Для этих целей целесообразно использовать широко известный метод свободных станций и метод связующих точек [5-9], в отличии

от полигонометрии позволяют в реальном времени из математической обработки контролировать на каждой станции ошибки в ориентировании и координатах пунктов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные положения по созданию и обновлению опорной геодезической сети г. Москвы (ОГС Москвы), ГКИНП (ОНТА)–01–268–02.
2. Руководство по выполнению наблюдений на пунктах ОГС Москвы спутниковыми геодезическими системами, ГКИНП (ОНТА)–01–266–02.
3. Руководство по камеральной обработке результатов измерений, выполненных при создании и обновлении ОГС Москвы. ГКИНП (ОНТА)–01–269–02., М.: ГУП «Мосгоргеотрест», 2002.
4. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. – М.: ЦНИИГАиК, 2003.
5. Яхман В.В. Технологические аспекты создания высокоточных геодезических сетей с применением современных спутниковых приемников [Текст] / В.В. Яхман, Н.В. Гонцова, Ю.В. Сурнин //Современные проблемы геодезии и оптики: Сб. материалов LIII междунар. научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА. Ч.III/ СГГА.- Новосибирск, 2003, С. 185-188.
6. Яхман В.В. Методика развития съёмочных геодезических сетей посредством связующих точек [Текст] // Крупномасштабные топографические съёмки: Сб. научных трудов НИИПГ, вып. 11. - М.: ЦНИИГАиК, 1987– С. 102–108.
7. Яхман В.В. Комплексное применение метода связующих точек в инженерно - геодезических работах [Текст] // Геодезическое обеспечение строительства, монтажа и эксплуатации инженерных сооружений: Межведомственный сб. научных трудов НИИПГ. – М.: ЦНИИГАиК, 1988. – С. 44-56.
8. Яхман В.В. Создание геодезических сетей методом связующих точек [Текст] // Вопросы гидравлического обоснования путевых работ на реках: Сб. научных трудов. - Новосибирск, изд. НИИВТ, 1989. – С. 64-71.
9. Яхман В.В. Унифицированная технология создания геодезической разбивочной основы [Текст] // Геодезическое и фотограмметрическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений: Сб. научных трудов НИИПГ. – М.: ЦНИИГАиК, 1991. – С. 12-18.

© В.В. Яхман, 2013

УДК 629.783:551.24

О РАСХОДИМОСТИ КОДОВЫХ И ФАЗОВЫХ ГНСС ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ

Константин Михайлович Антонович
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Николай Сергеевич Косарев
Сибирская Государственная Геодезическая Академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, Плахотного 10, магистрант, тел. 8-913-706-9195, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Ионосфера является рассеивающей средой, вследствие чего фазовая и групповая скорости оказываются одинаковыми по величине, но противоположными по знаку, что приводит к расходимости кодовых и фазовых псевдодальностей. Получено уравнении для расходимости кодовых и фазовых ГНСС псевдодальностей. Выполнены вычисления, подтверждающие реальность этого явления.

Ключевые слова: ГНСС, ионосферное влияние, фазовая скорость, групповая скорость, явление расходимости.

ABOUT THE DIVERGENCY OF THE CODE AND PHASE GNSS PSEUDORANGES

Konstantin M. Antonovich
Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo Ul., doctor of technical science, docent, professor of astronomy and gravimetry department, tel. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Nikolay S. Kosarev
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo Ul., phone: 8-913-706-9195, gradient student, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

The ionosphere is dispersive medium therefore the phase and group velocity have the same values and opposite signs and evoke the divergence of the code and phase pseudoranges. The equation for code and phase GNSS pseudorange divergency is obtained. The calculations are carried out which justify the reality of this phenomenon.

Key words: GNSS, ionosphere effect, phase velocity, group velocity, divergency phenomenon.

Как известно, фазовую скорость электромагнитной волны v_ϕ в космосе можно представить как

$$v_\phi = \lambda f \tag{1}$$

где λ – длина волны, а f – частота. Модулирующий сигнал распространяется в вакууме со скоростью v_g, которая называется групповой скоростью. Соотноше-

ние между групповой и фазовой скоростью было найдено более 100 лет назад Рэлеем [7]:

$$v_g = v_\phi - \lambda \cdot \frac{dv_\phi}{d\lambda}, \tag{2}$$

Если электромагнитная волна распространяется в вакууме, то фазовая и групповая скорости одинаковы и равны скорости света в вакууме, и в таком случае среда называется не рассеивающей (не диспергирующей), в противном случае среда называется рассеивающей (диспергирующей). Вводятся два коэффициента преломления n_g и n_ϕ таким образом, что справедливы соотношения

$$v_g n_g = c \tag{3}$$

и

$$v_\phi n_\phi = c \tag{4}$$

Эти два коэффициента называются показателями преломления. Они характеризуют задержки в среде или опережение в скорости распространения сигнала от скорости света в вакууме. Эти опережения или задержки можно найти как интегралы по пути распространения сигнала:

$$I_\phi = \int (n_\phi - 1) ds, \tag{5}$$

$$I_g = \int (n_g - 1) ds. \tag{6}$$

В результате вычисления этих интегралов получают [5, 6]:

$$I_\phi = -I_g = -\frac{40.3}{f^2} \int N_e ds, \tag{7}$$

где N_e – электронная плотность. То есть ионосферное влияние на фазовые и кодовые измерения имеет противоположные знаки и примерно одинаковую величину. Полное содержание электронов (TEC) в зенитном направлении можно определить как

$$TEC = \int_{zenith} N_e ds, \tag{8}$$

его можно вычислить по специальным моделям. Для перехода от TEC в зенитном направлении к наклонному пути прохождения сигнала, необходимо вводить так называемый фактор наклона или ионосферную функцию отображения.

Электронная плотность всегда положительная, поэтому групповая задержка I_g положительная, а фазовая задержка I_p – отрицательная, почему ее иногда и называют фазовым опережением. То есть ионосфера задерживает передачу кодового сигнала и ускоряет передачу фазового сигнала. Других альтернатив для выбора коэффициента преломления нет: либо среда не рассеивающая, и тогда групповая и фазовая скорости одинаковые (это происходит в тропосфере), либо среда рассеивающая, и тогда эти скорости равны по величине, но противоположны по знаку, причем фазовая скорость оказывается больше скорости света. Тот факт, что $c_p > c$ не противоречит теории относительности, потому что энергия, то есть модуляция, распространяется со скоростью $c_g < c$ [5, стр. 294].

В последнее время на Интернет-форумах появились высказывания, ставящие под сомнение правильность обработки ГНСС измерений. Основное возражение касается кажущегося противоречия с теорией относительности при учете влияния ионосферы на фазовые измерения. Что можно ожидать от того, что фазовой скорости нет, и ионосферное опережение заменить на групповую задержку, то есть изменить знак ионосферной поправки в результаты фазовых измерений?

Фазовые псевдодальности окажутся преувеличенными на несколько метров, в результате чего будут наблюдаться расхождения в расстояниях между пунктами, измеренных фазовым методом ГНСС и лазерными дальномерами или РСДБ, значительно превышающими точность этих методов. Высоты пунктов, определенные по фазовым измерениям в абсолютном методе, будут на несколько метров преуменьшенными, причем ошибка будет зависеть от несущей частоты. Произойдут изменения в масштабе спутниковых геодезических сетей, построенных по ГНСС измерениям по сравнению с традиционными сетями. До сих пор такие явления не наблюдались (см., например, [4]). И, наконец, исчезнет явление расходимости (дивергенции) фазовых и кодовых псевдодальностей.

Для вывода величины расходимости возьмем уравнения фазовой и кодовой псевдодальностей, измеренных приемником r на спутник s в моменты времени по часам приемника t_i [1]:

$$\begin{aligned}\Phi_r^s(t_i) &= \rho_r^s(t_i, t_i - \tau_{r,i}^s) - I_{r,i}^s + T_{r.i}^s + \delta m_{r,i}^s + c[dt_r(t_i) - dt^s(t_i - \tau_{r,i}^s)] + \\ &+ c[\delta_r(t_i) + \delta^s(t_i - \tau_{r,i}^s)] + \lambda[\phi_r(t_0) - \phi^s(t_0)] + \lambda N_r^s + \varepsilon_{r,i}^s,\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}P_r^s(t_i) &= \rho_r^s(t_i, t_i - \tau_r^s) + I_{r,i}^s + T_{r,i}^s + dm_{r,i}^s + \\ &+ c[dt_{r,i}(t) - dt^s(t_i - \tau_{r,i}^s)] + c[d_r(t_i) + d^s(t_i - \tau_{r,i}^s)] + e_{r,i}^s,\end{aligned} \tag{10}$$

В уравнениях (9), (10): τ_r^s - время прохождения сигнала от антенны спутника до антенны приемника, $\rho_r^s(t, t - \tau_r^s)$ - геометрическая дальность, то есть расстояние между спутником в момент выхода сигнала и приёмником в момент

приёма сигнала, I_r^s - ионосферная задержка, T_r^s - тропосферная задержка, dt_r, dt^s - поправки часов соответственно для приемника и для спутника, dm_r^s, δm_r^s - влияние многопутности на кодовые и фазовые измерения, $d_r, d^s, \delta_r, \delta^s$ - запаздывания сигналов в цепях измерения псевдодальности и фазы в приемнике и на спутнике, $\phi_r(t_0), \phi^s(t_0)$ - начальные фазы генераторов приемника и спутника, N_r^s - начальная целочисленная неоднозначность фазы, e_r^s и ε_r^s - шумы измерения кодовой и фазовой псевдодальностей. При этом

$$dm_r^s >> \delta m_r^s \text{ и } e_r^s >> \varepsilon_r^s. \tag{11}$$

Вычтем из каждой *i*-й фазовой псевдодальности ее начальное значение, то есть при *i*=1:

$$[illegible] \tag{12}$$

В этой разности исключаются начальные неоднозначности фазы N_r^s. Проделаем такую же операцию с P(Y)-кодовыми псевдодальностями:

$$\begin{aligned} &\mathrm{P}_r^s(t_i) - P_r^s(t_1) = [\rho_r^s(t_i, t_i - \tau_r^s) - \rho_r^s(t_1, t_1 - \tau_r^s)] + (I_{r,i}^s - I_{r,1}^s) + \\ &+ (T_{r,i}^s - T_{r,1}^s) + (dm_{r,i}^s - dm_{r,i}^s) + c[dt^s(t_i - \tau_{r,i}^s) - dt^s(t_1 - \tau_{r,1}^s)] + e_r^s\sqrt{2}. \end{aligned} \tag{13}$$

Заметим, что шумы здесь вычитаются как случайные числа. Влиянием ошибок часов спутника, имеющих нестабильность на уровне 10^{-13} можно пренебречь [2]. То же самое можно сказать о часах приемника, если для этого использовать атомные часы или водородный генератор. Тогда с учетом замечаний (11) можно найти расходимость кода и фазы div(P,ϕ) как:

$$\begin{aligned} &\mathrm{div}(P,\phi) = [\mathrm{P}_r^s(t_i) - P_r^s(t_1)] - [\Phi_r^s(t_i) - \Phi_r^s(t_1)] = \\ &= (I_{r,i}^s - I_{r,1}^s)_P + (I_{r,i}^s - I_{r,1}^s)_\phi + (dm_{r,i}^s - dm_{r,1}^s) + e_r^s\sqrt{2}. \end{aligned} \tag{14}$$

В уравнении (14) разности ионосферных задержек помечены соответствующими индексами *P* или ϕ, в зависимости от их происхождения. Необходимо убедиться, что кодовая многопутность отсутствует в измерениях или пренебрежимо мала, и что нет скачков циклов в непрерывной фазе. Для этого можно воспользоваться методом контроля кодовых и фазовых псевдодальностей, который описан в работе [3].

Для исследования и проверки теоретических утверждений был взят суточный файл измерений с дискретностью 30 секунд, полученный в результате наблюдений двухчастотным двухсистемным ГНСС приёмником фирмы Topcon, оснащённым водородным генератором частоты, на станции Онсала (Швеция) от 31 марта 2011 года. Файл наблюдений доступен в сети Интернет, на сайте Международной ГНСС Службы (МГС). Из полученного файла наблюдения с помощью утилит фирмы Javad (RIN2JPS и JPS2RIN) были выделены *P* – кодовые и фазовые псевдодальности для спутников G13, G23 и G29 системы GPS.

Выделенные *P* – кодовые и фазовые псевдодальности были обработаны в программном продукте *Microsoft Excel*. В результате были получены численные значения расходимости кода и фазы по формуле (14). При отсутствии расходимости кодовых и фазовых псевдодальностей разность ионосферных задержек была бы равна нулю и осталось бы только влияние кодовой многопутности и шума кодовых измерений, вследствие чего кривая была бы близка к оси абсцисс, отступая от нее на величину разности влияния многопутностей. При наличии расходимости кода и фазы кривые будут начинаться около нуля, а максимальные значения будут получаться вблизи точки с максимальной высотой спутника над горизонтом. Величина расходимости будет достигать значений порядка 5 м по абсолютной величине для ночных измерений и порядка 10 – 15 м для дневных.

Полученные нами результаты представлены на рис. 1 – 3.

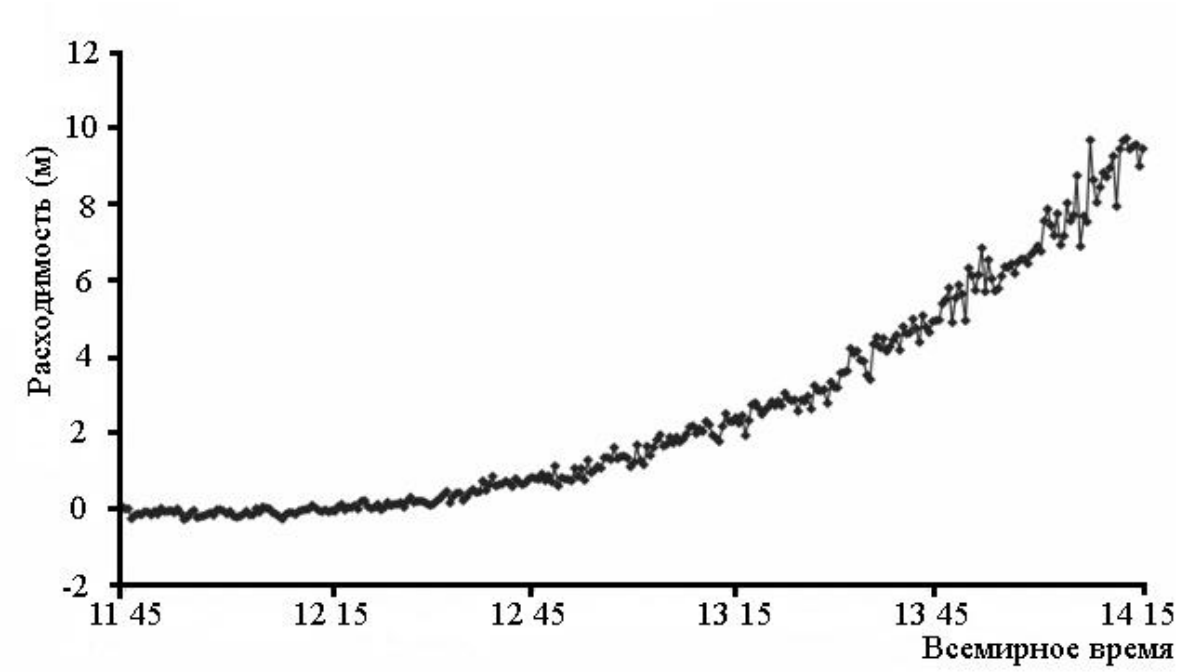


Рис. 1. График дивергенции кодовой и фазовой псевдодальности спутника G13 (дневное прохождение)

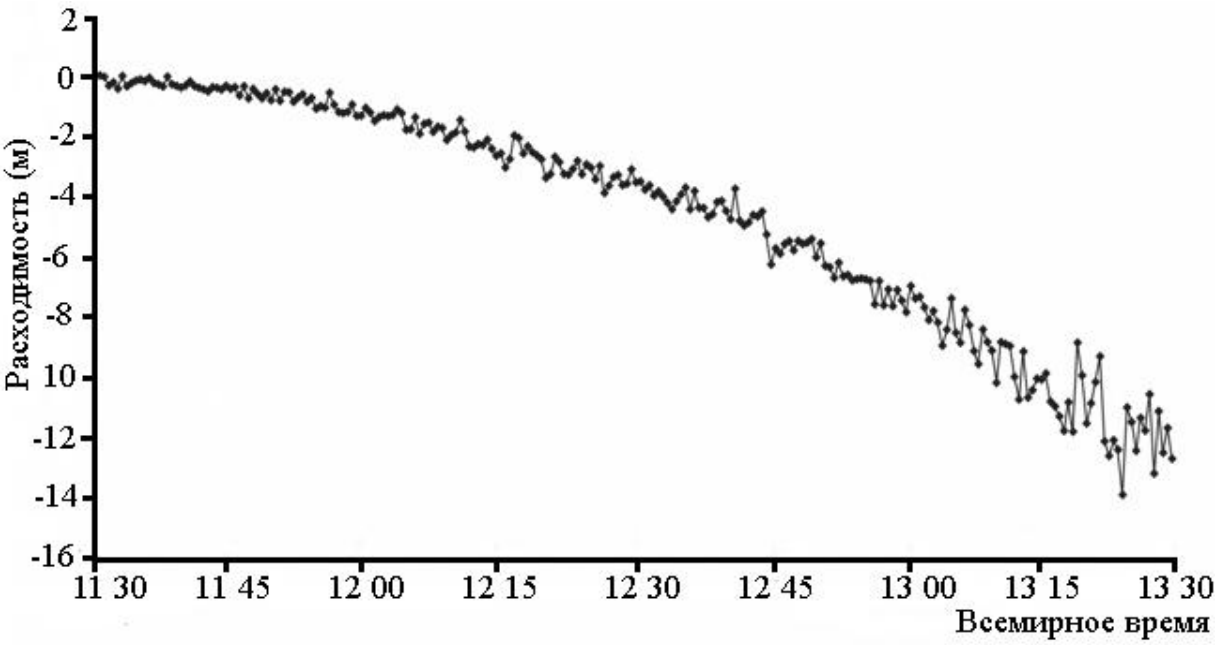


Рис. 2. График дивергенции кодовой и фазовой псевдодальности спутника G23 (дневное прохождение)

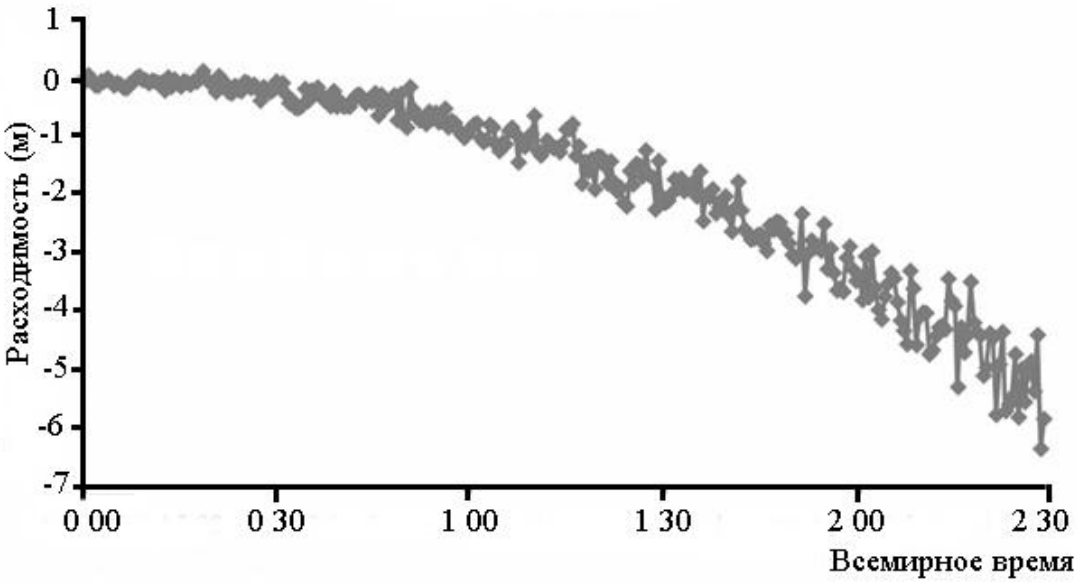


Рис. 3. График дивергенции кодовой и фазовой псевдодальности спутника G29 (ночное прохождение)

Выводы: В результате анализа рис. 1 - 3 можно сказать, что вид графиков полностью соответствует случаю, когда ионосферное влияние на кодовые и фазовые псевдодальности имеет противоположный знак, когда фазовая и групповая скорости одинаковы по величине и противоположны по знаку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] (том 1). – М.: Картгеоцентр; Новосибирск: Наука. – 2005. – 334 с.

2. Антонович К.М. Об одной возможности контроля непрерывной фазы несущей при ГНСС наблюдениях [Текст] / К.М. Антонович, Н.С.Косарев // Сборник Материалов межд. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск, Т. 1, Ч. 2. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 164-168.

3. Антонович, К. М. Метод контроля кодовых и фазовых псевдодальностей в пространстве координат [Текст] / Антонович К. М., Косарев Н. С. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2012. – №2/1. – с. 11 – 15

4. Антонович К.М. Сравнение результатов линейных измерений, выполненных спутниковыми и традиционными методами геодезии [Текст] / К.М. Антонович, А.А. Струков // Сборник Материалов межд. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апреля 2010 г., Новосибирск, Т. 1, Ч. 3. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 38-42.

5. Leick A. GPS Satellite Surveying [Text] / A. Leick. - New York: A Willey-Interscience Publication. – 1995. - 560 p. - Англ.

6. Misra, P.N. Global Positioning System. Signals, Measurements and Performance [Text] / P.N. Misra, P. Enge – USA: Ganga-Jamuna Press. – 2001. – 390 p. – Англ.

7. Xu, Guochang. GPS. Theory, algorithms and applications [Text] / Guochang Xu. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. – 2003. – Англ

© К.М. Антонович, Н.С. Косарев, 2013

УДК 528.5

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ПРОФИЛЬ» ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Андрей Викторович Антипов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ведущий инженер лаборатории «Диагностики дорожных одежд и земляного полотна», тел. 8-(913)-899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

Андрей Владимирович Карасюк
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, тел. 8-(923)-224-86-68, e-mail: karasiykandrey@mail.ru

В статье представлена технология мониторинга железнодорожного полотна для целей капитального ремонта с использованием аппаратно-программного комплекса «Профиль», показаны достоинства применения нового метода. Разработанная технология апробирована при работах по выправке пути участка железной дороги Чик - Обь.

Ключевые слова: продольный профиль, АПК «Профиль», точность.

HARDWARE-SOFWARE SYSTEM «PROFILE» APPLICATION FOR RAILROAD GENERAL OVERHAUL

Andrey V. Antipov
Siberian Transport University, 191 D. Kovalchuk, 630108, Russia, Novosibirsk, senior engineer, "Road and road bed monitoring" laboratories, tel. (913)899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

Andrey V. Karasiyk
Siberian Transport University, 191 D. Kovalchuk, 630108, Russia, Novosibirsk, PhD student, tel. (923)224-86-68 e-mail: karasiykandrey@mail.ru

Railroad monitoring technique for overhaul goals by means of hardware-software system «Profile» and new method application advantages are presented in the article. Developing technique is approved in bearing the way of railway section Chik-Ob.

Key words: profile, hardware-software system «Profile», accuracy.

Современный рынок геодезических приборов предлагает различные технические средства и программные продукты (ПП) для получения и обработки метрических данных о местности, которые отличаются от своих аналогов функциональными возможностями, автоматизацией различных процессов, а также ценой.

На сегодняшний день для мониторинга железнодорожного полотна (верхнего строения пути) при его капитальном ремонте используются традиционные геодезические приборы, такие как нивелир и электронный тахеометр, которые обладают такими недостатками как: низкая детализация съемки, необходимость смены станций, накопление ошибки при прокладке хода, низкая степень автоматизации процессов получения и обработки информации для получения геометрических параметров (рихтовки, возвышение рельса, просадок, ширины колеи). Наиболее

перспективным для получения геометрических параметров железнодорожного полотна является применение аппаратно-программного комплекса (АПК) «Профиль», который предназначен для измерения: плановых координат, высот, продольного профиля, расстояния, взаимного расположения одной рельсовой нити относительно другой, ширины рельсовой колеи, положения рельсовых нитей в плане и положения рельсовых нитей в вертикальной плоскости.

Технические характеристики АПК «Профиль» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристика АПК «Профиль»

Наименование параметра	Значение параметра	
	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Координаты	99,99 км	10 мм/км
Расстояние	100 км	±0,01 %
Высота	9,99 км	±25 мм/км
Ширина колеи	1505-1560 мм	±1 мм
Уровень	0-300 мм	± 0,5 мм
Рихтовка	±160 мм	± 2 мм
Просадка	±50 мм	1 мм

Для мониторинга железнодорожного пути при его капитальном ремонте с использованием созданного комплекса разработана технология, представленная на рис. 1.

В начале работы необходимо выполнить рекогносцировку местности, выбрать места расположения базовых станций таким образом, чтобы они равномерно располагались вдоль маршрута съемки и угол возвышения не превышал 10°.

Координаты планово-высотного обоснования необходимо определить с использованием спутниковой аппаратуры позиционирования (ГНСС), точки располагать таким образом, чтобы расстояние от базы до системы автоматического управления (САУ) не превышало 25 км.

На начальном этапе требуется выполнить сборку АПК «Профиль». Затем нужно выполнить калибровку аппаратуры – определить масштабные коэффициенты. Калибровка датчика пути выполняется по стандартной схеме, путем сравнения измеренного и эталонного расстояний на участке 200 м.

Затем требуется выполнить калибровку ширины колеи следующим образом: подвижной шток оси тележки выдвигается на величину, близкую к максимальной, на экране КПК в соответствии с установленным масштабным коэффициентом отображается ширина колеи, которая измеряется дополнительным

средством (шаблоном, рулеткой, штангенциркулем); аналогичные операции выполняются с прижатым штоком оси тележки. В сплывающем окне программного обеспечения (ПО) указываем разность между величиной шаблона при максимально выдвинутом штоке и минимальном, после чего автоматически будет пересчитан масштабный коэффициент.

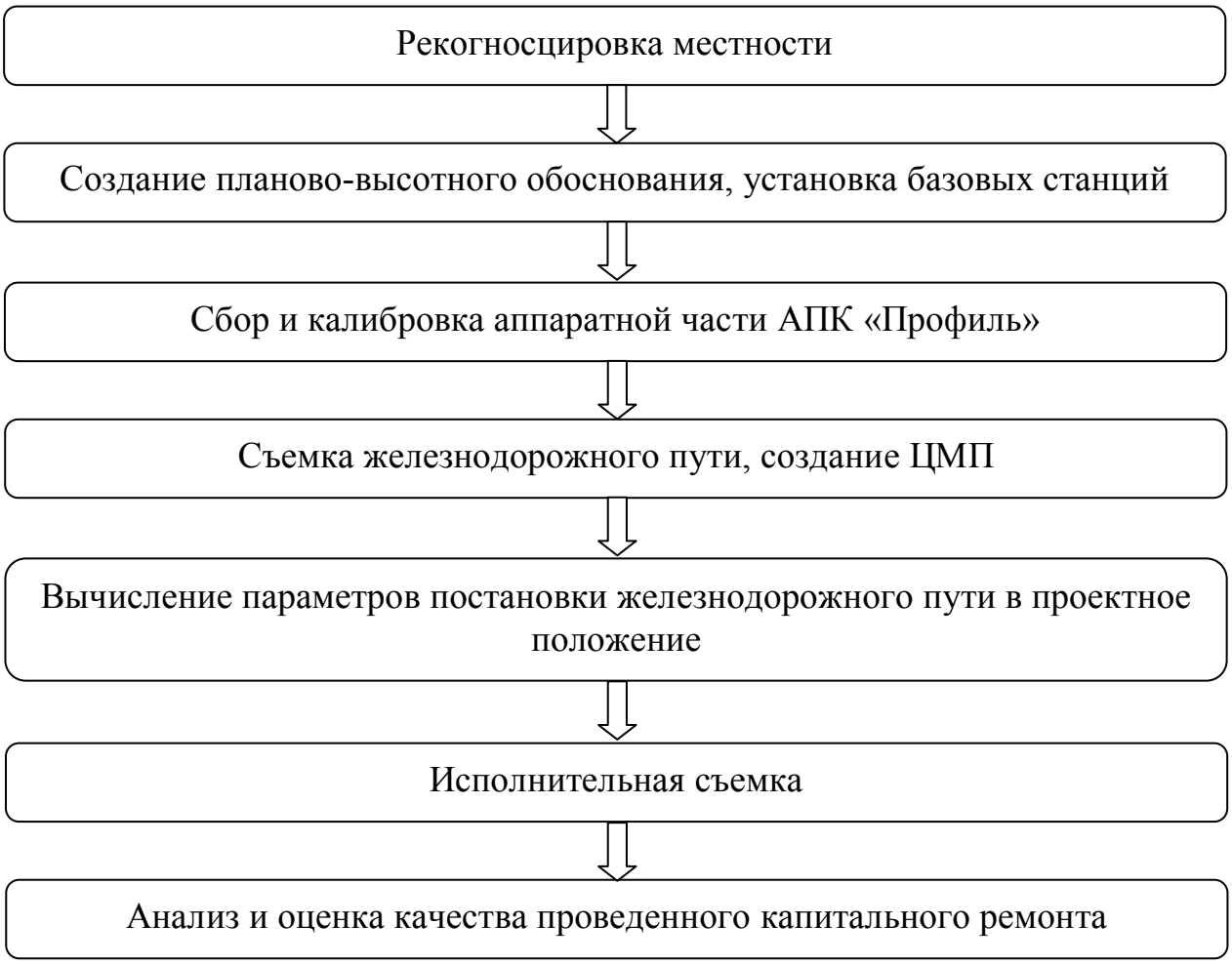


Рис. 1. Технология мониторинга железнодорожного пути с использованием АПК «Профиль»

Последней производится калибровка смещения нуля блока пространственной ориентации. При выполнении данной операции требуется выполнение двух условий: чтобы блок оставался неподвижным и работал не менее 15 мин. Число накоплений измерений задаем не менее 5000. В результате выполнения данной операции вычисляются поправочные коэффициенты для азимута, продольного и поперечного уклона, которые будут выводиться в измеренные углы. Данный вид калибровки необходимо выполнять в процессе работы через каждые 40-50 мин.

После установки оборудования на платформу ходовой тележки и его калибровки необходимо задать начальные условия, к которым относятся:

1) число меток, через которое будет отображаться информация об измеряемых параметрах на экране;

2) число меток, через которые будут записываться измеряемые параметры;

3) начальное значение ширины колеи – это ширина тележки в максимально сжатом по шаблону состоянии;

4) начальное значение поперечного уклона (в миллиметрах) определяется по шаблону;

5) начальное значения пути (в метрах) устанавливается по исходному пикетажу;

6) имя оператора, который выполняет измерения;

7) дата проведения измерения.

Необходимо указать имя файла, в который будут записываться данные и папку, где он будет храниться.

Затем выполняется непосредственно съемка. В процессе движения тележки значения измеряемых параметров будут меняться через установленный интервал. Рекомендуемая скорость движения 5км/ч, время остановки (во время измерений) при линейной привязке к километровым знакам и пикетам должно быть минимальным. Все данные записываются в файл.

В специальном ПП на основе полученных с помощью АПК «Профиль» данных и проектных значений железнодорожного полотна вычисляются параметры его постановки в проектное положение.

Полученная информация используется в системах автоматического управления рихтованных и щебнеочистительных машин.

После постановки пути в проектное положение специализированными машинами выполняется контроль качества проведенных работ с использованием АПК «Профиль».

Разработанная методика апробирована на участке железной дороги Чик-Обь при выполнении работ по его капитальному ремонту. Применение АПК «Профиль» позволило в 5 раз сократить время производства полевых и камеральных работ соответственно. Точность определения координат головки рельсы не превышала 2 см., что значительно выше, чем при использовании традиционных геодезических методов. Полученные результаты соответствует требованиям [1]. Использование информации, полученной железнодорожной тележкой в САУ повысило актуальность проектов и, соответственно, качество выполнения работ, сократило время на их выполнение.

Функциональные возможности АПК «Профиль», позволяют при капитальном ремонте выполнять экспертизу, подготовку проекта для САУ и исполнительные съемки по определению проектного положения железнодорожного пути и геометрических параметров удовлетворяющих [2], соответствуя в полном объеме требованиям к измерительным средствам для капитального ремонта железнодорожного пути.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ЦПТ - 53 – Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. – МПС. – 2003. – 183 С.
2. ЦП - 515 – Инструкция по расшифровки лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. – МПС. – 1997. – 17 С.

© А.В. Антипов, А.В. Карасюк, 2013

УДК 528.063.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОДНОГО ПУНКТА В ОБЩЕЗЕМНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЛУЧЕВЫМ И СЕТЕВЫМ СПОСОБАМИ ПО ГНСС-ИЗМЕРЕНИЯМ

Алексей Алексеевич Струков
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, e-mail: sgalex@bk.ru

В статье приводятся результаты сравнения двух методов привязки определяемого пункта к постоянно действующим станциям Международной ГНСС службы: сетевого и лучевого. Наиболее часто применяется лучевой метод, т.к., включает большее количество векторов базовых линий. Показывается, что оценка точности геоцентрических координат пункта, полученная лучевым методом завышается примерно в 2 раза по сравнению с сетевым.

Ключевые слова: геоцентрические координаты, центральная геодезическая система, сетевой и лучевой способы.

DETERMINATION OF THE POSITION OF SINGLE POINT IN COMMON TERRESTRIAL COORDINATE SYSTEM THE RADIAL METHOD AND THE NETWORK METHOD OF GNSS-MEASUREMENTS

Aleksey A. Strukov
Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo, e-mail: sgalex@bk.ru

The paper presents the results of comparing the two methods defined of referencing points to permanent stations of the International GNSS Service: network and radial. The most frequently used is radial method, because he includes a more number of vectors baseline. Showed that the estimation accuracy of geocentric coordinates of points calculated radial methods overestimated approximately 2-fold compared with the network method.

Key words: geocentric coordinates, central geodetic system, network and radial methods.

Одним из назначений локальных спутниковых геодезических сетей (СГС) является распространение геоцентрической системы координат на определенных участках земной поверхности, например, при создании наземной инфраструктуры ГНСС и обеспечения математической связи с местными системами координат. При этом координаты пунктов СГС могут определяться в некоторой геоцентрической системе координат, ошибка установления которой зависит от навигационной ошибки исходного пункта СГС. Для устранения навигационной ошибки координаты исходного пункта определяются относительным методом космической геодезии в общеземной системе координат (ОЗСК), реализуемой сетью геодезических пунктов на земной поверхности. Наиболее точной реализацией ОЗСК является Международная земная координатная основа (ITRF), поддержанием которой занимается Международная ГНСС служба (МГС). На территории России ОЗСК реализована пунктами спутниковой геодезической сети новой структуры. Их положение определено в геоцентрической геодезиче-

ской системе координат России (ГСК-2011), введенной Постановлением Правительства РФ в конце 2012 г. Уравнивание ГСК-2011 выполнялось с координатами пунктов МГС в системе ITRF в качестве исходных [1].

Существует несколько способов определения положения одного пункта в ОЗСК. Наиболее распространенные из них схематично представлены на рис. 1.

Рис. 1. Способы определения координат наземного пункта в ОЗСК

В данной статье рассматривается относительный способ определения координат одного пункта в ОЗСК на основе привязки к пунктам МГС. Его отличие от других способов заключается в общедоступности координатной и измерительной информации и относительная простота реализации с использованием коммерческого программного обеспечения, разрабатываемого производителями спутниковой аппаратуры (Trimble Navigation Ltd., Leica Geosystems и др.).

Привязка определяемого пункта к постоянно действующим станциям МГС с использованием коммерческих программ может выполняться двумя способами: сетевым и лучевым (см. рис. 2). Отличие сетевого способа от лучевого состоит в том, что его реализация включает в число измеренных величин векторы базовых линий между исходными пунктами при выполнении уравнивания (см. рис. 2а). Его преимущество заключается в возможности контроля по невязкам в замкнутых фигурах, что нельзя выполнить, применяя лучевой способ. В то же время, лучевой способ позволяет при одном и том же количестве сеансов, что и в сетевом способе, сформировать большее число независимых векторов базовых линий, сходящихся на определяемом пункте (см. рис. 2б).

Цель данного эксперимента – показать на реальном объекте, что уравнивание СГС с привязкой определяемого пункта лучевым способом дает завышенную оценку точности по сравнению с привязкой сетевым способом. При этом и в сетевом и в лучевом способе используются одни и те же файлы синхронных спутниковых наблюдений, выполненных на пунктах МГС и определяемом пункте NSKW[1]. На рис. 2*Рис. 2* показана сформированная СГС с двумя способами привязки пункта NSKW.

[1] Пункт NSKW был принят за исходный во время выполнения работ по созданию геодезической сети активных базовых станций на территории Новосибирской области в рамках Федеральной целевой программы ГЛОНАСС.

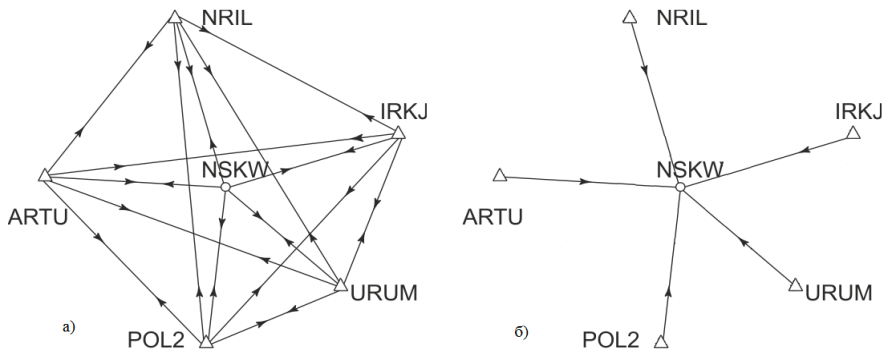


Рис. 2. СГС в виде центральной системы из пяти исходных пунктов МГС и одного определяемого NSKW. Способы привязки пункта NSKW: а) сетевой, б) лучевой

Входными данными для эксперимента служили «измеренные», т.е., полученные из обработки в программе Trimble Geomatics Office (TGO), векторы базовых линий за период наблюдений с 23.01.2008 по 28.01.2008 в количестве 30 независимых векторов базовых линий. Для сравнения с результатами, полученными из уравнивания в TGO, приведены результаты определения положения пункта NSKW в ОЗСК с помощью метода Precise Point Positioning (PPP) [2].

Первый эксперимент заключается в выполнении поэтапного уравнивания, которое включает три независимых этапа.

Этап 1. Минимально ограниченное уравнивание СГС с фиксацией координат одного из пунктов МГС в системе ITRF.

Этап 2. Определение параметров трансформирования между уравненными координатами и каталожными координаты пяти пунктов МГС в системе ITRF.

Этап 3. Вычисление координат пяти пунктов МГС и определяемого пункта NSKW с помощью полученных параметров трансформирования.

Погрешности истинного положения пункта в системе ITRF характеризует оценка точности по внешней сходимости, которая выполнялась с помощью сингулярного разложения ковариационных матриц $\mathbf{K}_{\Delta\mathbf{R}} = \mathbf{U\Sigma W}^{\mathrm{T}}$ «трансформированных» векторов базовых линий, полученных следующим образом:

$$\mathbf{K}_{\Delta\mathbf{R}_{ij}} = \mathbf{P}_{ij}\mathbf{K}_{\mathbf{R}_i}\mathbf{P}_{ij}^{\mathrm{T}}, \;\; \mathbf{K}_{\mathbf{R}_i} = \mathbf{K}_{\mathrm{x}} + \mathbf{A}_{\mathbf{R}_i}\mathbf{K}_{\mathrm{x'}}\mathbf{A}_{\mathbf{R}_i}^{\mathrm{T}}; \;\; i, j = 1...6,$$

где $\mathbf{K}_{\Delta\mathbf{R}_{ij}}$ – ковариационная матрица векторов базовых линий, «трансформированных» в систему ITRF2005;

$\mathbf{P}_{ij}$ – матрица перестановок;

$\mathbf{K}_{\mathbf{R}_i}$ – *ковариационная матрица уравненных координат i-го пункта СГС, трансформированного в систему ITRF2005. Трансформированные координаты пунктов* $\boldsymbol{R}_i$ *и* $\boldsymbol{R}_j$ *образуют «трансформированный» вектор базовой линии* $\Delta\mathbf{R}_{ij}$*;*

$\mathbf{K}_{\mathrm{x}}, \mathbf{K}_{\mathrm{x'}}$ – ковариационные матрицы векторов оцениваемых величин **x** и **x'**. Вектор **x** содержит оценки неизвестных координат пунктов СГС, полученных

на первом этапе уравнивания, вектор $\mathbf{x}'$ содержит оценки параметров трансформирования, полученных на втором этапе уравнивания;

$\mathbf{A}_{\mathbf{R}_i}$ – матрица коэффициентов системы линейных уравнений $\mathbf{Ax}=\mathbf{f}+\mathbf{v}$, сформированная для пункта $\mathbf{R}_i$.

Наибольшая погрешность положения определяемого пункта характеризуется наибольшим значением в диагональной матрице сингулярных чисел $\mathbf{\Sigma} = \mathrm{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$. Выполненная оценка точности показала, что положение пункта NSKW определено из поэтапного уравнивания в системе ITRF с погрешностью 36 мм.

Второй эксперимент заключается в ограниченном уравнивании СГС в TGO. В одном случае выполняется ограниченное уравнивание с привязкой определяемого пункта NSKW к пунктам МГС сетевым способом, во втором случае – лучевым (см. рис. 2).

Ограниченное уравнивание с привязкой сетевым способом включало 30 измеренных векторов базовых линий, по два вектора между парой пунктов $\mathbf{R}_i$ и $\mathbf{R}_j$ (i,j=0,…,5 – номера пунктов СГС). Координаты пяти пунктов МГС фиксировались в системе ITRF2005 на эпоху t=2008.0369 (14 января 2008 г).

Ограниченное уравнивание с привязкой лучевым способом включало 30 измеренных векторов базовых линий, по шесть векторов между парой пунктов $\mathbf{R}_i$ и $\mathbf{R}_0$ (i=1,…,5 – номера пунктов МГС, $\mathbf{R}_0$ – определяемый пункт NSKW). Координаты пяти пунктов МГС фиксировались в системе ITRF2005 на эпоху t.

Погрешности уравненных координат в плане и по высоте, полученные из уравнивания с привязкой двумя способами, показаны в табл. 1.

Таблица 1

Погрешности определения координат пункта NSKW
из уравнивания с привязкой двумя способами

СКП	Сетевой способ (см)	Лучевой способ (см)
σN	2,3	1,0
σE	2,2	1,0
σH	2,5	1,2

Для проверки уравнивания с привязкой определяемого пункта сетевым способом, выполнен третий эксперимент, в котором определяемыми являлись два пункта: NSKW и ARTU. В этом случае оценку точности определения положения пункта ARTU будет характеризовать отклонение уравненных координат от каталожных значений в системе ITRF2005 на эпоху t. Отклонения уравненных координат для пункта ARTU, отклонения от координат из предыдущего уравнивания (с привязкой сетевым способом) для пункта NSKW, а также погрешности координат из уравнивания приведены в табл. 2.

Таблица 2

Отклонения от известных значений и погрешности координат из уравнивания, полученные в третьем эксперименте

ID	Направление	Отклонения от известных значений, Δ (см)	СКП, σ (см)
ARTU	*N*	0,1	2,0
	E	2,2	1,9
	H	11,4	3,4
NSKW	*N*	0,3	2,0
	E	0,2	1,9
	H	2,2	2,3

В табл. 3 приведены отклонения координат пункта NSKW, полученные различными способами (из поэтапного уравнивания, сетевой привязкой, лучевой привязкой) от метода PPP. Координаты, вычисленные с помощью метода PPP, взяты как контрольные, т.к. получены независимо с использованием другого (абсолютного) метода и другого программного обеспечения.

Таблица 3

Отклонения координат пункта NSKW, полученных различными способами, от координат, полученных с помощью метода PPP

Направление	Метод PPP	Способы привязки		
		Поэтапное уравнивание	Сетевой	Лучевой
Δ*N* (см)	0	-1,7	-2,2	-2,4
Δ*E* (см)	0	2,7	2,3	2,5
Δ*H* (см)	0	-9,0	-8,5	-9,0

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы.

1. Определение координат наземного пункта СГС в виде центральной системы с привязкой лучевым способом дает оценку точности, завышенную примерно в 2 раза, по сравнению с привязкой сетевым способом. При этом значения координат отличаются незначительно, в пределах 5 мм (см. таблицы,3).

2. Включение пункта ARTU в число определяемых в процессе привязки сетевым способом показало значительное отклонение уравненных координат от каталожных на величину, порядка 11 см. Это отклонение почти в 4 раза превышает погрешность определения координат по высоте σ_H (см. таблицу 2). При этом отклонение координат пункта NSKW, полученных сетевым способом привязки, осталось на уровне погрешности уравненных координат, что говорит о достоверности, так называемой, внутренней оценки точности (см. таблицу 2).

3. Сравнение полученных в данном исследовании координат пункта NSKW с координатами, полученными независимо с использованием метода PPP, показало совпадение плановых координат на уровне погрешности урав-

ненных значений. Но разность геодезических высот составила почти 10 см (см. таблицу 3), что практически совпадает с отклонением полученной геодезической высоты пункта ARTU от каталожных значений (см. таблицу 2).

4. Оценка точности, полученная из уравнивания с привязкой определяемого пункта сетевым методом, более достоверно отражает погрешность планового положения пункта в ОЗСК. Однако ошибка определения геодезической высоты завышена примерно в 4 раза и составляет порядка 10 см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горобец, В.П. Результаты построения государственной геоцентрической системы координат Российский Федерации в рамках Федеральной целевой программы «ГЛОНАСС» [Текст] / В.П. Горобец, Г.В. Демьянов, А.Н. Майоров, Г.Г. Побединский // Геодезия и картография. – 2012. – №2. – С. 53-57.

2. Липатников, Л.А. Применение методики точного абсолютного позиционирования для высокоточного определения положения геодезических пунктов в общеземной системе координат [Текст] // Геодезия и Картография. – 2012. – №7. – С. 13-16.

© А.А. Струков, 2013

УДК 519.2

ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ И «КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ»

Владимир Абрамович Падве
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, профессор кафедры прикладной информатики, тел. (383)343-18-54, мобильный телефон 8-913-958-1234, e-mail evdapav@mail.ru

Обсуждается вопрос о неинформативности «коэффициента корреляции», вычисляемого по массивам данных, имеющих значимую функциональную зависимость.

Ключевые слова: линейная регрессия, коэффициент корреляции.

LINEAR REGRESSION AND CORRELATION COEFFICIENT

Vladimir A. Padve
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotniy Str., 630108, Russia, Novosibirsk, professor, department of applied information science, tel. (383)343-18-54, mob. phone 8-913-958-12-34, e-mail: evdapav@mail.ru

The issue of non-informativeness of the correlation coefficient calculated by arrays of data that are functionally dependent is discussed.

Key words: linear regression, correlation coefficient.

Задача регрессионного моделирования возникает при анализе массива парных данных $\mathbf{x_1, x_2, \ldots x_n}$ и $\mathbf{y_1, y_2, \ldots y_n}$. Хорошо известно МНК-решение такой проблемы для случая линейной регрессии.

Пусть исходная векторная линейная модель имеет вид

$$\eta_{n1} = \beta_0 * \mathbf{1}_{n1} + \beta_1 * \xi_{n1}. \qquad (1)$$

В этой модели η_{n1} и ξ_{n1} – это вектор-столбцы истинных значений наблюдённых массивов $\mathbf{y_{n1}}$ и $\mathbf{x_{n1}}$, $\mathbf{1_{n1}}$ – вектор, состоящий из единиц, а β_0 и β_1– коэффициенты модели.

Стохастическая связь между массивами данных традиционно «*оценивается*» с помощью «*коэффициента корреляции*» $\mathbf{r_{xy}}$. Отметим сразу, что теоретически *коэффициент корреляции* служит мерой линейной связи *только для случайных векторов*.

Приведём обычные при таком подходе выкладки. Используя массивы данных $\mathbf{x_1, x_2, \ldots x_n}$ и $\mathbf{y_1, y_2, \ldots y_n}$, оценивают их выборочную «*ковариацию*» и выборочные «*дисперсии*»:

$$= [xy] / n - , \qquad (2)$$

$$s^2_x = [x^2] / n - {}^2, \quad s^2_y = [y^2] / n - {}^2. \qquad (3)$$

По этим числам находят «*оценку коэффициента корреляции*»:

$$\mathbf{r_{xy} = \ / (s_x * s_y).} \qquad (4)$$

Комбинируя формулы (2) – (4) и формулу для углового коэффициента

$$\mathbf{b_1 = ,} \qquad (5)$$

устанавливают зависимость между «*коэффициентом корреляции*» $\mathbf{r_{xy}}$ и угловым коэффициентом уравнения регрессии $\mathbf{b_1}$, оценивающим величину $\boldsymbol{\beta_1}$:

$$\mathbf{r_{xy} = b_1.} \qquad (6)$$

В формулах (2) – (6) квадратные скобки [x] по символике К. Ф. Гаусса заменяют оператор суммирования Σx_i.

Угловой коэффициент уравнения регрессии $\mathbf{b_1}$ оценивает свою долю *функциональной зависимости* между величинами $\boldsymbol{\xi_{n1}}$ и $\boldsymbol{\eta_{n1}}$. «*Коэффициент корреляции*» $\mathbf{r_{xy}}$ теоретически должен характеризовать *стохастическую связь между погрешностями* $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$и $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ данных. Авторы монографии [1], и они не одиноки, считают, что он «*служит оценкой для какого-то истинного (но неизвестного) параметра* **ρ**». Далее, они предлагают «*получить доверительный интервал для «***ρ***» или проверить нуль-гипотезу о предполагаемом значении параметра –* $\mathbf{H_0}$: $\boldsymbol{\rho = \rho_0}$*, где* $\boldsymbol{\rho_0}$ *– определённое значение (быть может, и нуль), против любой из альтернативных гипотез* $\mathbf{H_1}$: $\boldsymbol{\rho \neq \rho_0}$ *или* $\boldsymbol{\rho > \rho_0}$».

На наш взгляд «*коэффициент корреляции*», определяемый формулой (4) и контролируемый формулой (6) не оценивает стохастическую связь между *погрешностями* $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ и $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$, по следующим причинам.

Во-первых, модель (1) предполагает наличие функциональной связи между $\boldsymbol{\eta_{n1}}$ и $\boldsymbol{\xi_{n1}}$, а данные $\mathbf{y_{n1}}$ содержат неизвестные *случайные погрешности* $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$ такие, что $\boldsymbol{\eta_{n1} = y_{n1} + \delta y_{n1}}$. *Во-вторых*, числовые значения $\mathbf{x_{n1}}$ практически так же содержат неизвестные *погрешности* $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$, пусть и менее рассеянные, чем $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$. *В-третьих*, оценки стандартов $\mathbf{s_x}$ и $\mathbf{s_y}$ характеризуют «*рассеяния*» числовых данных $\mathbf{x_{n1}}$ и $\mathbf{y_{n1}}$, связанных функционально, а не рассеяния их погрешностей $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ и $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$.

Таким образом, можно заключить, что вычисляемый «*коэффициент корреляции*» $\mathbf{r_{xy} = \ / (s_x * s_y)}$ представляет собой в линейной регрессионной модели $\mathbf{\hat{y} = b_0 + b_1 * x}$ некоторую функцию углового коэффициента $\mathbf{b_1}$ и *абсолютно не отражает стохастическую связь* погрешностей $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ и $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$ данных $\mathbf{x_{n1}}$ и $\mathbf{y_{n1}}$. Следовательно, вычисляя величину $\mathbf{r_{xy}}$ по формуле (4), мы получаем информацию лишь о степени близости зависимости между массивами $\mathbf{x_{n1}}$ и $\mathbf{y_{n1}}$ к линейной, но не о *корреляции* между их *неизвестными погрешностями* $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ и $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$.

В подтверждение последнего абзаца приведём результаты анализа линейной регрессионной модели (1), полученной по массивам данных, имеющих некоторую функциональную зависимость, которая искусственно искажена смоделированными погрешностями, имеющими нормальное распределение, стандарт которого устанавливался по желанию экспериментатора.

С помощью генератора *стандартных нормальных* чисел были выработаны массивы *псевдо погрешностей* δx_{n1} и δy_{n1}. Суммирование массивов ξ_{n1} и η_{n1} с *погрешностями* δx_{n1} и δy_{n1} дало исследуемые массивы $x_{n1}=\xi_{n1}+k_1*\delta x_{n1}$ и $y_{n1}=\beta_0*1_{n1}+\beta_1*x_{n1}+k_2*\delta y_{n1}$. Множителям k_1 и k_2 придавались различные пары значений, приведённые в таблице (**Табл. 1**). Там же помещены полученные уравнения регрессии, показатели разброса s_x и s_y,оценка стандарта погрешностей δy_{n1} по остаткам μ и коэффициенты r_{xy} и $r_{\delta x\delta y}$. В таблице представлены два «***среза***» эксперимента, выполненного в среде “Excel”. Одни и те же погрешности δx_{n1} и δy_{n1} одновременно вводились в четыре варианта испытаний. Варианты отличались множителями k_1 и k_2 линейного преобразования моделируемых погрешностей. Исходный вариант «Модель» содержал только «*чистые*» значения данных, соответствующие уравнению $\eta = -2{,}0 + 1{,}4\ \xi$.

Значения множителей k_1 и k_2 соразмерялись с характеристиками разброса значений s_x и s_y.

Модели 1 и ***3*** в обоих экспериментах хорошо оценивали угловой коэффициент β_1 и свободный член β_0. ***Модель 5***, в которой величины η_{n1} и ξ_{n1} искажались равносильно, но в пять-восемь раз «слабее» значений s_x и s_y, так же удовлетворительно оценивала оба коэффициента, сохраняя их зн*а*чимость. ***Модели 2*** и ***4***, сильно искажавшие η_{n1}, но использовавшие либо «чистые», либо слегка искажённые значения ξ_{n1}, удовлетворительно оценили угловой коэффициент β_1 и плоховато свободный член β_0.

Таблица 1

Два числовых эксперимента

Срез 1	***Модель***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
k_1	**0**	**0**	**0**	**0,05**	**0,25**	**1**	**10**
k_2	**0**	**1**	**5**	**1**	**5**	**1**	**10**
Ур-ние регрессии	**$\hat{y}$ =-2,0+ +1,4x**	**$\hat{y}$ =-1,95+ +1,42x**	**$\hat{y}$ =-1,75+ +1,51x**	**$\hat{y}$ =-1,95+ +1,42x**	**$\hat{y}$ =-1,77+ +1,51x**	**$\hat{y}$ =-0,88+ +1,36x**	**$\hat{y}$=10,89+ +0,52x**
s_x	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,95	12,66
s_y	8,07	8,23	9,36	8,24	9,37	8,23	11,58
μ	**0,00**	**0,72**	**3,59**	**0,72**	**3,59**	**1,53**	**10,06**
r_{xy}	**1,000**	**0,997**	**0,931**	**0,997**	**0,932**	**0,984**	**0,566**
$r_{\delta x\delta y}$	**_**	**_**	**_**	**0,295**	**0,295**	**0,295**	**0,295**
Срез 2	***Модель***	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***
Ур-ние регрессии	**$\hat{y}$ =-2,0+ +1,4x**	**$\hat{y}$ =-2,54+ +1,42x**	**$\hat{y}$ =-4,68+ +1,48x**	**$\hat{y}$ =-2,53+ +1,42x**	**$\hat{y}$ =-4,66+ +1,48x**	**$\hat{y}$ =-1,33+ +1,26x**	**$\hat{y}$=4,17+ +0,29x**
s_x	5,77	5,77	5,77	5,79	5,79	6,34	14,52
s_y	8,07	8,22	9,80	8,26	9,82	8,22	13,17
μ	**0,00**	**1,01**	**5,06**	**1,01**	**5,06**	**1,94**	**13,14**
r_{xy}	**1,000**	**0,993**	**0,872**	**0,993**	**0,872**	**0,975**	**0,323**
$r_{\delta x\delta y}$	**-**	**-**	**-**	**- 0,288**	**- 0,288**	**- 0,288**	**- 0,288**

Модель 6, в которой искажения η_{n1} и ξ_{n1} значительно превышали значения разбросов $\mathbf{s_x}$ и $\mathbf{s_y}$, дала оценки обоих коэффициентов, неузнаваемо изменённые по сравнению с их модельными значениями. Последний результат ожидаем, так как моделирует наблюдения низкого качества, характеризующиеся большими погрешностями $\boldsymbol{\delta x_{n1}}$ и $\boldsymbol{\delta y_{n1}}$.

«*Коэффициент корреляции*» $\mathbf{r_{xy}}$ в моделях ***1 – 5*** постоянно был близок к единице в обоих «*срезах*». В это же время *истинный коэффициент корреляции* $\mathbf{r_{\delta x \delta y}}$, будучи постоянным в каждой из четырёх моделей (***3 – 6***) обоих «***срезов***», принимал незн*а*чимые (относительно нулевой гипотезы H_0: $\boldsymbol{\rho = 0}$) значения: **0,295** и **–0,288**. В ***модели 6*** обоих срезов «*коэффициенты корреляции*» $\mathbf{r_{xy}}$ = 0,566 и 0,323 по-прежнему не имели ничего общего с *истинными коэффициентами корреляции* $\mathbf{r_{\delta x \delta y}}$.

В заключение можно констатировать, что оценку $\mathbf{r_{xy}}$ «*коэффициента корреляции*» «$\boldsymbol{\rho}$» в линейной регрессионной модели, согласно [2], «*трудно интерпретировать ... как меру взаимозависимости и, пожалуй, разумнее рассматривать его как* индикатор*, чем как точную меру*». На наш взгляд было бы разумно называть величину, вычисляемую в линейной регрессионной модели по формуле (4), *контрольным коэффициентом*, так как она находится по одним и тем же коэффициентам нормальных уравнений, что и угловой коэффициент $\mathbf{b_1}$.

Итак, при построении линейной регрессионной модели, когда дисперсионный анализ подтвердил зн*а*чимость полученной модели, вычисление «*коэффициента корреляции*» по формуле (4) нужно *рассматривать как дополнительное контрольное вычисление* и трактовать его лишь как индикатор наличия стохастической связи между данными, но не как меру такой связи. При этом отпадает, на наш взгляд, необходимость проверки гипотезы о численной значимости этого коэффициента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

5. 1. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1986.

6. 2. Кендалл, М. Статистические выводы и связи [Текст] / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Наука, 1973.

© В.А. Падве, 2013

УДК 528.45

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ ПРИ ФАСАДНЫХ СЪЕМКАХ

Владимир Игоревич Кугаевский
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, инженер НИЧ, тел. 8-950-094-46-01, e-mail: kug-vova@yandex.ru

В статье дано представление о фасадных съемках. Рассмотрено оборудование для выполнения этих съемок. Возможность внедрения полученных данных в популярные программы.

Ключевые слова: фасадная съемка, применение наземного лазерного сканера.

APPLICATION TERRESTRIAL LASER SCANNERS SHOOTING IN ELEVATION

Vladimir I. Kugaevskii
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. 8-950-094-46-01, e-mail: kug-vova@yandex.ru

The article describes the idea of the facade set, what it is and where applicable. Considered equipment for facade shooting. The ability to implement the data in popular programs.

Key words: exterior shot, using terrestrial laser scanner.

Фасадная съемка – геодезическая съемка вертикальных поверхностей зданий и сооружений.

Классический метод съемки фасадов при помощи тахеометров устарел.

Им затруднительно работать и невозможно снять, отобразить разлиную лепнину на фасадах зданий. Но отказывать от него не следует. Если фасады зданий, которые нуждаются в фасадной съемке, представляют собой плоские конструкции с оконными и дверными проемами, целесообразно осуществлять съемку при помощи без отражательного тахеометра.

Актуальность съемки, состоит в том, что при использовании НЛС (наземного лазерного сканера) значительно сокращается затраченное время на работу и увеличивается объем выполненных работ.

Предложенная технология позволяет эффективно повысить процесс работ, снизить затрачиваемое время, с высокой точностью построить 3D модель [1].

В настоящие время широко востребованы работы по съемке фасадов зданий и сооружений с использованием НЛС.

Настоятельная необходимость в фасадной съемке возникает в том случае, если на реставрируемое здание не в полном объеме представлена техническая документация, либо она полностью отсутствует. Планирование реставрацион-

ных работ может осуществляться только при условии точных расчетов и наличии объективных данных о том, как устроен фасад здания.

Применяется фасадная съемка и для контроля в ходе возведения новых зданий. Этот способ геодезических измерений позволяет с высокой точностью определить отклонения от проекта и своевременно их исправить. Кроме этого метод фасадной съемки используется для составления описаний различного рода исторических памятников, в ходе ремонта зданий, при облицовке различного рода зданий и сооружений, а также при создании проекта вентилируемых фасадов, выявление строительных дефектов, определение деформации и т.д.

Фасадная съемка предполагает получение в буквальном смысле полных, всеобъемлющих знаний об особенностях планировки и архитектуры исследуемого здания или сооружения.

В дальнейшем полученный результат о проведенной работе по фасадной съемке являются детальные чертежи фасадов исследуемых зданий, которые отображают текущее расположение элементов конструкций фасадов, их точные размеры, положение относительно друг друга и отметки высот. В список технической документации, составленной на основании полученных данных, входят поэтажные планы зданий в разрезе, а также развертки конструкций. При помощи современного высокотехнологичного программного обеспечения составляется трехмерная компьютерная модель исследуемого здания, которая с точностью отображает фактическое положение в пространстве контуров фасадов, декоративных элементов и архитектурных конструкций.

На рис. 1-2 представленны высокоскоростные модели сканеров для детального измерения объекта, используют лазерную технологию, чтобы создать детализированное трехмерное изображение сложных объектов за несколько минут [2,3].

Рис. 1. RIEGL LMS-Z420i

Рис. 2. FOCUS 3D FARO

Помимо высокой степени автоматизации НЛС обладает и другими достоинствами по отношению к другим способам получения информации:

- возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях;
- трёхмерная визуализация в режиме реального времени, позволяющая на этапе производства полевых работ определить «мёртвые» зоны;
- неразрушающий метод получения информации;
- отсутствие необходимости обеспечения сканирования точек объекта с двух центров проектирования (стояния), в отличие от фотограмметрического способа;
- высокая точность измерений;
- принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов;
- высокая производительность НЛС сокращает время полевых работ при создании цифровых моделей объектов, что делает данную технологию более экономически выгодной по сравнению с другими;
- работы можно выполнять при любых условиях освещения, то есть днём и ночью, так как сканеры являются активными съёмочными системами;
- высокая степень детализации;
- многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

В данное время мы можем путешествовать, не выходя из дома. Набрав в поисковике браузера интересующее нас место, можно увидеть и узнать все, что привлекло наше внимание. Но эти снимки в двух мерном изображении не передают все краски и реалистичность, если популярные места достопримечательности и памятники архитектуры внедрить в ГИС приложения как 3D модели, то это станет виртуальным путешествием.

Все знакомы с продуктом **2ГИС** (**ДубльГИС**) — российская компания, выпускающая одноименные электронные справочники с картами городов. Где мы можем узнать и увидеть где расположено интересующая нас здания, организация и памятник архитектуры.

При изменении масштаба, карта постепенно становится трёхмерная. Однако прямоугольники приобретающие объем, показывают только высоту сооружения. В некоторых аналогичных программах на здание наложена фото текстура, что немного придает реалистичности, но форма сооружения при этом не меняется.

Мое предложение, выполнять фасадные съемки и создавать реалистичные 3D модели памятников архитектуры, центральных зданий, объекты исторического наследия (рис. 3-4).

Гораздо интереснее будут смотреться виртуальные путешествия среди реалистичных 3D моделей зданий, в которые со временем можно будет зайти и увидеть внутренний облик сооружений.

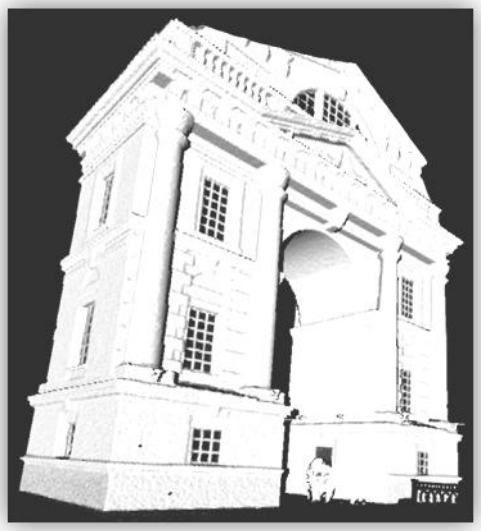


Рис. 3. Московские ворота

Рис. 4. Церковь Князь-Владимирская

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. «Наземное Лазерное Сканирование» \\ Новосибирск: СГГА, 2009.
2. RIEGL – лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.riegl.ru/
3. FARO – лазерные сканирующие системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tesis.com.ru/equip/kimfaro/focus3d.php

© В.И. Кугаевский, 2013

УДК 62-4

ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ В ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Дмитрий Андреевич Вальдман
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет (НИ ИрГТУ), 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, инженер НИЧ, тел. (983)414-08-90, e-mail: deimos2411@rambler.ru

В статье рассмотрена технология регистрации дорожно-транспортных происшествий с помощью высокоточных лазерных сканирующих систем.

Ключевые слова: инновации при ДТП, сканирование ДТП, регистрации дорожно-транспортных происшествий с помощью лазерных сканирующих систем.

THE USE OF HIGH-PRECISION SCANNING SYSTEMS IN THREE-DUMENSIONAL MODELING OF TRAFFIC ACCIDENTS

Dmitrii A. Valdman
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (983)414-08-90, e-mail: deimos2411@rambler.ru

The article describes the technology registering accidents with high-precision laser scanner.

Key words: innovation in road accidents, accidents scanning, recording accidents with laser scanning systems.

За последнее время существенно увеличилось число дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Классический метод регистрации ДТП устарел и имеет большое количество недостатков. Они приводят к заторам на дорогах, усложняют процесс разбора происшествий из-за отсутствия полной информации о месте происшествия и повреждения транспортного средства, а так же занимают большое количество времени. Приведенная технология позволит эффективно повысить процесс регистрации ДТП, снизить затрачиваемое время на оформление протокола, с высокой точностью зафиксировать место происшествия и повреждение ТС.

Таким образом, необходимость изучения уже существующих, а также разработки новых подходов позволяющих объективно и с высокой точностью регистрировать дорожно-транспортных происшествий, определяют актуальность данной темы.

В настоящее время при регистрации ДТП составляется протокол осмотра, который сопровождается схемой места происшествия, расположением участников, знаков, разметки, а также перечнем повреждений транспортных средств и дорожной инфраструктуры. В дальнейшем эти данные используются группой разбора для определения виновника ДТП, а также специалистами страховых компаний и независимыми экспертами для оценки полученного ущерба.

Традиционный протокол осмотра связан с деятельностью сотрудников дорожных инспекций. Многое здесь зависит от точности промеров положений транспортных средств (ТС) рулеткой, от личных данных сотрудников ГИБДД. В классическом протоколе отсутствует необходимая дополнительная информация о месте происшествия, а именно схема взаимного пространственного положения потерпевших и транспортных средств – участников ДТП, не фиксируется должным образом информация о повреждении ТС[3].

Основные недостатки составления схем мест ДТП следующие:

- схемы составляются вручную, вследствие чего упрощены и часто плохо читаются. Точность данных, приведенных в схеме, зачастую невысока;
- измерение расстояний выполняется рулетками или мерными колесами. Расстояния фиксируются лишь те, которые важны, по мнению инспектора;
- несмотря на имеющуюся, на бланке масштабную сетку, масштаб отображаемых объектов не соблюдается, поэтому по ней невозможно определить дополнительные пространственные характеристики, необходимые для последующего анализа ДТП;
- как правило, на время измерений перекрывается движение автотранспорта, что является источником пробок на дорогах;
- в любой момент в схему могут быть внесены изменения;
- не полная передача следов торможения, жидкостей, разброса деталей ТС и других объектов на месте ДТП.

Высокоточные лазерные сканирующие системы, позволяют сократить время обследования и получить трехмерную компьютерную модель любого объекта, будь то автомобиль, дорожное полотно или какой-либо труднодоступный предмет с высокой точностью. Получаемые данные имеют защиту от редактирования и внесения изменений. Такая технология в несколько раз увеличивает информативность и достоверность данных, собираемых на месте происшествия, предоставляет наглядную и удобную визуализацию в трехмерном виде.

Рис. 1. Сканер Riegl VZ-400

Современный метод сбора и регистрации пространственных данных в отличие от традиционных методов съемки, где исполнитель вынужден выбирать характерные точки объекта, для последующего его отображения, при сканировании объекта происходит автоматическая регистрация координат точек на его поверхности, с заданным шагом. Причем, скорость сканирования может достигать более 1 000 000 точек в секунду, а плотность получаемого «облака точек» сотни и тысячи точек, на 1 кв. метр. Точность определения координат точек, в зависимости от модели сканера и расстояния варьируется от нескольких миллиметров до сантиметров[1].

Для производства работ не нужен непосредственный доступ к объекту, равно как не нужны другие приспособления, необходима лишь прямая видимость на расстоянии не более 100-150 м. Съемка на расстоянии позволяет избежать формирования пробок на оживленных автомагистралях.

Рис. 2. Облако точек полотна дороги

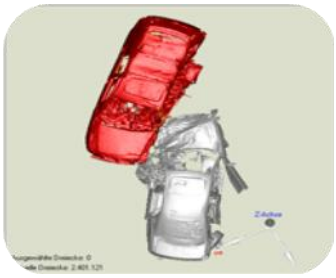


Рис. 3. Облако точек транспортных средств

Разумеется, любой объект не будет виден целиком с одной точки. Чем сложнее объект или поверхность, тем больше нужно станций стояния, с которых будет производиться сканирование. Данные сканирования, полученные с различных точек установки прибора, при помощи специального программного обеспечения сводятся в единое трехмерное «облако точек», каждая из которых имеет свои координаты X, Y, Z. В дальнейшем облако точек и служит основой для построения трехмерных моделей ДТП.

Рис. 4. Участок столкновения

Рис. 5. Полученные данные с ДТП

Время, затраченное на сканирование несложного ДТП из 2-х автомобилей, займет 5-10 минут. Сканирование способно заменить многие традиционные методы оценки. Технология облегчит работу экспертов при оценке ущерба от повреждения транспортных средств и дорожной инфраструктуры в результате ДТП.

Революционность технологии лазерного сканирования заключается в возможности быстрого и равноточного построения модели какой-либо ситуации в виде «облака точек». Облако точек или его части могут быть преобразованы в твердотельные CAD-модели, которые также полностью трехмерны и позволяют визуально на экране компьютера оценить степень ущерба, нанесенного транс-

портному средству. Применительно к изучению ДТП лазерное сканирование революционно в том плане, что оно позволяет оперативно, прямо на месте происшествия создать полностью трехмерное детальное цветное изображение места происшествия, а также сравнить его с ситуацией до возникновения ДТП. Данные лазерного сканирования могут сохраняться на CD-дисках или иных носителях сколь угодно долго, освобождая экспертов от рутинной и непроизводительной работы с бумажной документацией[2].

Достоинства технологии:

- высокая производительность и точность измерений;
- возможность оперативного развертывания и установки;
- выполнение измерений при отсутствии освещения;
- защита от редактирования и внесения изменений;
- кратное сокращение времени оформления протокола ДТП;
- быстрое устранение автомобильных заторов образовавшихся в результате ДТП.

Начиная с 2011 г., в других странах активно внедряются сканирующие системы для фиксации мест ДТП. Так в середине 2011 года министерство транспорта Великобритании оснастило 27 полицейских бригад по всей стране лазерными сканерами Riegl VZ-400. В США уже некоторые компании, специализирующиеся на реконструкции мест ДТП так же начали использовать трехмерные лазерные сканирующие системы. А компания Faro Technologies Inc., производитель нескольких моделей лазерных сканнеров, провела веб-семинар, посвященный использованию сканеров для реконструкции мест ДТП. Данная услуга может быть востребована в больших городах и нашей страны с интенсивным движением автомобилей. Аутсорсинговые услуги для ГИБДД, аварийных комиссаров.

Данная технология позволит более объективно оценивать ущерб, причинённый в результате ДТП. Мобильность и высокая производительность позволит уменьшить количество заторов на дороге в случае ДТП. Трехмерный протокол дорожно-транспортного происшествия и ситуации на дороге, защищенный от изменений, может стать неоспоримым доказательством при судебных разбирательствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубко Б.П., Гордеев В.А., Яковлев В.Н. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учебное пособие для студентов специальности – «Маркшейдерское дело» - «Горное дело»; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 162-168 с.

2. Александр Ковров, инженер по наземному лазерному сканированию компании «ГеоПолигон»» Современные технологии оформления ДТП». – Режим доступа: http://www.art-geo.ru/support/articles/nls8.php

3. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – 136 с.

© Д.А. Вальдман, 2013

УДК 528.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УРАВНИВАНИЯ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Максим Александрович Алтынцев
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Егор Станиславович Анцифиров
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент 5-го курса факультета «Информационные системы»

В статье рассмотрены особенности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования, полученных съемочной системой Lynx M1 фирмы Optech. Описана методика уравнивания данных мобильного сканирования в программном комплексе TerraSolid. Приведены результаты уравнивания данных, полученных на территорию г. Новосибирска.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, уравнивание данных, точность.

ACCURACY RESEARCH OF MOBILE LASER SCANNNING DATA ADJUSTMENT

Maxim A. Altyntsev
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, senior teacher, photogrammetry and remote sensing department, tel. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Yegor S. Antsifirov
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, student

In the article features of the mobile laser scanning data adjustment obtained by Optech Lynx M1 are considered. The technique of mobile scanning data adjustment in software TerraSolid is described. The results of the data adjustment obtained for Novosibirsk area are given.

Key words: mobile laser scanning, data adjustment, accuracy.

Вопрос точности и качества создаваемой продукции в любой области является одним из наиважнейших. На точность влияют самые разнообразные факторы, зависящие как от средства измерений, так и вида процесса их обработки. При мобильном лазерном сканировании это модель съемочной системы, условия съемки, её территория, геодезическое обеспечение, такое как количество базовых станций и схема их размещения, программное обеспечение для обработки данных сканирования, методика их калибровки и уравнивания, требуемый вид окончательной продукции, такой как, например, топографический план или трехмерные модели объектов снимаемой территории. Среди данных факторов особо стоит выделить этап калибровки и уравнивания данных, как один из самых ответственных и оказывающий наибольшее влияние на окончательную точность. На этих этапах устраняются различия между по-

ложением облаков точек лазерных отражений, полученных различными лазерными сенсорами и при различных проходах, то есть проездом транспортного средства, на котором установлена мобильная лазерная сканирующая система, по одной территории более чем один раз. Количество лазерных сенсоров, входящих в состав мобильной лазерной сканирующей системы, обычно составляет 2 [1,2].

Методика калибровки и уравнивания данных сканирования зависит от их первоначального качества, снимаемой местности и используемого программного обеспечения. Например, выполнить уравнивание данных сканирования, полученных на городскую территорию, проще и быстрее, чем данных, полученных на лесную и сельскую местность, за счет наличия большего числа четких границ различных объектов городской среды. Общая методика уравнивания данных сканирования городских территорий почти всегда более автоматизирована [3].

Цель данной работы заключалась в исследовании точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования, полученных на городскую территорию. За исходные были взяты данные съемки территории нескольких объектов г. Новосибирска, выполненной мобильной лазерной сканирующей системой Lynx M1 фирмы Optech: аэропорт «Толмачево», выставочный центр, технопарк Академгородка, оперный театр, северный объезд, советское шоссе и другие. Данные были предварительно откалиброваны в программном комплексе TerraSolid. Калибровка заключалась в определении значений поправок в углы крена, курса и тангажа положения головок лазерных сканеров в момент съемки и осуществлялась в ПК DashMap. Ошибки в определении данных углов отражаются в том, что, например, соответствующие облака ТЛО вертикальных объектов, таких как стены зданий, полученные при различных проходах, оказываются непараллельными друг другу. Также углы крена и тангажа оказывают влияние на ошибку в высотном положении объектов.

Уравнивание данных выполнялось в ПК TerraSolid. В результате экспериментальных исследований было определено, что на первом этапе необходимо устранить систематическую ошибку в высотном положении головок лазерных сканеров друг относительно друга, так как данная ошибка оказывает существенное влияние на дальнейшее определение поправок в углы курса, крена и тангажа. В табл. 1 приведены найденные в ПК TerraSolid поправки за угол курса, крена и тангажа после исключения систематической ошибки в высотном положении головок сканеров и без исключения. Как видно, поправки после исключения данной систематической ошибки отсутствуют, что свидетельствует о высокой точности калибровки данных в ПК DashMap. Поэтому этап устранения ошибок в высотном положении головок сканеров следует отнести к задаче калибровки данных. На рис. 1 показаны примеры облаков ТЛО после применения различных поправок. Ошибка между высотным положением головок сканеров в данном случае составляла 5 см.

Таблица 1

Поправки за углы курса, крена и тангажа

	Поправки без исключения систематической ошибки			Поправки после исключения систематической ошибки		
№ Сканера	Курс	Крен	Тангаж	Курс	Крен	Тангаж
1	-0.0234	0.437	-0.856	0	0	0
2	0.0006	0.456	0.878	0	0	0

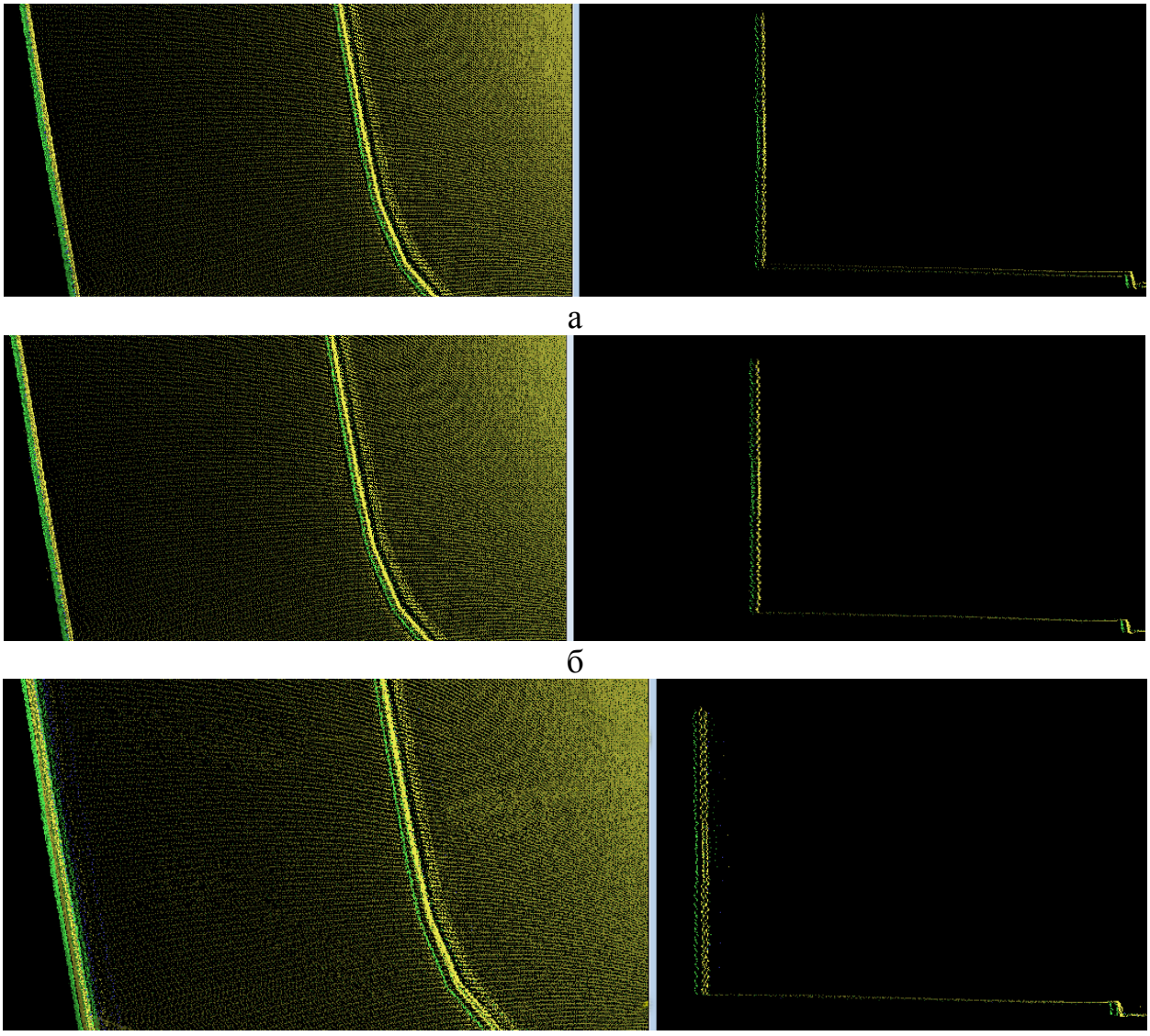


Рис. 1. Влияние различных поправок на положение ТЛО:
а – до внесение поправок; б – после внесения поправок
в высотное положение ТЛО; в – после внесения ошибочно найденных
поправок за углы курса, крена и тангажа

Далее автоматически определялись локальные поправки в углы курса, крена и тангажа на различных участках траектории движения мобильной лазерной сканирующей системы. Поиск поправок осуществлялся с помощью найденных связующих линий, соответствующих различным облакам точек одноименных объектов (рис. 2). Значение средней ошибки между положением соответствующих ТЛО из разных проходов до внесения поправок в углы курса, крена и тангажа составила 0,025 м. После внесения поправок значение данной ошибки составило 0,020 м.

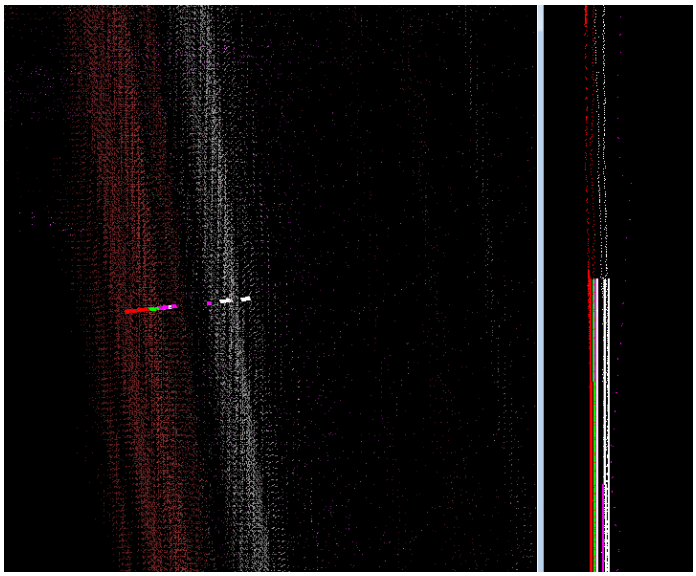


Рис. 2. Пример найденных связующих линий

Следующим шагом являлось устранение ошибок планового положения объектов местности. Данный этап необходимо выполнять в интерактивном режиме посредством набора связующих точек на краях нанесенной дорожной разметки и на углах зданий (рис. 3) по всей траектории движения. Интерактивный процесс набора точек является самым ответственным этапом, так как существует проблема неправильной идентификации каких-либо углов объектов вследствие возможного недостаточного количества точек на каком-либо проходе.

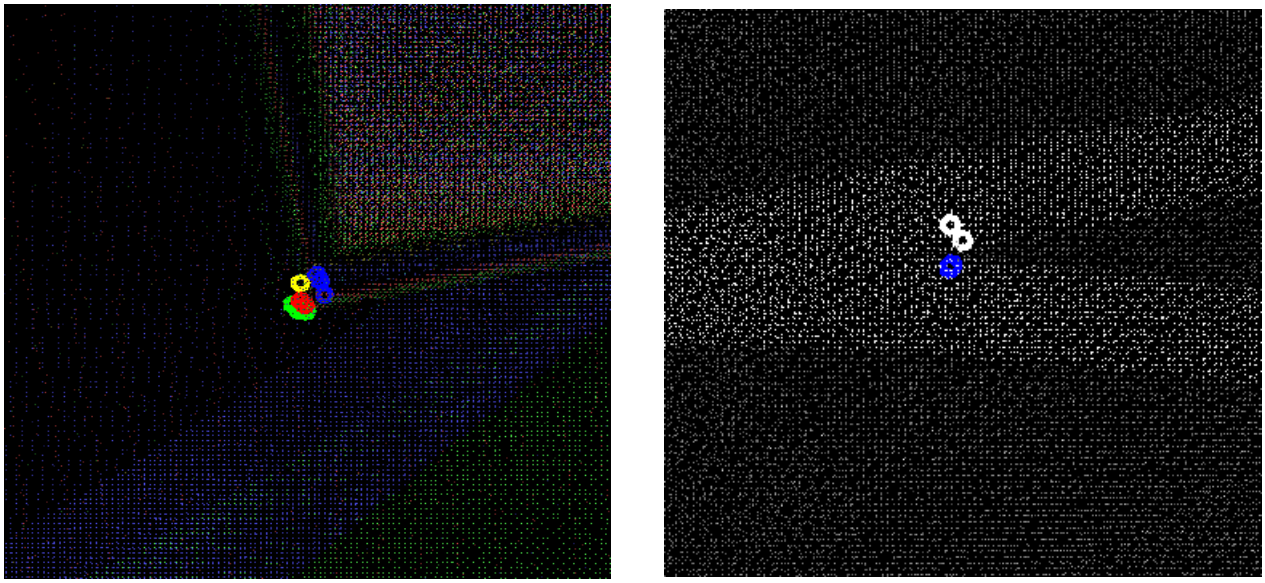


Рис. 3. Пример интерактивного набора связующих точек

По найденным точкам вычислялись поправки в плановые координаты положения GPS-антенны. Для контроля были измерены в интерактивном режиме координаты хорошо отображаемых на облаке ТЛО нескольких углов зданий, не участвовавших в уравнивании. Были рассчитаны ошибки несовпадения координат точек, набранных по углам зданий и дорожной разметке, участвовавших в уравнивании, и ошибки по контрольным точкам. На последнем этапе устранялись ошибки высотного положения ТЛО. Поиск поправок осуществлялся по автоматически найденным связующим линиям. После внесения поправок были рассчитаны ошибки высотного положения объектов по опорными и контрольным точкам. Результаты окончательной оценки точности приведены в табл. 3. На рис. 4 показа пример положения ТЛО после уравнивания.

Таблица 3

Оценка точности уравнивания координат ТЛО

	Опорные точки			Контрольные точки		
	X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0.019	0.020	0.007	0,020	0,016	0,010
СКО	0.030	0.027	0.011	0,027	0,021	0,014
Макс. ошибка	0.116	0.110	0.031	0,071	0,069	0,042

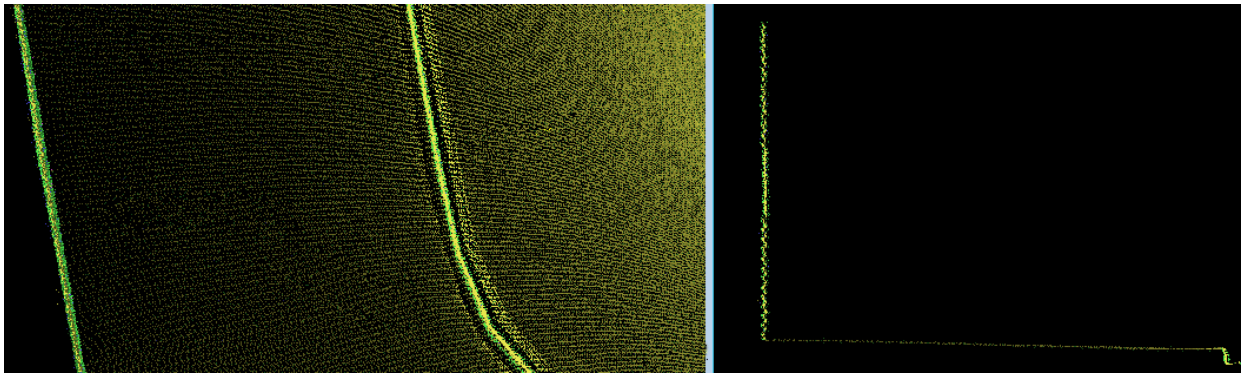


Рис. 4. Пример уравненного облака ТЛО

Таким образом, были проведены исследования точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования, полученных для городской территории. В ходе уравнивания данных на территорию г. Новосибирска были сделаны следующие выводы:

– необходимо устранять систематическую ошибку в высотном положении головок лазерных сканеров друг относительно друга на этапе калибровки данных сканирования;

– следует выполнять устранение ошибок в угловых элементах ориентирования положения головок лазерных сканеров и ошибок высотного положения

ТЛО посредством автоматического поиска связующих линий по ТЛО, соответствующим классу земли и классу стен зданий.

– следует выполнять устранение ошибок планового положения ТЛО в интерактивном режиме посредством набора связующих точек на краях нанесенной дорожной разметки и на углах зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ussyshkin, V. Mobile Laser Scanning Technology for Surveying Application: From Data Collection to End-Products [Text] / V. Ussyshkin //FIG working week. – Eilat, Israel, 3-8 May 2009.

2. Антипов, А. В. Калибровка данных воздушного лазерного сканирования в программном продукте TerraSolid [Текст] / А. В. Антипов // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. матер. VII Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 7–10.

3. Алтынцев, М. А. Уравнивание данных воздушного лазерного сканирования для создания поверхности дорожного полотна [Текст] / М. А. Алтынцев, А. В. Антипов // Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами: сб. материалов Междунар. конф. – Алматы, Республика Казахстан: Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, 2012. – С. 24–31.

© М.А. Алтынцев, Е.С. Анцифиров, 2013

УДК 528.4

ПРИМЕНЕНЕНИЕ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

Владимир Адольфович Середович
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, тел. (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Максим Александрович Алтынцев
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

В статье рассмотрены особенности создания топографических планов различных территорий по данным мобильного лазерного сканирования. Описана методика совместной обработки данных мобильного лазерного сканирования, тахеометрической и съемки с использованием GPS-приемников. Приведены результаты построения топографического плана масштаба 1:1000 на территорию железной дороги в Кемеровской области.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, классификация точек лазерных отражений, топографический план.

APPLICATION OF MOBILE LASER SCANNING DATA FOR CREATION OF TOPOGRAPHIC PLANS

Vladimir A. Seredovich
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, professor, vice rector for scientific and innovative activity, (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Maxim A. Altyntsev
Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, senior teacher, photogrammetry and remote sensing department, tel. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Features of creation the topographic plans for various areas according to mobile laser scanning data are considered. The technique of combined data processing of mobile laser scanning, tacheometry and a survey using GPS-receivers is described. The results of creation the topographic plan of scale 1:1000 for railroad in Kemerovo region are given.

Key words: mobile laser scanning, classification of laser points, topographic plan.

Топографический план – это основной вид конечной продукции, получаемой в геодезии. Существует множество различных методик создания топографических планов. Выбор применяемой при создании плана методики может зависеть как от метода съемка, так и от имеющегося программного обеспечения. В последнее время для этой цели всё большее применение начинает находить мобильное лазерное сканирование. Мобильное лазерное сканирование – это один из самых современных методов съемки. Данный вид съемки находит широкое применение в архитектуре, градостроительстве, нефтегазовой отрасли,

электроэнергетике, дорожном хозяйстве и других отраслях. По данным мобильного лазерного сканирования выполняют создание различных трехмерных моделей и топографических планов. В автомобильной и железнодорожной отрасли на основе таких данных, в частности, выявляют дефекты дорожного полотна или железнодорожного пути, создают трехмерные модели объектов инфраструктуры и выполняют их паспортизацию, создают продольные и поперечные профили [1].

При создании топографических планов мобильное лазерное сканирование, как правило, применяют в сочетании с другими видами съемки, такими как тахеометрическая съемка, съемка с использованием GPS-приемников, воздушное лазерное сканирование, аэрокосмическая съемка. Применение нескольких видов съемки обусловлено зачастую невозможностью проезда транспортного средства, на котором установлена мобильная лазерная сканирующая система, в какую-либо из необходимых зон съемки. Особенно эта проблема актуальная при съемке железнодорожных путей и примыкающих к ним территорий из-за залесенности зоны отчуждения [2, 3].

В августе 2012 года Сибирской государственной геодезической академией совместно с компанией «Йена Инструмент» была выполнена съемка участка железнодорожного пути в Беловском районе Кемеровской области с целью построения топографического плана масштаба 1:1000 и продольного профиля железнодорожных путей. Съемка была выполнена с помощью системы LYNX M1 фирмы Optech. Система сканирования была установлена на тепловоз (рис. 1). По результатам съемки было получено облако точек на большую часть территории в радиусе 100 метров от железнодорожных путей.

Рис. 1. Система LYNX M1

В качестве эксперимента построение топографического плана выполнялось в ПК Microstation, TerraSolid и Mapinfo. Главной целью при этом была разработка методики совместной обработки данных, полученных различными методами. В ПК TerraSolid присутствуют автоматические инструменты создания цифровой модели рельефа по данным лазерного сканирования. Построение выполняется на основе классифицированных точек земли. Но высокоточно автоматически выделить землю по данным мобильного лазерного сканирования при съемке с тепловоза территорий с плотной высокой растительностью невозможно. Требуется выполнять интерактивную классификацию точек лазерных отражений (ТЛО) в большом объеме, так как при сканировании с наземного транспортного средства самым нижнем слоем точек на участках за различными объектами, холмами будут не точки земли, а точки растительности. Все эти небольшие участки необходимо доснимать другими методами. На рис. 2 показан поперечный профиль облака ТЛО, из которого видно, что сканирующий луч не полностью прошел через слой растительности. Для таких территорий с целью получить рельеф часто применяют воздушное лазерное сканирование. Но, ввиду высокой себестоимости воздушного сканирования, специалистами СГГА для получения не попавших в поле зрения сканирующей системы объектов и рельефа были выбраны методы тахеометрической и GPS съемки. Для этого первоначально необходимо было определить координаты мест съемки с пометками, что необходимо доснять. На рис. 3 приведен участок облака ТЛО с отмеченными для досъемки точками.

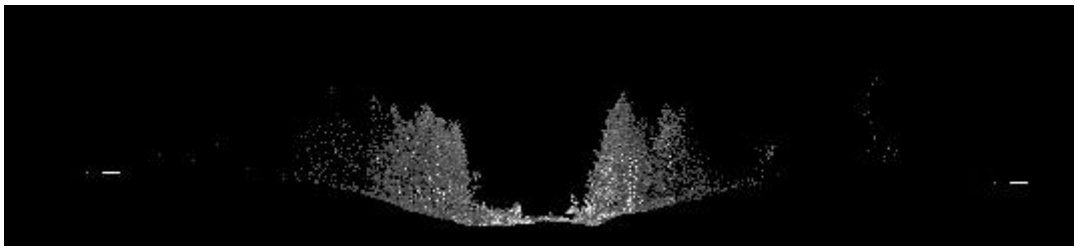


Рис. 2. Поперечный профиль облака ТЛО

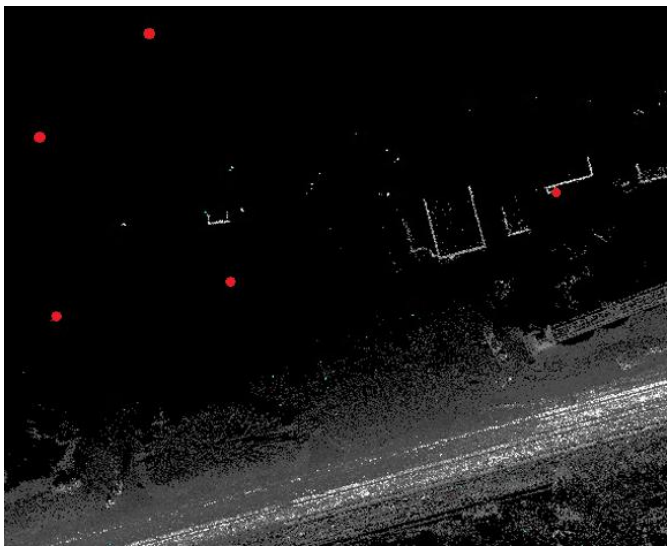


Рис. 3. Выбор точек для досъемки

Интерактивная классификация земли по данным мобильного лазерного сканирования не выполнялось из-за большого числа участков с нижним слоем точек растительности вместо земли. Для построения горизонталей был выполнен интерактивный набор точек земли по данным сканирования с одновременным определением координат необходимых мест досъемки и её площади (рис. 4). Все координаты мест досъемки были записаны на навигационные GPS-приемники и переданы геодезистам для выполнения полевых работ. Съемка рельефа была выполнена за 2 недели посредством GPS-съемки, а строений – посредством тахеометрической.

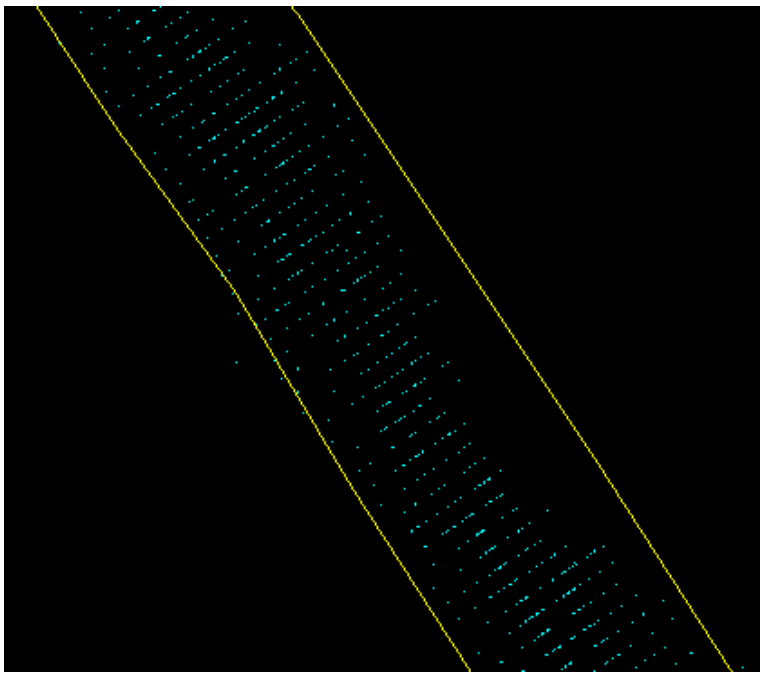


Рис. 4. Интерактивный набор точек земли

В ПК Microstation данные дополнительных полевых работ были совмещены с результатами мобильного лазерного сканирования. После объединения результатов съемок было выполнено построение горизонталей и отрисовка объектов ситуации. Оформление топографического плана было выполнено в ПК Mapinfo. На рис. 5 показан пример отрисовки объектов ситуации в ПК Microstatin и оформления топографического плана в ПК Mapinfo.

Таким образом, по результатам выполненных работ была разработана методика создания топографического плана масштаба 1:1000 по данным мобильного лазерного сканирования, тахеометрической и GPS съемок. Данную методику в первую очередь следует применять для сильно залесенных участков местности, когда лазерный луч сканирования не проникает через весь слой растительности, при сканировании с помощью системы, установленной на железнодорожном транспортном средстве. Для участков с меньшей плотностью растительности процесс интерактивного набора точек при создании цифровой моде-

ли рельефа следует заменить на процесс её создания с помощью инструментов автоматического построения с последующим редактированием построенной модели рельефа. Также при сканировании городских территорий площадь участков досъемки существенно меньше.

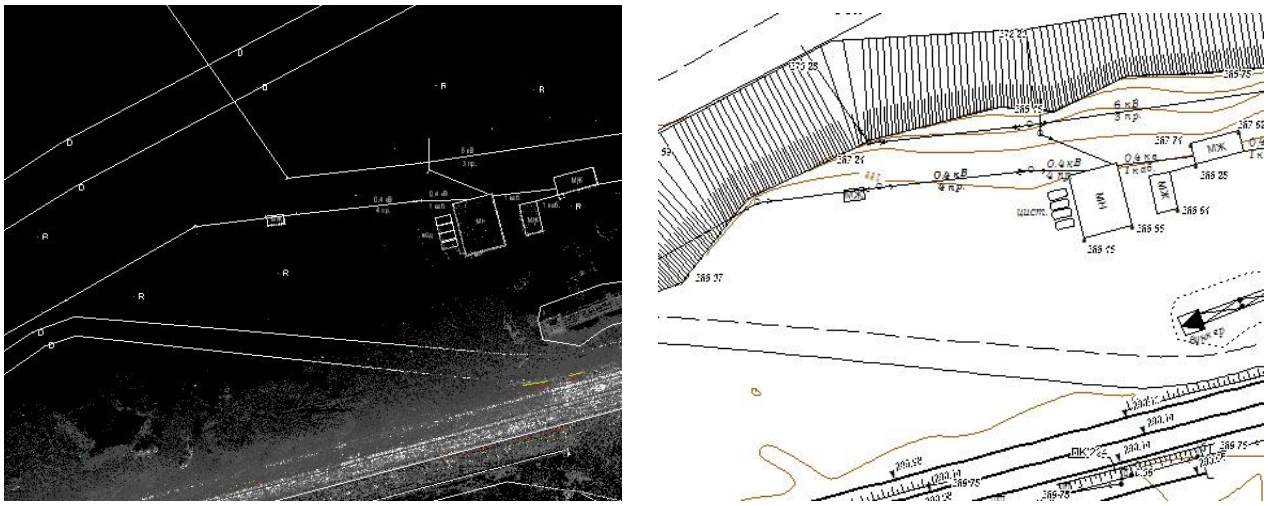


Рис. 5. Результаты построения топографического плана масштаба 1:1000

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазерная сканирующая система LYNX [Электронный ресурс] / сайт компании Йена Инструмент. – Режим доступа: http://jena.ru/catalog/laser_scaning_systems/lynx/ – Загл. с экрана.

2. Широкова, Т.А. Использование космических снимков открытого доступа для обновления электронных карт масшаба 1:100 000 [Текст] / Широкова Т.А. Алтынцев М. А., Арбузов С.А., Чермошенцев А.Ю. // Вестник СГГА – Новосибирск: СГГА, 2012 - № 3

3. Zampa, F., Mapping with Mobile Lidar [Text] / F. Zampa, D. Conforti // GIM International, 2009. – issue 4. – vol. 23. – PP 35-37.

© В.А. Середович, М.А. Алтынцев, 2013

УДК 502

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ LYNX MOBILE MAPPER M1 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Михаил Викторович Петров
ООО НПК «Йена Инструмент», 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д. 42, тел./факс (495)649-61-05, e-mail: info@yena.ru

В статье рассмотрены принципы работы мобильной системы лазерного сканирования LYNX Mobile Mapper M1 (Optech Канада) и опыт ее использования в дорожной отрасли.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование.

EXPERIENCE OF APPLYING LYNX MOBILE MAPPER M1 LASER SCANNING SYSTEM FOR PLANNING HIGHWAY REPAIR

Mikhail V. Petrov
Public corporation scientific and production complex “Yenne Instrument”, 42 Lyublinskaya St., Moscow, 109387, Russia, phone/fax: (495) 6496105, e-mail: info@yena.ru

Operation principles of LYNX Mobile Mapper M1 laser scanning system (Optech, Canada) and experience of its application in road construction are considered.

Key words: mobile laser scanning.

Технологии лазерного сканирования уже достаточно прочно закрепились в современных инженерных изысканиях, как высокоточные и эффективные методы сбора данных о пространственном положении объектов.

Лазерный сканер или лидар (LIDAR англ. Light Detection and Ranging) – это прибор, выполняющий измерения с помощью лазерного оптического дальномера. Сканер выполняет измерения с очень высокой частотой (до нескольких сотен тысяч измерений в секунду), в результате чего получается большой объем координированных данных. В дальнейшем эти данные используются для построения пространственных цифровых моделей измеряемых объектов. Имеются лазерные сканеры наземного, воздушного и мобильного базирования. Соответственно, различают технологии наземного(НЛС), воздушного(ВЛС) и мобильного лазерного сканирования (МЛС), отличающиеся областями применения и точностью получаемых результатов.

Компания «Йена Инструмент» использует современную мобильную систему лазерного сканирования LYNX Mobile Mapper M1 производства компании Optech (Канада). Мобильная система лазерного картографирования– это мобильный измерительный комплекс, позволяющий выполнять сбор данных о пространственном положении объектов с геодезической точностью, производимый с движущегося транспортного средства (автомобиль, железнодорожная мотриса). Высокоскоростная мобильная система лазерного картографирования

LYNX M1 включает сканирующие сенсоры, высокоточную систему позиционирования и видеокамеры высокого разрешения. В процессе выполнения работы сканер, за счет прямолинейного движения автомобиля и вращения, в вертикальном направлении, зеркала сенсорного блока, производит обзор прилегающей территории справа и слева от траектории движения (рис. 3).

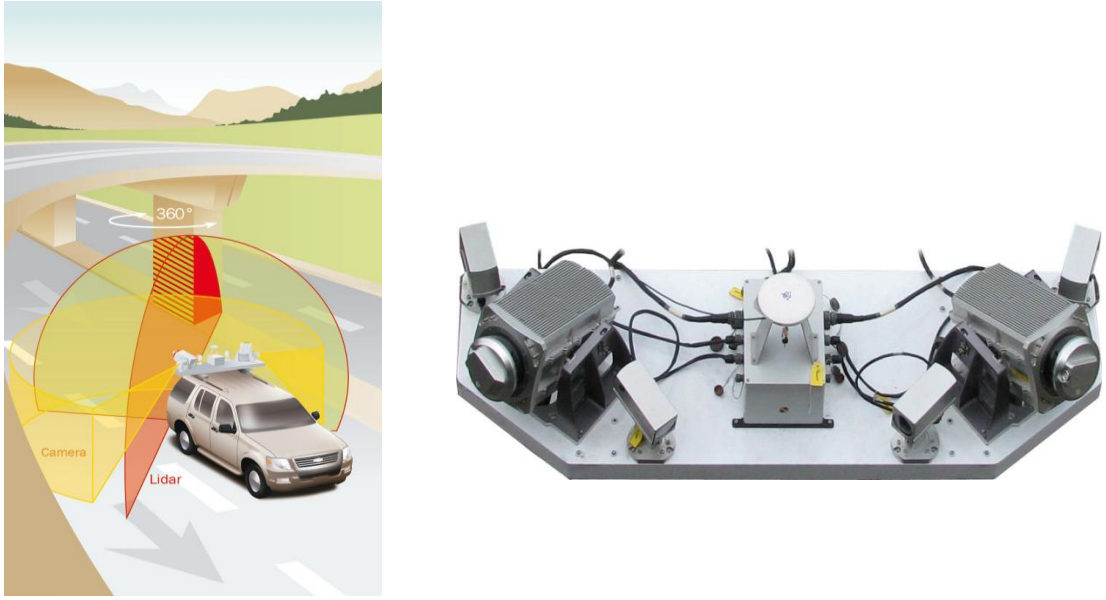


Рис. 3. Схема работы мобильных лазерных сканеров системы LYNX и фотокамер

Работа лазерного сканера основана на измерении наклонной дальности D от источника излучения (лазера) до объекта, являющегося препятствием на пути распространения лазерного луча. Такое препятствие вызовет появление отраженного импульса, который будет зарегистрирован в блоке управления, а по времени задержки от момента излучения зондирующего импульса до регистрации отраженного импульса, принимая во внимание постоянство скорости распространения электромагнитных колебаний, можно определить дальность D. Одновременно определяются углы отклонения сканирующего луча и координаты (X, Y, Z) пространственного положения носителя за счет использования инерциальной системы, которая одновременно с GPS приемником, установленным на базовой станции, принимает навигационную информацию. Группа датчиков интегрирована на единой жесткой платформе, что обеспечивает сохранность взаимного положения и ориентации всех датчиков и навигационного оборудования. Параметры внутреннего взаиморасположения всех датчиков определяются при калибровочных работах.

Знание шести параметров ориентирования: углов отклонения сканирующего луча и координат пространственного положения носителя позволяет математически перейти к координатам точки, вызвавшей отражение. Основной результат работы лазерного локатора – лазерно-локационное изображение или «облако» лазерных точек (рис. 1).

Рис. 1. Облако точек лазерных отражений, раскрашенное по интенсивности отраженного сигнала

Лазерно-локационное изображение всегда дискретно, оно состоит из множества лазерных точек, распределенных по пространственной структуре объектов и объективно отражающих топологию объектов. Технические характеристики сканера и выбор параметров сканирования определяют детальность и точность получаемой информации.

Опыт применения в дорожной отрасли.

Мониторинг, диагностика и оценка состояния автомобильных дорог в целом и дорожной одежды в частности являются базовой информационной основой для эффективного использования средств и материальных ресурсов при реконструкции, ремонте и содержании дорожной сети.

Осенью 2013 года компанией «Йена Инструмент» были выполнены работы по мобильному лазерному сканированию участка дороги на юге России с целью получения данных для проектирования ремонта автодороги. Технические параметры сканирования и фотофиксации представлены в следующей таблице.

Перед проведением мобильного лазерного сканирования была создано планово-высотное обоснование на данном участке, к которому в дальнейшем были привязаны данные МЛС. Точность облака точек относительно опорной сети в плане и по высоте составила 0,01 м. По результатам МЛС были получены следующие виды выходной продукции:

- Топографический план 1:2000;
- Цифровая модель дорожной одежды
- Дефектные ведомости:
  - Ведомость ограждений (в т.ч. подпорные стенки)

- Ведомость дорожных знаков
- Ведомость бордюрного камня
- Ведомость мостов и тоннелей
- Ведомость съездов и примыканий
- Ведомость тротуаров
- Ведомость водопропускных труб
- Ведомость газонов
- Ведомость автобусных остановок;

- Продольный профиль;
- Поперечные профили (через 20м)

Таблица 1

Параметры МЛС для участка автодороги

Протяженность	18км
Техническая категория	III-IV
Ширина коридора съемки	50м или до границы существующей застройки
Частота сканера	500кГц (каждый сканерный блок)
Средняя скорость	30-40км/час
Съемочное время	2 часа
Число фотографий	29718
Объем лидарных данных	170 ГБ

Рис. 2. Монтаж мобильной сканирующей системы LYNX на автомобиль

Все вышеуказанные виды продукции были получены в течение всего 10 дней после проведения мобильного лазерного сканирования. С учетом полевых работ на весь проект ушло не более 14 дней.

Таким образом, с использованием технологии мобильного лазерного сканирования системой LYNX M1 можно оперативно и с высокой точностью получать следующие геометрические параметры и оценочные характеристики автодороги и объектов дорожной инфраструктуры:

• ширина проезжей части, основной укрепленной поверхности дороги и укрепительных полос продольные уклоны проезжей части и обочин;

• поперечные уклоны проезжей части и обочин

• радиусы кривых в плане и уклоны поворотов;

• состояние дорожной одежды (наличие, вид, расположение и характеристика дефектов);

• дефекты разметки, колейность;

• ровность покрытия;

• высота насыпи, глубина выемки и уклоны их откосов, состояние земляного полотна;

• наличие и высота колесоотбойников и бордюров

Рис. 3. Хорошо видны дефекты дорожной одежды
на мостовом сооружении

Одновременно на основании полученных данных возможно

- Решение полного комплекса топографических задач, связанных с созданием и обновлением карт, планов(вплоть до масштаба 1:500), схем межевания, кадастр и т.п.
- Создание полного комплекта изыскательских материалов для проведения ремонтных и строительных работ дорог.
- Проведение инвентаризации и паспортизации объектов дорожной инфраструктуры.
- Создание и заполнение дефектных ведомостей.
- Построение высокоточных 3D моделей дороги и прилегающей территории.

© М.В. Петров, 2013

УДК 528.91

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСИ ДОРОГИ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Алексей Сергеевич Троян
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и информационных систем, тел. (953)8888-533, e-mail: a.troyan@list.ru

В статье представлено к рассмотрению программный продукт для определения оси автомобильной дороги по данным, полученным путем наземного лазерного сканирования.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, ось автомобильной дороги.

DETERMINATION OF ROAD AXIS BY LASER SCANNING

Alexey S. Troyan
Post-graduate student, Department of Engineering Geodesy and Information Systems, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (953)8888-533, e-mail: a.troyan@list.ru

The software for motorroad axis determination by the data of terrestrial laser scanning is presented.

Key words: terrestrial laser scanning, motorroad axis.

На сегодняшний день автомобильные дороги в России имеют плачевный вид, а у некоторых все планы по их строительству безвозвратно утеряны. Таким образом, существует необходимость по созданию такого программного продукта, который оперативно и точно сможет получить и (или) восстановить необходимые данные для контроля состояния дорог.

Целью данной работы является определение оси автомобильных дорог по данным лазерного сканирования.

В настоящее время существует и стремительно развивается технология наземного лазерного сканирования. Наземный лазерный сканер (НЛС) – это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью (от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду) расстояния от сканера до точек объекта и регистрирующая соответствующие направления (вертикальные и горизонтальные углы) с последующим формирование трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек.

Наземное лазерное сканирование обладает большим рядом преимуществ перед остальными технологиями получения пространственных данных, такими как:

- высокая степень автоматизации;
- высокая производительность НЛС сокращает время полевых работ при создании цифровых моделей объектов, что делает данную технологию более экономически выгодной по сравнению с другими;

- высокая точность измерений;
- высокая степень детализации;
- многоцелевое использование результатов лазерного сканирования. [1]

При необходимости получения более точных, детальных характеристик мостов, эстакад, надземных коммуникаций, линейные размеры объектов используют наземное лазерное сканирование. Взаимное положение моделей объектов определяется с высокой точностью, потому что все полученные материалы съемок хранятся в едином трехмерном координатном поле. И все трехмерные модели подобных объектов по данным сканирования создаются однозначно.

Трехмерные модели таких объектов по данным сканирования создаются однозначно, так как все материалы съемок находятся в едином трехмерном координатном поле, благодаря чему.

На сегодняшний день, наземное лазерное сканирование является самым оперативным и производительным способом для получения точной и полной информации о пространственном объекте.

Для определения оси автомобильной дороги в работе мы используем пространственные данные, полученные путем использования средств наземного лазерного сканирования. Эти данные обрабатываются в программном продукте Leica Cyclone. Далее, полученное облако точек выгружается в текстовый файл, в котором отображаются координаты (XYZ) каждой точки.

Программа написана с помощью языка программирования Lua. Lua выбран потому, что он обладает качествами C++, которые необходимы при работе с данными, и одновременно является интерпретируемым языком (исходный код программы преобразуется в программный код непосредственно во время выполнения программы).

Первый этап обработки данных включает в себя загрузку результатов лазерного сканирования и преобразование их в удобный для обработки формат. На практике этот этап эффективнее всего совместить с отсечением (упрощением) данных. Для упрощения данных используются следующие алгоритмы:

1. упрощение по концентрации: множество точек, попавшее в куб с заданной стороной, объединяется до одной точки (путем вычисления среднего значения);

2. фильтрация шумов (предварительная) - кубы, имеющие малое количество точек, и не находящиеся рядом с местами концентрации точек исключаются. Коэффициенты, определяющие минимальное количество точек, определяются в файле конфигурации либо пользователем

3. хранение в памяти в виде структуры, а также хранение в СУБД (система управления базами данных) sqlite с использованием индексов. Это позволяет выполнять вычисления с большими объемами данных с приемлемой скоростью.

Упрощенные данные в виде файлов загружаются в программу-редактор для последующей обработки. В ней пользователь должен определить края дороги на основании карты высот и трехмерного представления исследуемого объекта.

Края дороги выделяются с помощью создания ломаных линий, представляющих вертикальные полигоны. При вводе ломаных линий пользователю отображается "коридор", в который должна попасть кромка дороги для выдерживания требуемой точности. По данным линиям производится расчет средней линии дороги, а также происходит отбрасывание точек, не принадлежащих дороге.

Для отображения двумерной проекции используется двумерный движок love2d, а для отображения трехмерной сцены используется трехмерный движок Irrlicht. Движок love2d используется для создания графических приложений на языке lua.

Особенность трехмерного движка Irrlicht заключаются в том, что он способен беспрепятственно присоединяться к большом числу языков программирования, в том числе lua.

Проделав данную работу, можно сказать о следующем:

- впервые используется возможность построения оси автомобильной дороги по результатам наземного лазерного сканирования с фильтрацией данных;
- данный алгоритм позволит повысить эффективность обработки данных и уменьшить время, потраченное на работу;
- дальнейшее развитие модулей позволит решать другие производственные задачи, такие как определение ровности дорожного покрытия, построение различных видов сечений, вычисление объемов и др.

На рис. 1 представлен фрагмент выполнения программы.

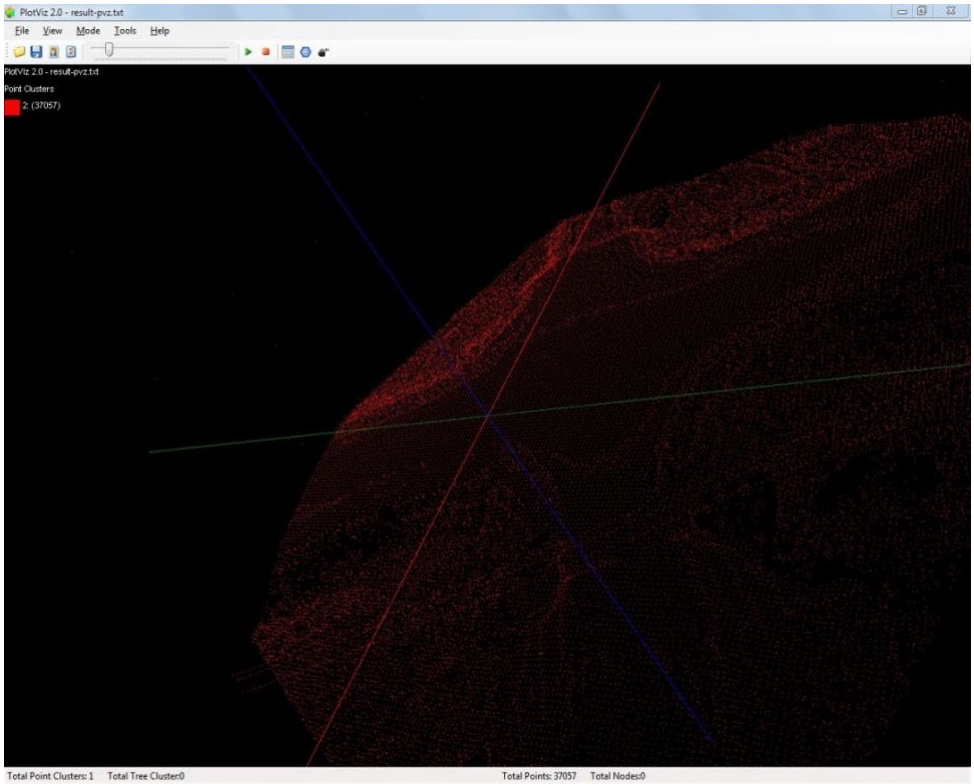


Рис. 1. Отображение части автомобильной дороги

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троян А.А. Определение ровности дорог методом аппроксимации по результатам наземного лазерного сканирования // Трехмерное моделирование для решения научных и прикладных задач [Текст]: сб. тезисов докладов Межвузовской научной конференции учащейся молодежи, 2012г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012 – С. 19-21.

2. Середович В.А., Наземное лазерное сканирование / Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. – Новосибирск: СГГА, 2009

© А.С. Троян, 2013

УДК 52-14

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ИХ ВЫПОЛНЕНИИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА «GATEWING X100» И НАЗЕМНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ «RIEGL VZ-1000»

Вячеслав Денбинович Хан
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова д. 83, инженер НИЧ, тел. (950) 110-07-56, e-mail: Mithril1990@mail.ru

Владимир Игоревич Кугаевский
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова д. 83, инженер НИЧ, тел. (950)094-46-01, e-mail: Kug-vova@yandex.ru

В статье рассмотрена возможность применения БПЛА при выполнении топографической съемки, выполнен анализ точности двух разных методик съемочных работ, с применением НЛС и БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, ДЗЗ, облако точек.

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF GEODETIC WORKS, WITH THEIR EXECUTION BY A UAV «GATEWING X100» LAND AND SCANNING SETTINGS «RIEGL VZ-1000»

Vyacheslav D. Khan
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (950) 110-07-56, e-mail: Mithril1990@mail.ru

Vladimir I. Kugaevsky
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (950) 094-46-01, e-mail: Kug-vova@yandex.ru

The possibilities of the UAV when the topographical survey, the analysis of the accuracy of two different methods of surveying, using the NLS and the UAV.

Key words: UAV remote sensing point cloud.

За последние годы в России и за рубежом многие компании предлагают различное высокоточное геодезическое оборудование и методики выполнения инженерных изысканий в области геодезии и маркшейдерского дела. Ни для кого не секрет, что при топографических изысканиях больших площадей, большинство геодезических компаний обращаются за помощью к технологиям ДЗЗ (Дистанционного Зондирования Земли).

ДЗЗ – это наблюдение поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной аппаратуры. В 21 веке широко развивается направление космического ДЗЗ, одним из важнейших видов дистанционных исследований являются радарные съемки. Этот метод

сбора данных незаменим в условиях, когда непосредственное наблюдение поверхности планеты затруднено различными природными условиями. Использование радиолокационных данных применяется в различных областях ГИС (Гео Информационных Систем).

Параллельно развитию космического ДЗЗ, широко развиваются аэрофотосъемки с применением БПЛА (Беспилотных Летательных Аппаратов). У многих возникает вопрос: «Зачем использовать методику БПЛА при выполнении топографических съемок больших площадей, когда низкоорбитальный спутник снимет в сотни раз больше и во много раз быстрее?» На сегодняшний момент технологии спутниковой съемки находятся на стадии доработок. Использовать данные полученные путем космического зондирования при построении ЦМР (Цифровой Модели Местности) невозможна, из-за недостаточной точности.

Обратим внимание на технологию БПЛА, каждый производитель данной технологии предлагает «новое решение». Это решение должно упростить поставленные задачи перед инженером, за счет повышения производительности съемки крупных площадей. Минимизировать затраты и предоставить высокую точность используя полученные данные при моделировании. Все это выглядит красиво по презентациям и видеороликам, которые часто выкладывают производители данных технологий на страницы своих сайтов.

Летом 2012 года сотрудниками кафедры маркшейдерского дела и геодезии НИ ИрГТУ был выполнен научный эксперимент, заключающийся в сравнении двух методов съемки: НЛС (Наземное Лазерное Сканирование) и съемка с использованием БПЛА Gatewing x100. В качестве объекта наблюдений было выбрано действующее горнодобывающее предприятие, находящееся в Иркутской области.

Выполнение топографической съемки с помощью БПЛА Gatewing x100 состояло из нескольких этапов:

- подготовительные работы;
- выполнение полетов;
- обработка полученных результатов.

К подготовительным работам относят создание и координирование опознавательных знаков на земной поверхности в контуре выполнения съемки. Опознавательный знак имеет простую, крестообразную конструкцию, размеры ее зависят от высоты полета БПЛА. Цвет и размеры опознавательного знака рассчитывается заведомо, чтобы на темной поверхности он был ярких тонов, а на светлых, темным. В данном случае мы использовали обычную доску (перекрестие). По всему периметру границ съемки опознавательные знаки были расставлены, так чтобы их покрытие было равномерным. Координирование опознавательных знаков осуществлялось с помощью GPS оборудования (рис. 4).

Комплектация БПЛА состоит (рис. 1):

- контроллер;
- USB-радиомодем;
- пусковая установка;

- БПЛА с установленной на борту цифровой камерой;
- Программное Обеспечение.

Рис. 1. Комплект оборудования БПЛА

Рис. 2. Управление БПЛА

Управление БПЛА выполнялось с помощью 1 специалиста весь сеанс (рис.2). В контроллере-устройстве, с которого задается программа полетов установлено специально ПО предназначенное для управления и отслеживания за БПЛА. Связь между самолетом и контроллером осуществляется через специальный USB-радиомодем. Запуск выполняется с пусковой установки, а сеанс полета проходит в автоматическом режиме.

После успешного запуска, по запроектированной траектории БПЛА в течение 30 минут выполнялся полет на высоте 150 метров. На борту БПЛА установлена цифровая камера высокого разрешения, которая ежесекундно производила фотографирование местности. По завершению сеанса, БПЛА совершил «мягкую посадку» и с камеры находящейся на борту самолета был выполнен импорт полученных снимков.

Имея координаты опознавательных знаков и снимки, на которых они были определены по средствам ПО PhotoScan, в течение 1 вечера произвелась обработка данных. На выходе получены данные разных форматов, «облако точек» файл формата *.txt несущий в себе более 8 млн. точек с пространственными координатами X, Y, Z. Эти данные возможно использовать при построении цифровой модели рельефа. Так же был получен файл формата *.tif, который используется в любой ГИС системе, с его помощью возможно построение и обрисовка топографического плана.

Наземное лазерное сканирование было осуществлено с применением наземной сканирующей системы RieglVZ-1000 (рис.3). Съемку выполняли два специалиста, оператор и помощник. Всего по карьеру было сделано две скан позиции в течение 5 минут каждая. В камеральных условиях были обработаны полученные данные по средствам ПО RiSCAN и Microstation. По итогам обработки было получено трехмерное облако точек (рис.5), каждая точка имеет ко-

ординаты X,Y, Z. В дальнейшем обработанные данные возможно применять при построении цифровой модели.

Рис. 3. Сканирующая система RieglVZ-1000

Рис. 4. GPS оборудование-RTK режиме

После обработки двух вариантов топографической съемки, было предложено проанализировать полученные результаты. Для этого использовали программный продукт Microstation, в который загрузили полученные результаты. Во время проверки обработанных данных съемок в плановом положении, обе съемки находились в одних и тех же плоскостях «X»и «Y». Анализ полученных результатов в плоскости «Z» было предложено оценить способом вертикальных сечений. Для построения сечений использовался инструмент TSCAN (рис.6), ПО Microstation. Разрезы были построены в местах максимального перекрытия точек двух съемок. По построенным разрезам измерялась величина Δh данных полученных и обработанных методикой БПЛА относительно НЛС. Значения Δh приведены в табл. 1.

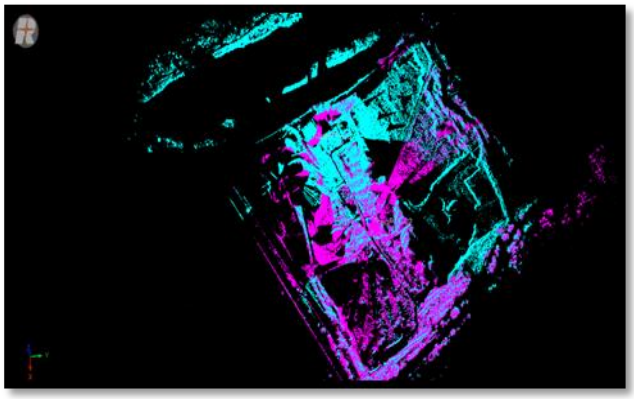


Рис. 5. Облако точек

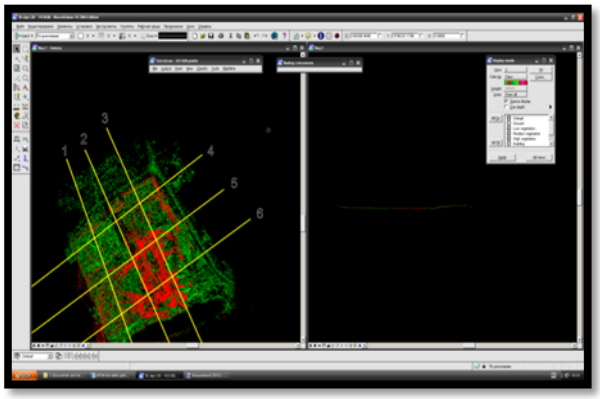


Рис. 6. Построение сечений

Таблица 1

Отклонения значений съемки БПЛА относительно НЛС

Метод наблюдений	БПЛА	
Разрез	**Δh+ м**	**Δh- м**
1-1	0,134	
2-2		0,092
3-3		0,088
4-4(1)		0,162
4-4(2)	0,162	
5-5(1)	0,181	
5-5(2)	0,077	
5-5(3)		0,110
6-6(1)	0,168	
6-6(2)	0,176	
6-6(3)		0,168

Из табл. 1 видно, что данные, полученные методом аэрофотосъемки, значительно отличаются от данных, полученных при помощи НЛС. Эта разница существенно превышает допустимое значение, заявленное производителем (5 см при полете на высоте 150 м). Согласно вышесказанному я могу сделать вывод, что применение данного БПЛА не целесообразно использовать на местности со значительными перепадами высот, высокой травяной растительностью и густого лесного покрова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gatewing - A TRIMBLE COMPANY - [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.gatewing.com/

2. Беспилотные летательные аппараты - [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.racurs.ru/

3. RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS - [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.riegl.ru/

© В.Д. Хан, В.И. Кугаевский, 2013

УДК 528.48/625.7

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Жанна Аркадьевна Хорошилова
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры ИГиИС

В статье рассматривают вопросы применения лазерного сканирования при выполнении инженерно-геодезических задач и их особенности при построении трехмерных моделей по результатам сканирования. Рекомендуется при выборе лазерного сканера использовать математическую модель, позволяющую с учётом возможностей конкретного сканера и условий выполнения работ рекомендовать тот тип, который наиболее оптимально позволяет решить конкретную задачу.

Ключевые слова: лазерный сканер, инженерно-геодезические задачи, объекты съемки, погрешности построения модели объекта сканирования, математическая модель.

MATHEMATICAL MODELING OF ENGINEERING STRUCTURES BY LASER SCANNING

Zhanna A. Khoroshilova
Senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Information Systems, Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St.

Laser scanning application for engineering geodetic works is considered. The features of 3D modeling by laser scanning results are mentioned. The author recommends using a mathematical model for choosing a laser scanner. It permits taking into account the concrete scanner capabilities and the work conditions to choose the most suitable laser type for the concrete problem.

Key words: laser scanner, engineering-geodetic problems, surveying objects, errors of developing model for the object under scanning, mathematical model.

Бурное развитие технологии трехмерного лазерного сканирования, как воздушного так и наземного, ведет к появлению на рынке всё новых производителей сканеров и программного обеспечения для обработки данных сканирования. В настоящее время компании-производители лазерных сканеров предлагают довольно широкий выбор разнообразных моделей [1], каждая из которых уникальна по своим техническим характеристикам. Правильный выбор лазерного сканера в соответствии с требованиями технологии работ, а в сущности, всей технологической цепочки - от съемки до выдачи результата - это весьма непростая процедура. Несмотря на то, что первые наземные сканеры появились еще в прошлом веке, пока нет оснований утверждать, что технология лазерного сканирования широко используется в геодезии. И в качестве главных причин, наверное, нужно назвать пока ещё высокую стоимость этих систем и недостаток информации о том, как их наиболее эффективно использовать для решения различных инженерно-геодезических задач. Тем не менее, необходимо отме-

тить, что интерес к данной технологии и её востребованность на рынке геодезического оборудования растёт с каждым годом.

Области применения наземных сканеров весьма разнообразны: это проектирование сложных производств, архитектура, машиностроение, топография, киноиндустрия, строительство и многие другие. Объектами съемки могут являться, например, многоэтажный жилой дом, угольный карьер, домна металлургического завода, шахта метрополитена, цех металлургического завода, архитектурный или исторический памятник, кузов легкового автомобиля, измерения формы и размеров опасных и недоступных полостей, скульптура и даже человек. Поэтому с каждым годом поистине революционная технология трехмерного лазерного сканирования завоевывает все новые отрасли и сферы человеческой деятельности и становится еще более известной и востребованной в мире измерений.

По своим характеристикам и назначению наземные лазерные сканеры сильно различаются между собой и провести классификацию внутри самой группы довольно нелегко и, прежде всего, потому, что в принципе не существует абсолютно универсального лазерного сканера, который мог бы использоваться для решения всех инженерно-геодезических задач. Так, одни сканеры лучше использовать для съемок объектов на расстояниях до 100 м (например, сканеры ZF imaginer 5003, Trimble GX, Z+F IMAGER 5010), другие - для съемок крупных объектов на расстояниях свыше 200 м и более (например, сканеры Leica HDS4400, Leica ScanStation2; Leica ScanStation C10, Leica HDS8800, FARO Focus3D, Callidus CP 3200), третьи же предназначены для съемки небольших объектов в пределах всего лишь нескольких метров (Konica Minolta VI-9i, ScanWorX), т.е. конкретный тип лазерного сканера может применяться для решения определенного круга задач. Поэтому для формулирования последующих задач воспользуемся наиболее распространенной классификацией, в которой наземные лазерные сканеры подразделяются по принципу определения пространственных координат на импульсные, фазовые и триангуляционные [1].

В импульсных 3D сканерах реализован метод определения расстояний, основанный на точном определении времени прохождения импульса до цели и обратно (компании-производители: Callidus, Leica, Trimble, Optech, Riegl). Поскольку данный метод для непосредственного измерения расстояния использует световой импульс, то основное преимущество импульсных сканеров заключается в дальности выполняемых измерений (до нескольких сотен метров), которая обеспечивается достаточно высокой мощностью самого лазера. Но следует обязательно помнить, что излучение таких лазеров может быть вредным для глаз. Поскольку помимо измеренного расстояния, для определения пространственного положения точки фиксируются значения горизонтального и вертикального углов поворота лазерной головки, то заявленная производителем точность измерений импульсными сканерами в нескольких миллиметров с увеличением расстояния до объекта снижается. Важно понимать то, что существенное влияние на точность оказывают отражающая поверхность сканируемого объекта (стена здания, металлические конструкции, борт карьера и т.д.), угол падения

лазерного луча, внешние условия наблюдений и другие факторы. Так, например, в работе [2] представлены исследования изменения величины погрешности построения модели объекта сканирования в зависимости от величины угла падения луча на отражающую поверхность и от отражающих свойств материала поверхности.

Фазовые лазерные сканеры имеют дальность действия в пределах порядка сотни метров (компании-производители: Leica, Z+F, IQSun, VisImage). В сканерах этого типа реализован метод определения расстояний, основанный на измерении сдвига фаз излучаемого и принимаемого сигналов. Так как данный метод использует модулированный световой сигнал, то для определения расстояния не требуется слишком большой мощности лазера, и поэтому расстояния могут быть измерены с точностью до первых миллиметров. Пространственное положение точек определяется точно так же, как и у импульсных сканеров и действие погрешностей при построении модели объекта сканирования подобно импульсным сканерам. Фазовые сканеры используют безопасный для глаз лазер и поражают скоростью измерений, которая превосходит скорость импульсных сканеров в десятки, а порой и в сотни раз.

Триангуляционный метод реализуется в высокоточных сканерах (Trimble, Minolta). Особенность устройства таких сканирующих систем состоит в том, что излучатель и приемник сигнала разнесены в них на известное расстояние (базис). Определение пространственного положения точки объекта сводится, таким образом, к решению обычного треугольника, в котором известна длина одной из сторон и два прилегающих к ней угла. Триангуляционные лазерные сканеры позволяют выполнять измерения с высочайшей точностью до десятых и даже сотых долей миллиметра, но на очень небольшой дистанции (не превышающей нескольких метров). Подобные сканеры применяются, как правило, для высокоточной съемки объектов в машиностроении, реставрации, архитектуре, медицине, метрологии и т.п.

Наиболее сложный и основной процесс обработки – это представление «облаков» точек математически описываемыми поверхностями. Как правило, математический аппарат прикладного программного обеспечения позволяет создавать простейшие правильные математические поверхности (плоскость, сфера, цилиндр и прочие), либо аппроксимировать поверхность триангуляционным методом (TIN-поверхность). Созданные подобным образом поверхности вполне могут быть представлены в стандартных форматах файлов DXF, IGES, VRML, SAT, STL, DGN и, соответственно, могут быть экспортированы в любые CAD и 3D-приложения. Если лазерное сканирование сопровождается цифровой видео- или фотосъемкой, то в процессе обработки полученных данных можно совместить сканированное изображение объекта с его видеоизображением, придав скану реальные цвета.

Ранее было отмечено, что различные типы лазерных сканеров могут применяться для решения определенного круга инженерно-геодезических задач, поэтому задача – как наиболее эффективно использовать тот или иной лазерный сканер – представляет собой определенную проблему. Представляется ин-

тересным соотнести выбор соответствующего лазерного сканера с будущей моделью инженерного объекта, требования к точности построения которой возможно определить с учётом факторов, влияющих на точность построения такой модели с использованием лазерного сканера. Это возможно осуществить на основе реализации полного факторного эксперимента [3]; в результате чего для каждого объекта съемки может быть предложена математическая модель, позволяющая с учётом возможностей отдельного лазерного сканера и условий выполнения работ рекомендовать тот тип, который наиболее оптимально позволяет решить конкретную задачу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.Л. Широкова. - Новосибирск: СГГА, 2009. - 261 с.

2. Назаров И.А. Разработка и исследование современных технологий геодезических обмерных работ при воссоздании живописного облика храма Христа спасителя [Текст] /автореф. дисс. к.т.н.- Москва: МГСУ, 2007.

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

© Ж.А. Хорошилова, 2013

УДК 622

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Александр Алексеевич Токин
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет, 664000, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, инженер НИЧ, тел. (914)899-21-35, e-mail: alexandr1@bmail.ru

Алексей Алексеевич Токин
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет, 664000, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, инженер НИЧ, тел. (914) 941-32-40, e-mail: alexeiys@yandexl.ru

В статье рассмотрена методика наблюдения за сдвижением горных выработок с помощью сканирующих систем.

Ключевые слова: мониторинг деформаций, подземные горные выработки, лазерные сканирующие системы.

DEFORMATION MONITORING OF UNDERGROUND MINING WITH LASER SCANNING SYSTEMS

Alexandr A. Tokin
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (914) 899-21-35, e-mail: alexandr_tokin@gmail.ru

Alexsey A. Tokin
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (914) 941-32-40, e-mail: alexeiys@yandexl.ru

In this paper the technique for monitoring mining subsidence using scanning systems.

Key words: deformation monitoring, underground mining, laser scanning systems.

Для успешного прогнозирования и предупреждения удароопасных ситуаций, на месторождениях существуют многоуровневые системы комплексного геодинамического мониторинга (геодинамического полигона), которые объединяют целый ряд методов (сейсмический, деформационный, геоакустический, геодезический, тектонофизический и другие). Проведение натурных измерений по сети наблюдательных станций является основным средством сбора информации о протекающих процессах.

Тенденции автоматизации всех сфер производственной деятельности человека обусловлены, прежде всего, бурным развитием микропроцессорной техники и цифровых технологий. В частности, интеграция цифровой техники геодезических и фотограмметрических технологий привели к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности систем наземной лазерной локации или наземных лазерных сканеров (НЛС) [1].

Разработка метода «мониторинг деформаций в подземных горных выработок с помощью лазерных сканирующих систем» направлена на решение актуальной проблемы предупреждения горных и горно-тектонических ударов и других опасных проявлений горного давления (техногенных катастроф) на горизонтах месторождений при их разработке для обеспечения безопасности ведения горных работ в сложных горнотехнических и геологических условиях.

Основной задачей по проведению мониторинга деформаций с помощью лазерных сканирующих систем, является наблюдение за сдвижением горных выработок. Задача решается проложением сканерных ходов. Сущность проложения сканерного хода по выработкам заключается в следующем: вокруг первой сканерной станции устанавливаются 10 специальных марок, у пяти из которых определяются пространственные координаты во внешней системе координат. Эти марки будут являться опорными. Со второй станции в поле зрения сканера должно попадать более трех марок, отобразившихся на первом скане и не менее трех марок, которые будут видны с третьей станциии т. д. На последней сканерной станции необходимо иметь минимум две опорные марки для уравнивания и оценки точности проложения сканерного хода. Марки в данном случае используются не только как элементы внешнего ориентирования сканера, но и как наблюдательные станции.

Наблюдательная станция представляет собой штангу длиной 1 метр забетонированную в шпур с резьбой на конце. При наблюдениях, на нее накручивается съемная монтажная штанга длиной 30 см с креплением для марки сканера (см. рис. 1).

Наблюдательные станции располагаются по выработке сечениями по 5 шт в одной вертикальной плоскости, расстояние между сечениями не более 25 метров, в зависимости от расположения сканера между смежными сечениями (см. рис. 2).

Схемы размещения марок наблюдательных станций разрабатывались с учетом следующих положений:

1) В качестве основы при наблюдениях за деформациями используется группа марок. Число марок в группе должно быть не менее трех;

2) Марки наблюдательных станций должны располагаться в местах, удобных для выполнения измерений и обеспечивающих их сохранность на весь период производства работ;

3) В качестве исходных допускается использовать марки расположенные в местах без влияния процессов сдвижения;

4) Марки наблюдательных станций должны размещаться:

- в стороне от мест, где возможно разрушение или изменение положения марки;

- на расстоянии, исключающем влияние вибрации от вагонеток, рудоспусков и других механизмов;

- в местах, где в течение всего периода наблюдений возможен беспрепятственный и удобный подход к наблюдательным станциям для установки марки;

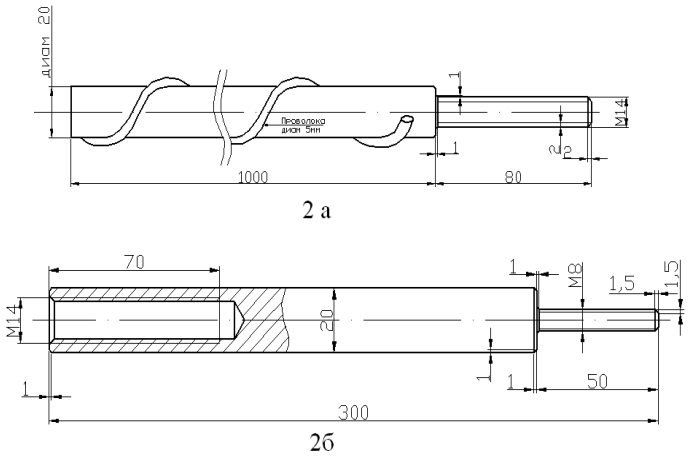


Рис. 1. Схема крепления наблюдательной станции (2а - забетонированная штанга, 2б – монтажная штанга)

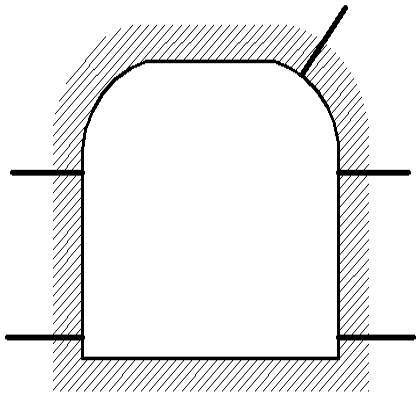


Рис. 2. Схема бурения шпуров

Пройдя сканерный ход от опорных марок по сети наблюдательных станций, получаем координаты центра марок каждой наблюдательной станции и единое облако точек по выработке. Изображения, получаемые НЛС, обычно несут чрезвычайно большой объем информации, являющийся в ряде отношений избыточной. Для определения параметров сдвижения избыточные данные позволяют определить сдвижение не только по наблюдательным станциям, но и по бортам выработки используя сечения. Также по сечениям используя метод Козырева А. А. возможно определить напряженность горного массива [2]. Из выше сказанного выделим три метода получения информации о состоянии горного массива:

По наблюдательным станциям. Использование наблюдательных станций, как элементы внешнего ориентирования сканера, позволяет определять координаты центров марок с максимальной точностью и определить по серии наблюдений пространственный вектор сдвижения марки [3].

По сечениям. Множество данных, полученных в ходе лазерного сканирования, дают возможность построить точную объемную модель выработки. Построив сечение по объемной модели можем оценить состояние выработки сравнив с проектом или предыдущим замером (выявить разрушения).

Определение напряженности горного массива по методу Козырева А.А. Если предположить, что зона разрушения несет информацию о дополнительной энергии, реализованной при действии всей совокупности напряжений, то по реальным параметрам разрушения можно попытаться оценить величину кинетической энергии W1, затраченной при разрушении реального объема пород.

Выводы

Создание системы деформационного мониторинга с помощью сканирующих систем и организация наблюдений, позволит выделять региональные и локальные предвестники динамических явлений разного энергетического уровня

в горных массивах и обосновать комплекс мер по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых с учетом геодинамических и техногенных процессов в горных массивах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В. А. Середович Наземное лазерное сканирование /Монография/ Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск СГГА 2009

2. А.А. Козырев, В. В. Тимофеев, К. Н. Константинов Мониторинг состояния подземных горных выработок по данным лазерного сканирования /Семинар/ 2009

3. Анализ точности лазерных сканирующих систем/ W. Boehler и др.// Докл. на XIX симп. CIPA, Анталья, Турция 30 сент. - 4 окт. 2003.

© А.А. Токин, А.А. Токин, 2013

УДК 528(09):656.2

УСТРОЙСТВО И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА АПК «СКАНПУТЬ»

Алексей Александрович Деговцов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск-49, ул. Дуси Ковальчук, 191, аспирант кафедры инженерной геодезии, тел. 8-923-180-00-46, e-mail: deggraf@yandex.ru

В статье рассмотрено устройство аппаратно-программного комплекса «Сканпуть», взаимодействие его основных узлов, а также управляющее им программное обеспечение.

Ключевые слова: мобильное сканирование, двухмерный сканер, устройство, программное обеспечение.

DEVICE AND SOFTWARE MOBILE LASER SCANNER HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX «SCANWAY»

Alexey A. Degovcov
The Siberian state University of communications, 191 Dusi Kovalchuk, Novosibirsk 630049, Russia, graduate student, department of engineering geodesy, tel. 8-923-180-00-46, e-mail: deggraf@yandex.ru

In the article the device hardware-software complex «Scanway», its interaction of the basic hardware devices, and management software.

Key words: mobile scanning, two-dimensional scanner, device, software.

В Сибирском государственном университете путей сообщения (СГУПС) в 2010 году разработан аппаратно-программный комплекс «Сканпуть» (далее Комплекс) предназначенный для измерений геометрических параметров рельсовой колеи, координат, превышений, расстояний, ширины колеи, положения рельсовых нитей в плане (рихтовки) и в профиле (просадки), разбивки пикетажа, лазерного сканирования ЖД объектов, фото- и видео- отчета объектов съемки, получении продольного профиля ЖД путей, паспорта кривых и топоплана. Выполнение всех этих определений и измерений осуществляется за счет синхронной работы различных аппаратно-программных устройств комплекса.

Комплекс представляет собой сборно-разборную ходовую портативную тележку из алюминиевого сплава, собранную на базе ходовой тележки АПК «Профиль». Конструкцией Комплекса предусмотрено эргономичное и функциональное размещение всех его измерительных узлов.

На одной из направляющих колесной базы, с помощью винтов с пружинами закреплено мерное колесо с датчиком пути. Устройство используется в комплексной схеме измерения расстояния, включающей одометр и спутниковую аппаратуру (ГНСС).

Внутри поперечной базы комплекса установлен датчик ширины колеи, который регистрирует изменения малой подвижной колесной базы.

На специальной платформе (см. рис. 1) закрепляемой винтовыми соединениями к несущей раме тележки установлен блок гироскопов, определяющий угловые параметры положения комплекса: α, ß, γ (азимут, продольный и поперечный угол). Под платформой устанавливаются две аккумуляторные батареи, позволяющие работать комплексу в течении 6-7 часов без подзарядки.

Рис. 1. Устройство АПК «Сканпуть»

Слева от блока гироскопов посредством специального крепления к несущей раме установлен коммутационный блок. Основной задачей блока является осуществление прямой и обратной связи между управляющим ноутбуком и аппаратными частями Комплекса, а также обеспечение электропитанием всех устройств.

На вехе между установленными блоками закрепляется подставка под управляющий ноутбук. С его помощью и специализированного программного обеспечения осуществляется управление Комплексом, контроль выполнения съемки и хранение всей получаемой информации поступающей с измерительных устройств.

В верхней части комплекса, на специальных наклонных платформах установлены два двухмерных лазерных сканера, позволяющие определять с помощью специального программного обеспечения пространственные координаты объектов съемки с точностью 10 мм.

Помимо сканеров в верхней части комплекса, для удобства наблюдения, закреплен экран пикетных расстояний и видеокамера.

В центре Комплекса закреплена веха, на которую навинчивается спутниковая антенна, а приемник спутниковой аппаратуры размещают на платформе, расположенной на ходовой тележке слева от вехи.

Таким образом, работа Комплекса осуществляется за счет запуска перед началом съемки всех необходимых аппаратных и программных средств. Запуск аппаратных устройств Комплекса выполняется частично с помощью программных средств установленных на ноутбуке и непосредственно вручную.

С помощью управляющего ноутбука осуществляется программное управление блоком гироскопов, сканерами и видеокамерой. Запуск спутниковой аппаратуры производится вручную в соответствии с инструкцией по ее применению.

Для запуска и настройки блока гироскопов, а также для приема и сохранения данных спутниковой аппаратуры, гироскопов, датчиков ширины колеи и расстояний разработана программа ProfilePC. Интерфейс программы представлен на рис. 2. В программе перед началом измерений задаются масштабные коэффициенты для всех датчиков и гироскопов, а также настраиваются порты для приема данных от спутниковой аппаратуры. Масштабные коэффициенты для гироскопов определяются в лаборатории на специальном стенде «Сирк».

После задания всех параметров выполняется запуск измерений. В отдельном окне программы становится доступным просмотр текущих параметров измерений блоком гироскопов таких как пройденное расстояние, углы ориентации комплекса, ширина колеи, а также качество связи с навигационной аппаратурой.

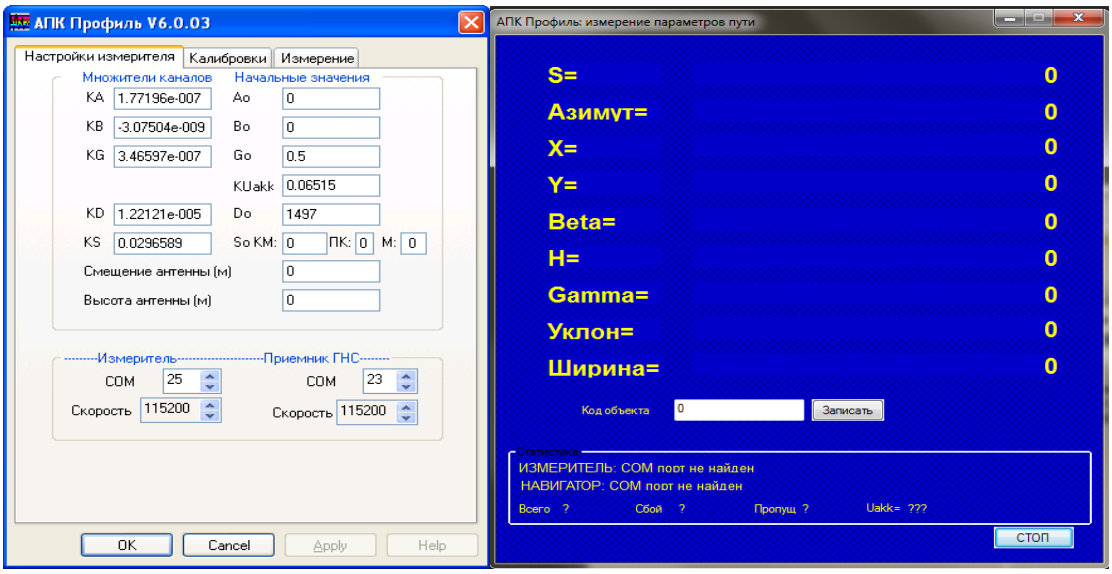


Рис. 2. Интерфейс программы ProfilePC

Для настройки, контроля и запуска сканеров, а также для приема видеоданных с камеры разработана программа ScannerDispatcher. Интерфейс программы представлен на рис. 3.

Рис. 3. Интерфейс программы ScannerDispatcher

Программа позволяет настроить шаг, поле зрения и максимальную дальность сканирования, а также скорость передачи данных. Данная программа аналогично программе ProfilePC, отслеживает данные от спутниковой аппаратуры и в режиме съемки отображает текущие координаты в системе координат WGS-84. Вмонтированный модуль в программу ScannerDispatcher дает возможность управлять видеокамерой, задавать размер видеопотока и сохранять его в выбранную директорию на управляющем ноутбуке.

Таким образом, запуск и работа АПК «Сканпуть» производится путем последовательного запуска двух управляющих программ и навигационной аппаратуры.

Комплекс прошел метрологическую аттестацию и сертификацию, получено свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.27.007.A №25716.

© А.А. Деговцов, 2013

УДК 502

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОР ЛЭП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Александр Владимирович Середович
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, директор Регионального центра лазерного сканирования, тел. (383)361-00-66, e-mail: a.v.seredovich@ssga.ru

Екатерина Игоревна Горохова
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер Регионального центра лазерного сканирования, тел. (383)361-00-66, e-mail: ekaterina.gorohova@gmail.com

Ольга Александровна Ситуха
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ведущий инженер Регионального центра лазерного сканирования, тел. (383)361-00-66, e-mail: dementeva2@rambler.ru

В статье показана проблема оценки технического состояния опор воздушных линий электропередачи. Предложена методика определения геометрических характеристик элементов опор ЛЭП с использованием технологий наземного лазерного сканирования.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, наземное лазерное сканирование, геометрические характеристики элементов опор линий электропередачи.

DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF TRANSMISSION TOWER ELEMENTS USING TERRESTRIAL LASER SCANNING

Alexander V. Seredovich
Director of Regional Centre for Laser Scanning, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630018, Russia, phone: (383)3610066, e-mail: a.v.seredovich@ssga.ru

Ekaterina I. Gorokhova
Engineer of Regional Centre for Laser Scanning, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630018, Russia, phone: (383)3610066, e-mail: ekaterina.gorohova@gmail.com

Olga A. Situkha
Lead engineer, of Regional Centre for Laser Scanning, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630018, Russia, phone: (383)3610066, e-mail: dementeva2@rambler.ru

The problems of estimating technical state of overhead transmission towers are considered. The technique for determining geometric parameters of transmission tower elements by terrestrial laser scanning is offered.

Key words: overhead transmission lines, terrestrial laser scanning, geometric parameters of transmission tower elements.

В процессе эксплуатации воздушные линии электропередачи (ЛЭП) испытывают различного рода нагрузки, что приводит к появлению деформаций, и со

временем может вывести их из строя. Поэтому, регулярно выполняется контроль и оценка технического состояния основных элементов ЛЭП.

Оценка технического состояния воздушной ЛЭП и ее элементов основывается на сравнении выявленных дефектов и неисправностей ЛЭП в целом и ее элементов с требованиями норм и допусками, приведенными в проектных материалах обследуемой ЛЭП, в государственных стандартах, ПУЭ, СНиП, «Типовой инструкции по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ»[1], технических условий и других нормативно-технических документах [2]. Обследуются следующие основные элементы воздушной (ЛЭП): опоры, фундаменты, провода, грозозащитные тросы, оттяжки опор, линейная изоляция, линейная арматура, заземляющие устройства и др. [2].

Остановимся только на опорах. Оценка технического состояния производится по характерным неисправностям основных элементов опор, которые заносятся в ведомость дефектов: отклонениям опор и их отдельных элементов от проектного положения, прогибам и деформациям элементов, уменьшению поперечного сечения расчетных элементов в результате коррозии металлических элементов и другим параметрам.

Традиционно эти контрольно-измерительные работы выполняются вручную с помощью следующих приборов: штангенциркуля, измерительной линейки, рулетки (для измерения размеров элементов, расстояний), теодолита (определение отклонений стоек опор, стрел провеса проводов), стальной проволоки диаметром 1 мм (искривление элементов конструкции) [2]. Эти работы не безопасны для исполнителей, есть ограничения по времени проведения работ (учитывается световой день). При этом работа очень трудоемкая (большое количество элементов опор).

Технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) позволяют самую трудоемкую часть (а именно определение геометрических параметров элементов опор) перенести в камеральные условия. При проведении полевого обследования с помощью наземного лазерного сканера нет необходимости обесточивать опоры, забираться на них, т.к. НЛС – бесконтактный способ сбора информации об объектах.

В Региональном центре лазерного сканирования СГГА летом 2012 г. выполнены экспериментальные работы по определению геометрических характеристик основных элементов металлических опор ЛЭП с применением технологии наземного лазерного сканирования. Выполнена съемка семи опор ЛЭП.

Рассмотрим основные элементы металлической опоры ЛЭП (рис. 1).

Металлические опоры, изготовляемые главным образом из стали, состоят из ствола (1), траверс (2) и тросостойки (3). Как правило, на высоковольтных воздушных линиях применяются стальные опоры решетчатой конструкции: ствол такой опоры состоит из поясов (8), раскосов (7) и распорок (9). Траверсы состоят из поясов (6), тяг 5, раскосов и распорок в решетках граней; иногда вместо тяг применяются подкосы (4). Для обеспечения жесткости конструкции и равномерной работы граней опоры при действии крутящих моментов в опорах устанавливают диафрагмы 10 [3].

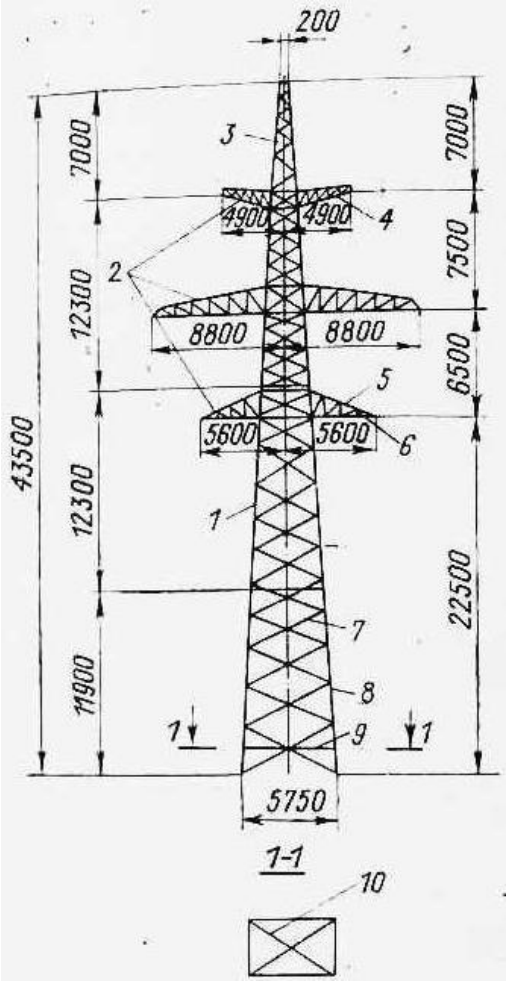


Рис. 1. Основные элементы металлической опоры ЛЭП

Соединения элементов в узлах осуществляют путем непосредственного примыкания одних элементов к другим или с помощью узловых фасонок. По способу соединения элементов в узлах фермы подразделяют на сварные и болтовые. Основными типами ферм являются сварные. Болтовые соединения, как правило, на высокопрочных болтах применяют в монтажных узлах [3].

При полевых работах использовался сканер Leica C10. Сканирование каждой опоры выполнялось с 5 точек установки сканера, располагаемых по схеме, представленной на рисунке 2. Станции 1-4 размещались на расстоянии 1/5 – 4/5 от высоты опоры. Станция 5 располагалась внутри опоры. Сканирование на станциях 1-4 выполнялись с захватом опоры по вертикали и горизонтали (включая молниеотвод и фундамент) с шагом сканирования 2-3 см на максимально удаленной точке опоры. Длительность работы на станции не более 7-10 минут. Сканирование со станции 5 выполнялось с полным захватом поля зрения. При этом длительность работы на станции 5-10 минут.

На каждой станции обеспечивалась видимость и сканировались не менее 3 соседних марок. Марки тахеометром не снимались.

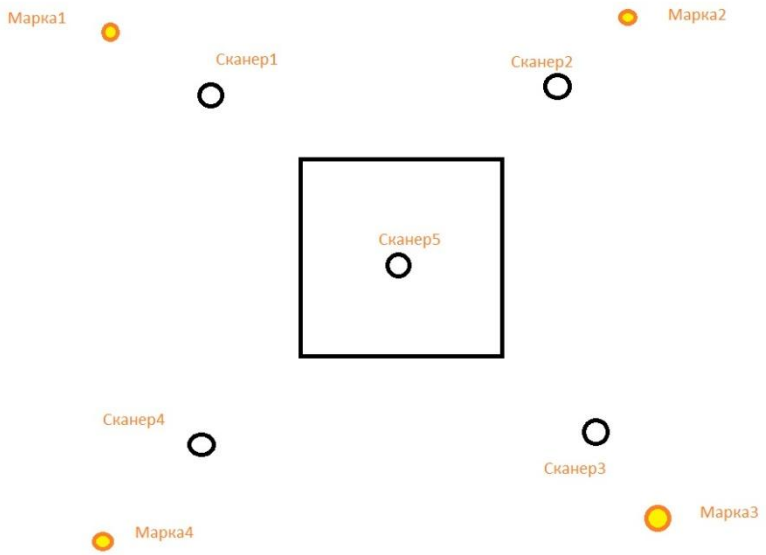


Рис. 2. Схема установки сканера и марок для каждой опоры ЛЭП

За время сканирования дополнительно сделаны подробные фотографии и видеосъемка опор с деталями. Для каждого элемента должны быть видны значительные деформации, форма, тип крепления концов (сварка или болты), количество болтов крепления.

Сшивка сканов выполнялась в программном продукте (ПП) Cyclone (Leica Geosystems) по маркам с точностью в среднем 1-3 мм.

На рис. 3 показана фотография опоры ЛЭП для дешифрирования данных сканирования.

Рис. 3. Фотография опоры ЛЭП для дешифрирования данных сканирования

Самый трудоемкий этап работ – на основе полученных данных НЛС необходимо определить длину и размер поперечного сечения каждого элемента опоры, тип соединения (сварное или болтовое), а также величину отклонения (прогиба) элемента от нормального, проектного положения. Эти работы выполнялись в ПП Cyclone.

Рассмотрим этапы выполнения работ:

1. Сегментация массива точек. На этом этапе необходимо выделить в отдельное рабочее окно ПП Cyclone каждую сторону ствола опоры, каждую сторону траверса. На рис. 4 показан результат сегментации массива данных ствола опоры ЛЭП.

2. Рисовка всех элементов опоры ЛЭП (поясов, раскосов, распорок). При этом она производится по внешнему углу элемента, с помощью функции ПП Cyclone Create Object/ From Pick Points/ Line Segment. На рис. 5 показан фрагмент рисовки элементов опоры ЛЭП.

3. Присвоение каждому элементу номера, определение его геометрических размеров, тип соединения соседних элементов, размеры прогибов. Параллельно полученные параметры вносятся в сводную таблицу «Ведомость элементов опоры» (ПП Microsoft Excel). На рис. 6 показан фрагмент рисовки траверса с выявленным искривлением.

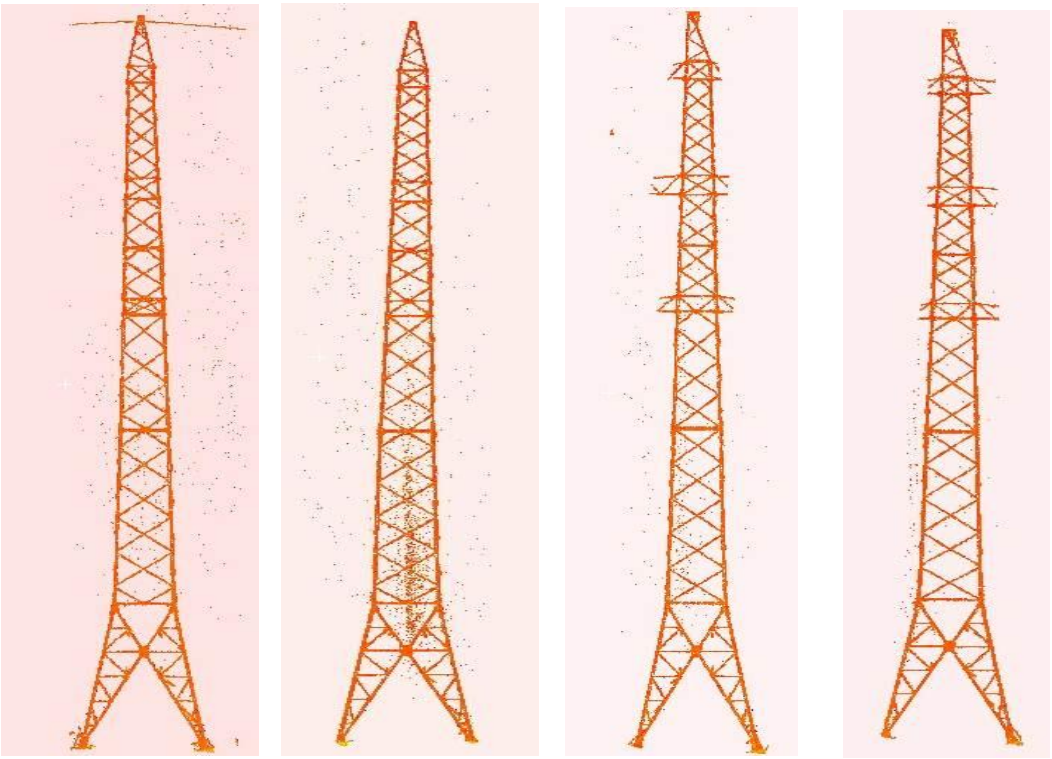


Рис. 4. Результат сегментации массива данных ствола опоры ЛЭП

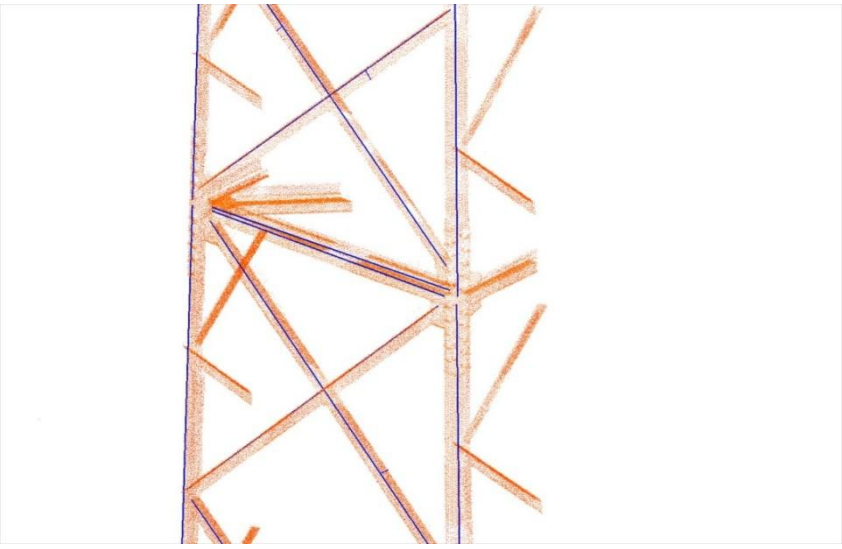


Рис. 5. Фрагмент рисовки элементов опоры ЛЭП

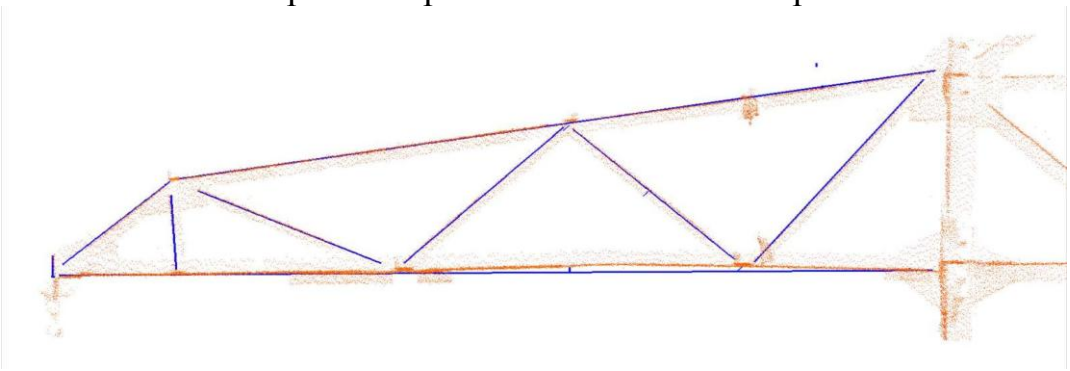


Рис. 6. Фрагмент рисовки траверса с выявленным искривлением

4. Заключительный этап – оформление чертежей в ПП AutoCAD. На основе данных наземного лазерного сканирования можно выполнить чертеж любого элемента, сделать чертеж необходимого сечения объекта. Исходя из требований заказчика, выполнен набор чертежей для каждой опоры, нанесены требуемые характеристики. На рисунке 7 показан фрагмент чертежа элементов опоры ЛЭП в ПП AutoCAD.

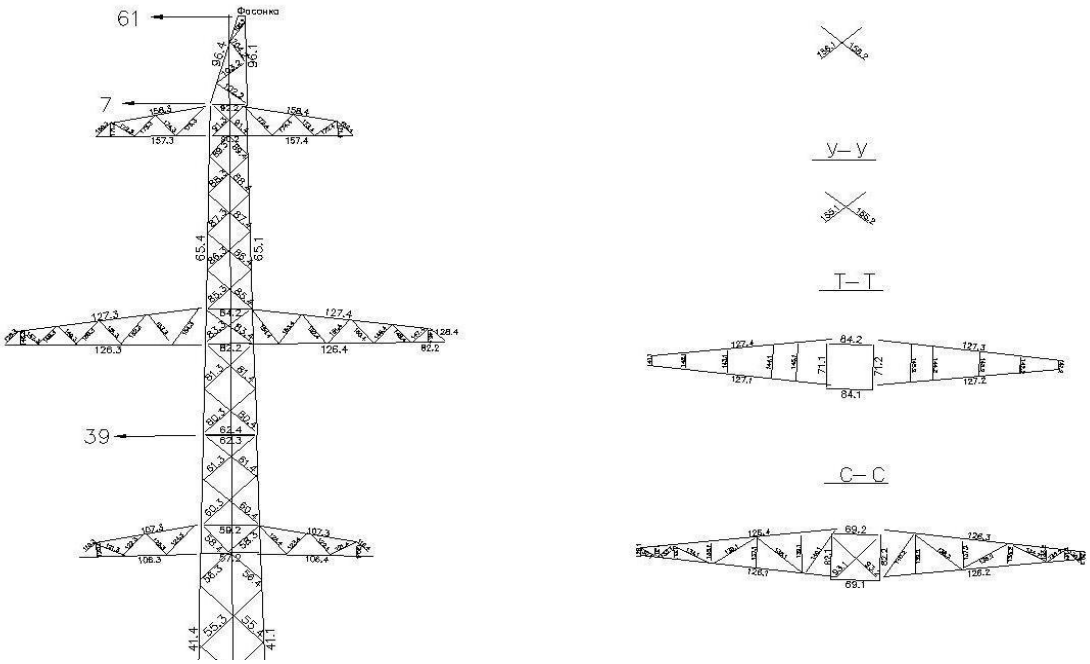


Рис. 7. Фрагмент чертежа элементов опоры ЛЭП в ПП AutoCAD

Проделанная экспериментальная работа показала возможность применения технологии НЛС для определение геометрических параметров элементов опор ЛЭП. При этом сокращается время полевых изысканий, при этом работы не зависят от времени суток, нет необходимости обесточивать опоры. Основное время по определению требуемых характеристик переносится на камеральные работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 34.20.504-94 «Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ»;

2. А.В. Демин, В.В. Алексеев, В.М. Арсеньев, И.Г. Барг (АО "Фирма ОРГРЭС"), С.Н. Шаповалов, Е.В. Горохов (Донбасская государственная академия архитектуры и строительства) «Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов»

3. Крюков К.П. и др. «Конструкции и расчет металлических и железобетонных опор линий электропередач». Изд. 2-е. Л., «Энергия», 1975. – 456 с. с ил.

© А.В. Середович, Е.И. Горохова, О.А. Ситуха, 2013

УДК 502

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ НАЗЕМНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СКАНЕРОМ

Владимир Адольфович Середович
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, оф. 106, к.т.н., профессор, проректор по инновационной деятельности, тел. (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Андрей Васильевич Иванов
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108 , Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ведущий инженер, Региональный центр лазерного сканирования, тел. (383) 361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

В статье приведена методика и результаты исследования точности измерений наземными лазерными сканерами Leica Scanstation C10 и RIEGL VZ400.

Ключевые слова: методика, точность измерений, наземный лазерный сканер (НЛС).

RESEARCH OF TERRESTRIAL LASER SCANNER MEASUREMENTS ACCURACY

Vladimir A. Seredovich
Ph.D., Prof., Vice-rector for Innovation, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Andrey V. Ivanov
Lead engineer, Regional Centre for Laser Scanning, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (383) 361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

The techniques and research results concerning Leica Scanstation C10 and RIEGL VZ400 laser scanners measurement accuracy are presented.

Key words: technique, measurement accuracy, terrestrial laser scanner.

Применяя технологию наземного лазерного сканирования (НЛС) в производстве, у исполнителя работ возникает задача оценки точности полученного результата измерений. Применительно к НЛС на сегодняшний день отсутствуют сведения о точности и применяемых методиках измерений. По этой тематике отсутствует нормативно-техническая документация. Информация, заявленная производителем оборудования, зачастую отражает погрешность единичного измерения, величина которой была получена на основе использования, как правило, стандартов оценки погрешности измерений НЛС действующих только в Евросоюзе.

Опыт, накопленный специалистами Регионального центра лазерного сканирования в Сибирской государственной геодезической академии показал, что выполняя определенным образом полевые и последующие камеральные работы с использованием НЛС, можно повысить точность получаемых результатов из-

мерений по отношению к заявленным производителем в несколько раз. Для подтверждения этого были выполнены эксперименты, нацеленные на получение количественных величин погрешностей, с применением действующих для Российской федерации стандартов оценки точности измерений в геодезии.

В эксперименте было решено использовать две модели НЛС, а именно Leica Scanstation C10, страна производитель Швейцария и RIEGL VZ400, страна производитель Австрия. Для этих сканеров основными точностными параметрами, заявленными производителями, является погрешность определения координат точки в пространстве (3D погрешность), составляющую около 6 мм, на расстоянии от 1 до 100 м. На практике зачастую пользуются информацией именно о 3D погрешности единичного измерения точки.

В программу экспериментальной оценки точности вошли следующие этапы;

– определение погрешности измерения угловых величин;

– определение погрешности измерений лазерного дальномера НЛС;

– определение погрешности повторяемости измерений на одну точку;

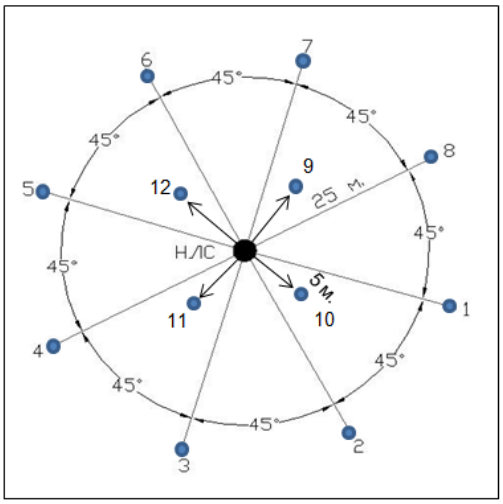
– определение погрешности измерения расстояния между двумя точками в пространстве.

Определение погрешности измерения угловых величин. В ходе исследования возможности определения погрешности измерения угла выявилось, что оценить абсолютную погрешность единичного измерения угломерной части НЛС экспериментальным методом, не представляется возможным, так как в конструкции прибора отсутствует оптический инструмент ориентирования, а фиксирование отчета происходит на основе множества измерений, объединенных каким-либо геометрическим или физическим принципом. Таким образом, оценку погрешности измерения угловых величин разделили на два этапа, в первом этапе оценивали погрешность определения угловой величины на основе совокупности данных НЛС, при двух расстояниях от прибора, на втором этапе оценивали погрешность измерения угла между двумя точками сканерных измерений, без объединения их общим геометрическим принципом.

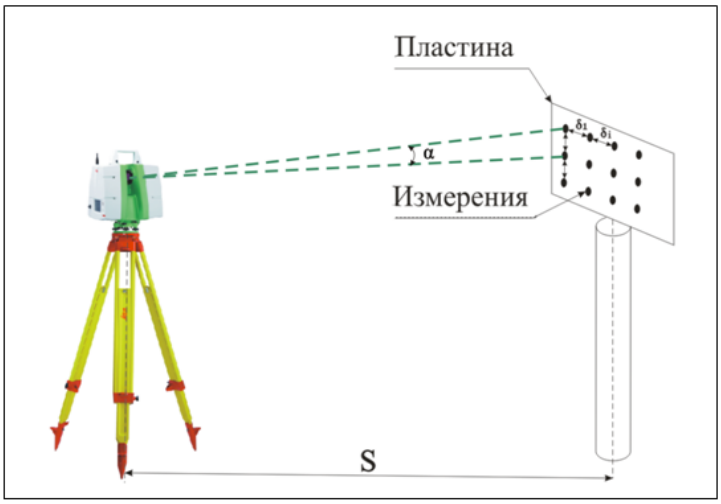
Сущность первого этапа, оценки погрешности определения угла заключается, в использовании радиального полигона с закрепленным центром принудительного центрирования НЛС и 12 специальных светоотражающих сканерных марок, расставленных по кругу в два контура на расстоянии 5 и 25 м, с заранее измеренными, с высокой точностью ($\approx 1''$) горизонтальным углами (рисунок 1).

На втором этапе, оценивалась повторяемость результатов измерения вертикального и горизонтального угла, также при двух расстояниях 10 и 50 м от НЛС до отражательной поверхности, и трех плотностях сканирования с шагом 1 мм, 6 мм, 15 мм на заданное расстояние (рис.1).

Результаты первого этапа определения средней квадратической погрешности (СКП) измерения угла, приведены на рис. 2.



Этап I. Радиальный полигон из 12 специальных марок с шагом ≈ 45° на расстоянии 25 м, и ≈ 90° на расстоянии 5 м.



Этап II. Схема оценки регулярности шага сканирования

Рис. 1. Принципиальная схема двух этапов, оценки погрешности измерения угловых величин

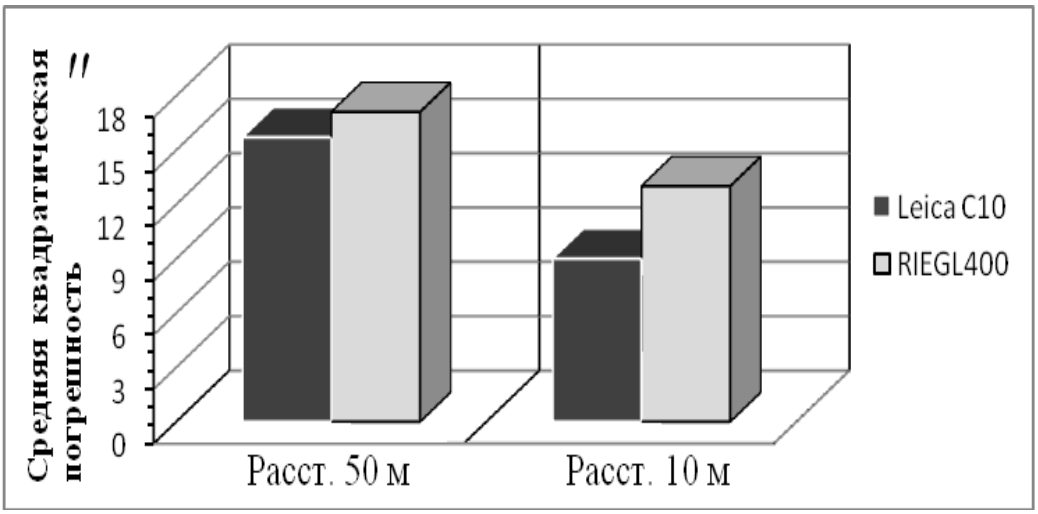


Рис. 2. Гистограмма СКП первого этапа

Из результатов, представленных на рис. 2 для первого этапа, видно, что погрешность измерения угла уменьшается с изменением расстояния. Установлено, что погрешность измерения угла сильно зависит от применяемого способа обработки данных НЛС.

Результаты второго этапа исследований погрешности измерения углов представлены на рис. 3 и 4.

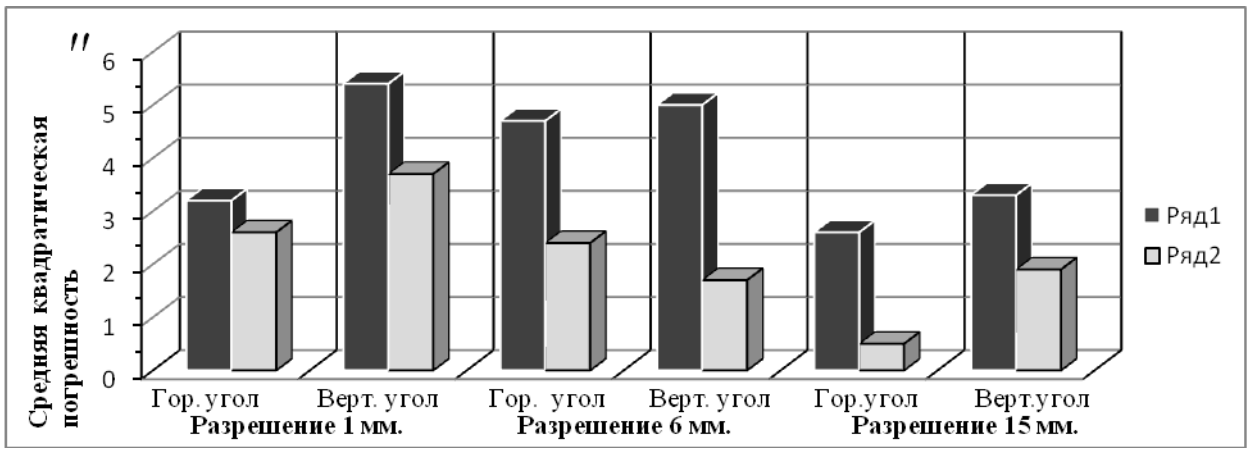


Рис. 3. Гистограмма угловой СКП для Leica C10,
ряд 1 для расстояния 10 м, ряд 2 для 50 м

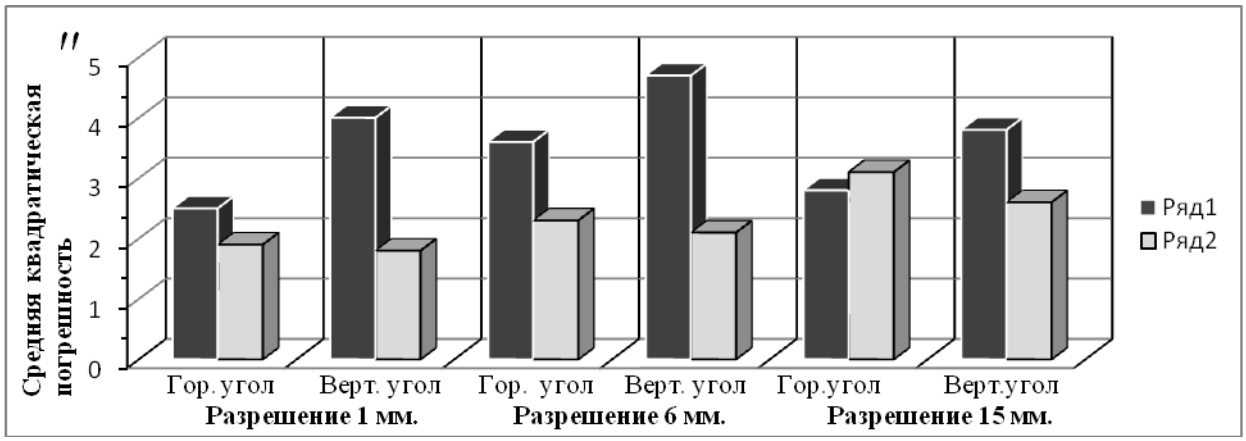


Рис. 4. Гистограмма угловой СКП для RIEGL VZ 400,
ряд 1 для расстояния 10 м, ряд 2 для 50 м

Из результатов второго этапа исследований видно, что погрешность измерений вертикальных и горизонтальных углов изменяется в зависимости от расстояния до объекта и шага разрешения сканирования.

Для последующих экспериментов, было определено три основных способа обработки данных НЛС, с целью получения итоговой измерительной величины, в последующем условно названной «виртуальной контрольной точкой (ВКТ)» рис. 5.

1. Автоматический способ – с использованием в качестве контрольной точки специальной светоотражающей марки, поставляемую в комплекте с НЛС и закрепляемой на поверхности контролируемого объекта.

2. Полуавтоматический способ – с использованием геометрических свойств контролируемого объекта и аппроксимированных в дальнейшем в данные НЛС геометрических примитивов.

3. Интерактивный способ – на основе вычисления среднего арифметического значения из выбранной области данных НЛС.

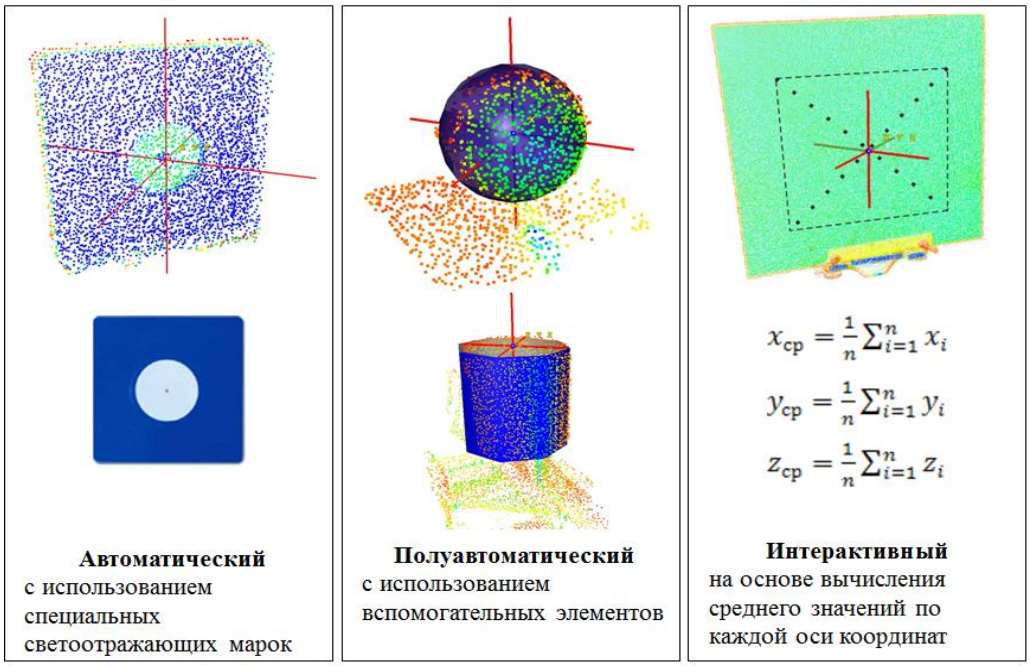


Рис. 5. Способы обработки данных НЛС с целью получения ВКТ

Определение погрешности измерений лазерного дальномера НЛС. Для определения погрешности измерений лазерного дальномера НЛС, использовалась эталонная компараторная установка с точностью рабочего эталона 2 разряда и пятью дистанциями ≈ 6 м, 12 м, 48 м, 72 м, 108 м.

Сущность эксперимента заключается в установке НЛС в строгом створе между пунктами компараторной установки и последующем измерений расстояний между сканером и пунктом измерения с применением «интерактивного» способа получения ВКТ, рис. 6.

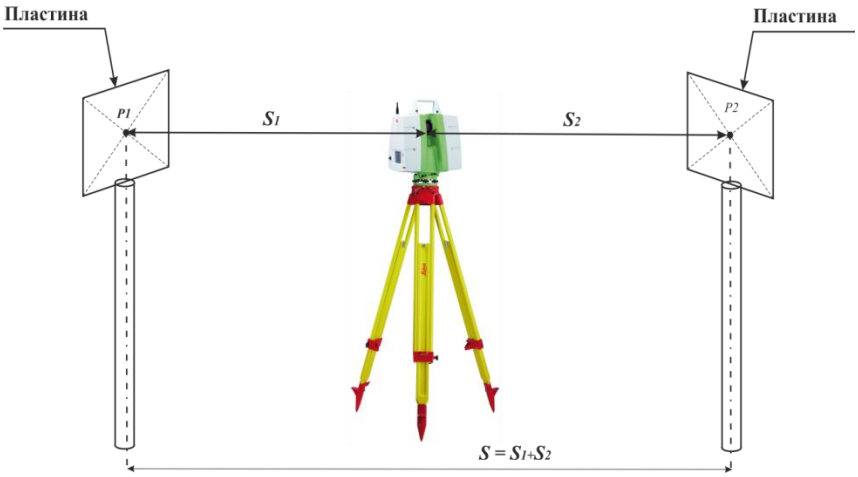


Рис. 6. Схема установки НЛС на станции компараторной установки

Результаты исследования точности измерений лазерного дальномера НЛС приведены на рис. 7.

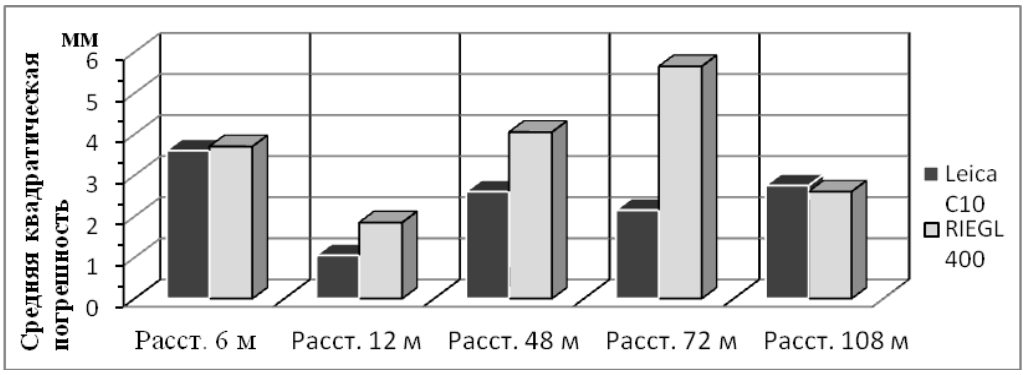


Рис. 7. Гистограмма СКП измерения расстояний для двух моделей НЛС

Во всех случаях исследований при разных дистанциях значение СКП измерения расстояний меньше заявленной производителем.

Определение погрешности повторяемости измерений на одну точку. Сущность данного эксперимента заключается в многократном измерении координат точки в пространстве с разрешением сканирования (1 × 1) мм на расстоянии 25 м, от установки НЛС, в течение 1 часа, с интервалом в 1– 2 минуты, и в последующем определении ВКТ при помощи «автоматического» способа обработки данных НЛС, рис. 8.

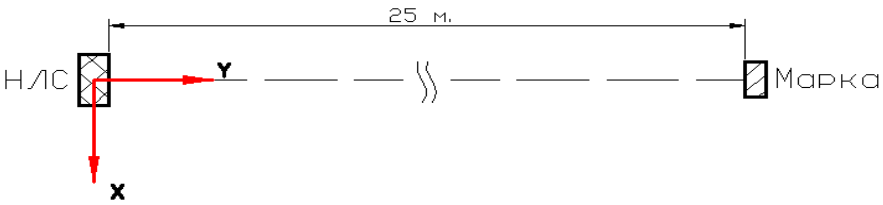


Рис. 8. Схема расположения и ориентировки НЛС

Результаты СКП (повторяемости) определения координат ВКТ по данным лазерного сканирования приведены на рис. 9.

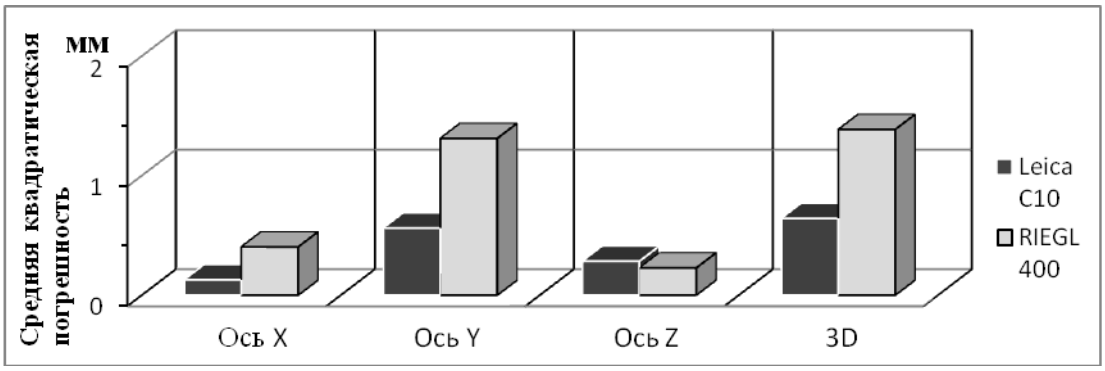
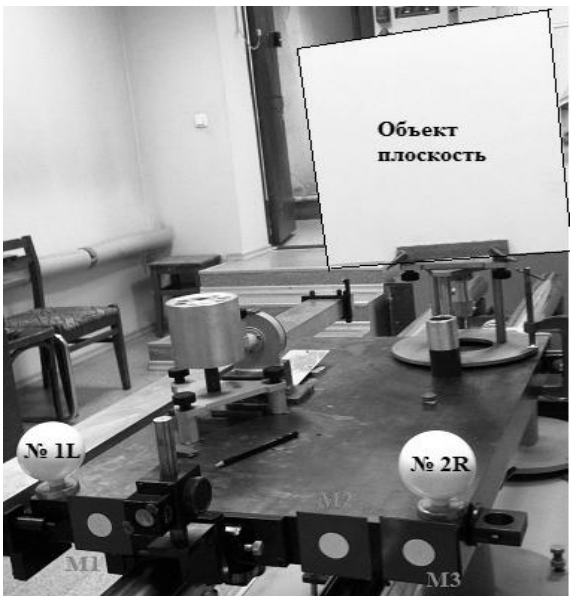


Рис. 9. Гистограмма СКП определения координат ВКТ

Результаты данного эксперимента также показали, что погрешность определения координат точки в пространстве меньше заявленной производителем и в большей степени зависит от точности измерения расстояния.

Определение погрешности измерения расстояния между двумя точками в пространстве. Для определения погрешности измерения расстояний между двумя точками в пространстве разрабатывался специальный тест-объект (рисунок 10), который был сформирован таким образом, что бы позволял реализовать три способа обработки данных НЛС, с целью получения координат ВКТ, представленных на рисунке 5. Далее тест-объект закреплялся на подвижной каретке компараторного устройства длиной 25 м, оснащенный эталонным лазерным интерферометром (RENISHAW ML10), обеспечивающие измерение расстояний между сдвигом каретки с погрешностью до 0,7 мкм. Данная эталонная компараторная установка располагается в Сибирской государственной геодезической академии, в специальном помещении, где поддерживается стабильный микроклимат рис. 11.



1. Объект плоскость;
2. №1L - Сфера (диаметр 140 мм.);
3. №2R - Сфера (диаметр 140 мм.);
4. M1 - Марка (специальная светоотражающая);
5. M2 - Марка (специальная светоотражающая);
6. M3 - Марка (специальная светоотражающая);
7. Итого: 3 типа объектов

Рис. 10. Общий вид и описание тест-объекта

Сущность данного эксперимента заключалась в сдвиге подвижной каретки с закрепленным на ней тест-объектом на 4 положения (рис. 11) и измерения расстояний сдвига при помощи эталонного лазерного интерферометра и НЛС.

Проведение эксперимента разделилось на два этапа. Первый этап – выполнение измерений на компараторной установке в лабораторных условиях, при 4 положениях каретки компаратора, трех разрешениях сканирования (1 × 1) мм, (4 × 4) мм, (8 × 8) мм, на расстоянии от ≈ 20 до 25 м, и 5 подходов, с применением трех способов обработки данных НЛС с целью определения координат ВКТ.

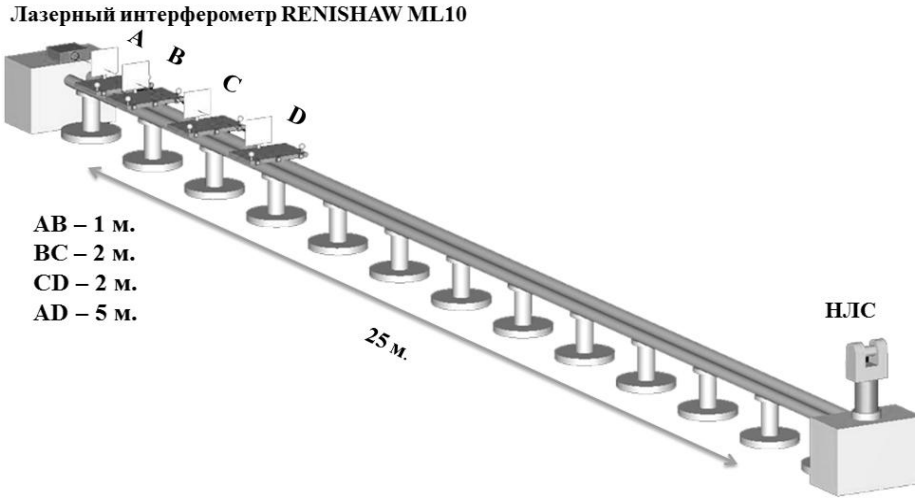


Рис. 11. Общий вид компараторной установки и расположение НЛС

Второй этап – определения погрешности измерения расстояний между двух ВКТ на основе повторяемости измерений. Выполнение измерений в нормальных полевых условиях, при 5 положениях тест-объекта и одном разрешении сканирования (4 × 4) мм, на расстоянии от ≈ 50 до 100 м, с применением «интерактивного» способа обработки данных НЛС, определения координат ВКТ.

Результаты СКП измерения расстояний между двумя точками ВКТ, первого этапа представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Средняя квадратическая погрешность определения расстояний между виртуальными контрольными точками для НЛС Leica C10

Тип	Имя	Положение каретки												Среднее, мм
		A–B			B–C			C–D			A–C			
		Количество подходов			Количество подходов			Количество подходов			Количество подходов			
		5			5			5			5			
		Разрешение, мм			Разрешение, мм			Разрешение, мм			Разрешение, мм			
		1	4	8	1	4	8	1	4	8	1	4	8	
		Средняя квадратическая погрешность, мм												
Марка	M1	0,294	0,517	–	0,466	0,829	–	0,334	0,512	–	0,408	0,242	–	0,43
	M2	0,247	0,618	–	0,460	0,741	–	0,319	0,543	–	0,116	0,387	–	
	M3	0,195	0,710	–	0,394	0,418	–	0,372	0,508	–	0,341	0,315	–	
Сфера	1L	0,719	0,565	0,816	0,385	0,850	0,760	0,517	0,866	1,130	0,336	1,137	0,770	0,74
	2R	0,297	0,862	0,680	0,948	0,729	1,130	0,477	1,061	1,288	0,463	0,540	0,459	
Плос-кость	PL	0,215	0,500	0,491	0,189	0,200	0,430	0,187	0,390	0,400	0,127	0,171	0,188	0,29

Таблица 1

Средняя квадратическая погрешность определения расстояний между виртуальными контрольными точками для НЛС RIEGL VZ400

Тип	Имя	Положение каретки												Среднее, мм
		A–B			B–C			C–D			A–C			
		Количество подходов			Количество подходов			Количество подходов			Количество подходов			
		5			5			5			5			
		Разрешение, мм			Разрешение, мм			Разрешение, мм			Разрешение, мм			
		1	4	8	1	4	8	1	4	8	1	4	8	
		Средняя квадратическая погрешность, мм												
Марка	M1	1,87	1,92	–	1,99	2,2	–	2,4	1,83	–	2,37	3,5	–	2,05
	M2	1,39	2,01	–	1,5	1,95	–	1,92	1,54	–	2,06	2,82	–	
	M3	1,7	1,98	–	1,85	2,09	–	1,75	2,6	–	2,5	1,55	–	
Сфера	1L	3,28	4,73	4,11	2,37	3,53	4,12	2,09	2,94	4,18	6,46	7,40	8,37	4.21
	2R	3,09	1,86	4,6	1,66	2,69	5,52	2,11	3,07	3,81	4,58	5,43	9,06	
Плоскость	PL	0,18	0,24	0,28	0,5	0,5	0,58	0,53	0,48	0,51	1,54	1,53	1,99	0,74

Результаты СКП измерения расстояний между двух точек ВКТ, второго этапа представлены на рис. 12.

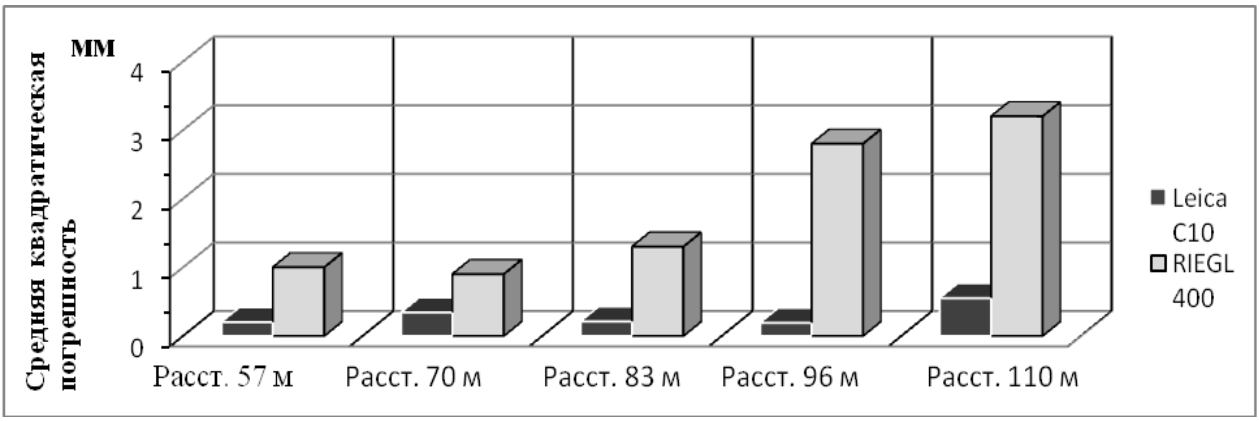


Рис. 12. СКП погрешность определения расстояний между ВКТ в полевых условиях

Общий анализ, полученных результатов исследования, показал, что фактическая погрешность измерений НЛС значительно меньше заявленной производителем. А сравнение полученных данных от двух моделей различных НЛС позволяет судить о качестве воспроизводимости достигнутого результата.

Отсюда можно утверждать, что технологию НЛС возможно применять для проведения высокоточных инженерных геодезических работ при строительстве и эксплуатации различных, в том числе уникальных инженерных объектов. Однако основным, на сегодняшний день сдерживающим данную технологию фактором можно назвать практически полное отсутствие утвержденной нормативно-технической документации регламентирующей и описывающей методики проведения полевых и камеральных работ с применением НЛС.

© В.А. Середович, А.В. Иванов, 2013

УДК 502

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО НАДВИЖКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА В Г. НОВОСИБИРСКЕ

Андрей Николаевич Яшнов
Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, к.т.н., доцент, зам. заведующего кафедрой «Мосты», тел. (383) 328-04-70, e-mail: yan@stu.ru

Владимир Адольфович Середович
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, оф. 106, к.т.н., профессор, проректор по инновационной деятельности, тел. (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Андрей Васильевич Иванов
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ведущий инженер, Региональный центр лазерного сканирования, тел. (383) 361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

В статье приведена методика и результаты проведения мониторинга вертикального перемещения торца затяжки пролетного строения при надвижки, наземным лазерным сканерам Leica Scanstation C10.

Ключевые слова: методика, точность измерений, наземный лазерный сканер (НЛС).

TECHNIQUES FOR DETERMINING BRIDGE SPAN SLIDING DISPLACEMENT BY TERRESTRIAL LASER SCANNING IN NOVOSIBIRSK

Andrey N. Yashnov
Ph.D., Assoc.Prof., deputy head of Bridges Department , Siberian State University of Railway Transport, 191 D. Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, phone: (383) 328-04-70, e-mail: yan@stu.ru

Vladimir A. Seredovich
Ph.D., Prof., Vice-rector for Innovation, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Andrey V. Ivanov
Lead engineer, Regional Centre for Laser Scanning, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, phone: (383) 361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

The authors present the techniques and results of the monitoring concerning vertical sliding displacement of bridge span butt brace using terrestrial laser scanner Leica Scanstation C10.

Key words: technique, measurement accuracy, terrestrial laser scanner.

В последние десятилетия были построены и введены в эксплуатацию новые внеклассные мосты во многих городах России: в Сургуте, Санкт-Петербурге, Мо-

скве, Ульяновске, Омске, Кемерово, Муроме, Иркутске, Новосибирске, Владивостоке и других. Причем наметилась тенденция строительства мостов все более сложных, современных конструктивных форм с реализацией уникальных технологий их сооружения, с применением новых строительных материалов. Например, введенный в эксплуатацию в 2012 году автодорожный вантовый мост на о.Русский в г.Владивостоке имеет рекордный для таких систем пролет - 1104 м, самые высокие пилоны - 312 м от уровня ростверка, самую длинную ванту – 580 м.

Сооружаемый в настоящее время городской мост через р.Обь по Оловозаводскому створу в г.Новосибирске также должен занять достойное место в ряду уникальных российских мостов. Русловое пролетное строение представляет собой комбинированную внешне безраспорную конструкцию в виде арки с затяжкой и системой гибких наклонных пересекающихся подвесок («сетчатая арка»). Длина пролета – 380 м, стрела подъема арки – 70 м. Две плоскости арок наклонены друг к другу под углом 12º. Визуализация будущего общего вида моста представлена на рис. 1.

Рис. 1. Общий вид моста

Возведение таких сложных конструкций требует организации научно-технического сопровождения строительства, включая мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкции, как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации. Аппаратные системы мониторинга следует разворачивать вместе с началом строительства, так как устанавливать системы мониторинга в процессе эксплуатации уже поздно – будет утрачена возможность отследить динамику изменения контролируемых параметров от их начального значения.

Этап строительства - это базовый этап формирования качественных характеристик сооружения. Погрешности, допущенные в этот период, могут стать причиной изменения параметров конструкции и развития неисправностей в процессе эксплуатации. Мониторинг должен уменьшить вероятность появления таких ошибок и, в результате, снизить риски возникновения аварийных ситуаций до приемлемых значений.

Проблемой при организации мониторинга является корректное выделение наиболее информативных параметров для контроля напряженно-деформированного состояния конструкций при обеспечении минимально необходимого числа контрольных точек. Технология сооружения главного пролетного строения по Оловозаводскому створу г. Новосибирска, предусматривает надвижку затяжки арки с левого берега на правый по временным опорам в русле реки (рис. 2). После этого выполняется устройство стапеля и надстройка временных опор на затяжке для надвижки конструкций арки с двух сторон с замыканием в середине пролета (рис. 3). В процессе строительства необходимо, не допустить превышения напряжений в элементах затяжки и арки сверх расчетных сопротивлений металла и обеспечить положение конструкций по окончанию надвижки в соответствии с проектом. Напряжения контролируются в наиболее нагруженных местах конструкции по местным деформациям материала с помощью тензометров и деформометров. Наибольший интерес представляет контроль общих деформаций и траектории движения затяжки и арки при надвижке. Общие деформации являются интегральным параметром, характеризующим напряженно-деформированное состояние конструкции в целом, а контроль траектории движения обеспечивает правильное положение конструкции. Для такой уникальной конструкции как главное пролетное строение моста через р.Обь уже недостаточно применения традиционных геодезических методов (линейно-угловых построений), необходимо внедрение современных технологий, например, лазерного сканирования.

Рис. 2. Начальная стадия надвижки затяжки арочного пролетного строения

Экспериментально-производственные работы по внедрению лазерного сканирования были проведены на одном из этапов надвижки затяжки комбинированного пролетного строения моста через р.Обь по Оловозаводскому створу.

Для производства работ по мониторингу пролетного строения моста в процессе его надвижке, был выбран наземный лазерный сканер (НЛС) Leica ScanStation C10, данный прибор отличается высокой точностью и скоростью измерений, а также высокой точностью компенсаторного устройства приводящего НЛС в горизонтальное положение.

Из проведённых ранее исследований по оценке точности измерений НЛС, было выявлено, что точность измерений по внутренней сходимости единичного скана, может быть выше заявленной производителем. Используя данное свойство, была разработана методика оценки деформации пролетного строения моста, сущность которой заключается в следующем:

На контролируемом элементе надвигаемой части моста визуально выявляются участки конструкции с наличием физического пересечения трех плоскостей (к примеру, ребра жесткости) рис. 3.

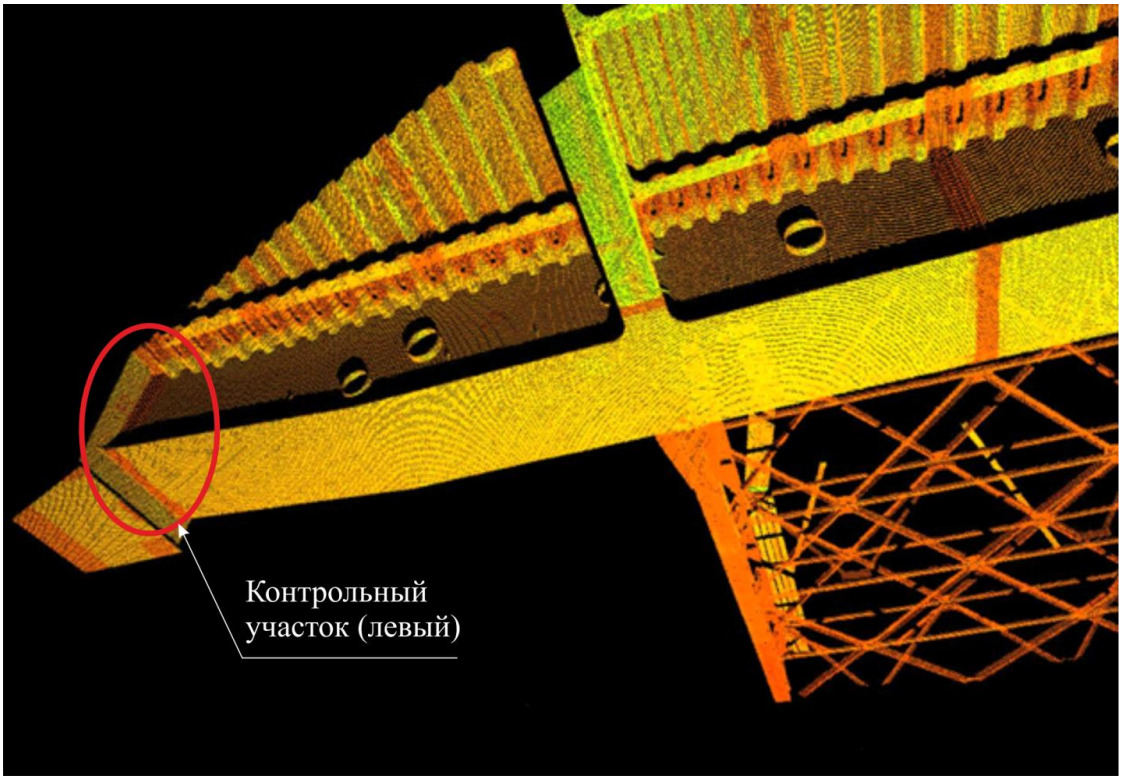


Рис. 3. Определение на конструкции контрольного участка сканирования

После чего выполняют установку НЛС таким образом, чтобы выбранные контрольные участки, попадали в область сканирования с одной станции, которая остается неизменной в течение всего цикла надвижки пролётного строения. Так же для контроля неизменности положения установки НЛС в течение всего

цикла надвижки, дополнительно выявляются и сканируются контрольные точки, которые должны располагаться на стабильных объектах заведомо не изменяющих своем место положения. Такими точками могут послужить любые характерные геометрические детали, к примеру, бетонных опор или рядом стоящих капитальных строений, рис. 4.

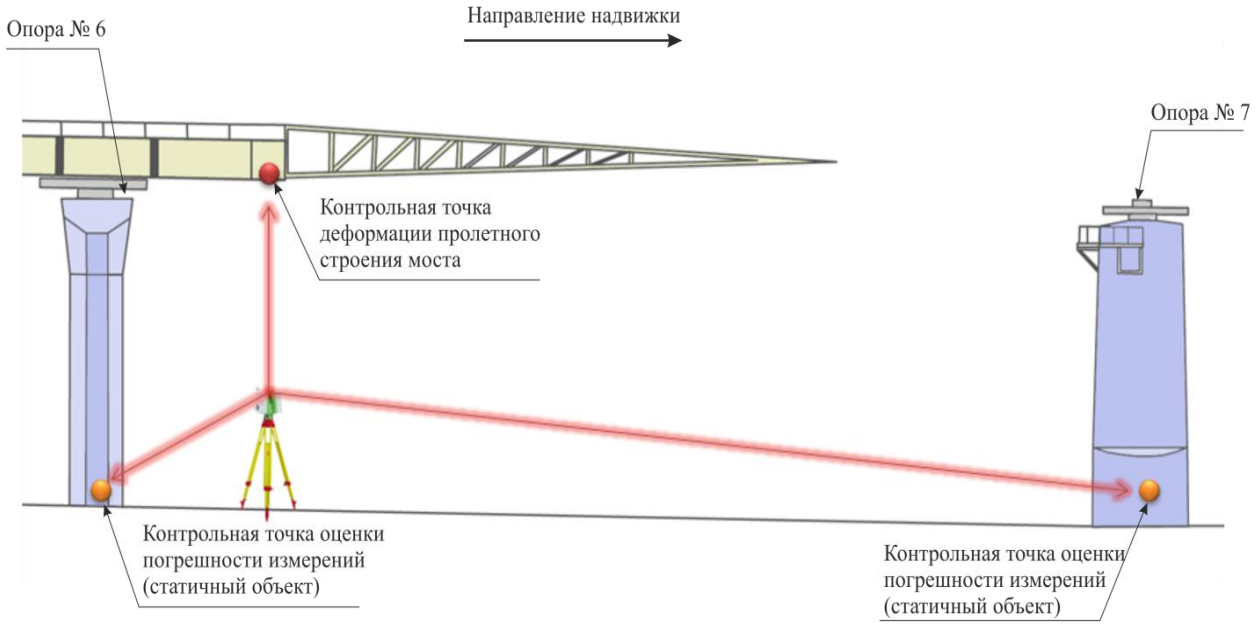


Рис. 4. Схема установки НЛС и расположения контрольных точек

Лазерное сканирование двух контрольных участков производилось с плотностью (1 × 1) мм после каждого шага надвижки пролетного строения, в момент технологических перерывов для подготовки гидравлического оборудования. Среднее время сканирования левого и правого контрольного участка составило 10 минут, после чего производилась обработка данных НЛС и получение контрольной величины.

Обработка результатов измерений НЛС производилась в ПО Cyclone, в следующие три основных этапа:

1. Производилось сегментирование участков данных НЛС, описывающих выбранные контрольные элементы, а именно три плоскости продольных и поперечных ребер жесткости конструкции пролетного строения моста;

2. для определения итоговой контрольной величины (трехмерные координаты XYZ контрольной точки) использовался способ координирования «виртуальной контрольной точки» (ВКТ) на основе пересечения трех аппроксимированных в данные НЛС геометрических примитивов «плоскость», при помощи автоматического инструмента «Region Grow» в ПО Cyclone, средняя квадратическая погрешность вписывания плоскости по всем контрольным участкам составила 1 мм (рис. 5);

3. вычисление разницы между координатами XYZ «ВКТ» от начала и текущим шагом надвижки пролетного строения.

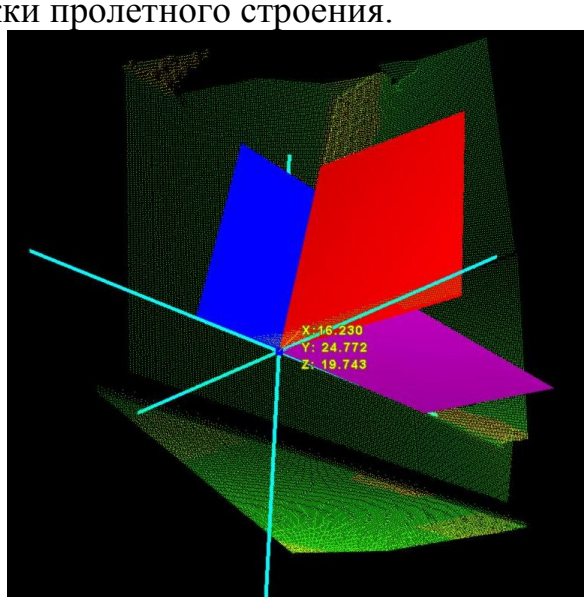


Рис. 5. Определение трехмерных координат «ВКТ» на основе пересечения трех плоскостей

Расчет точности полученных значений деформации на основе данных НЛС производился по формуле (1), средняя квадратическая погрешность определения координат «ВКТ» составила 3 мм. Также параллельно производились измерения при помощи электронного тахеометра.

$$m_{\text{общ}} = \sqrt{m_a^2 + m_b^2 + m_c^2}, \quad (1)$$

где $m_{\text{общ}}$ – общая средняя квадратическая погрешность определения координат «ВКТ»;

m_a^2 – средняя квадратическая погрешность повторяемости результата измерения «ВКТ» или «статичного объекта»;

m_b^2 – погрешность компенсаторного устройства, приводящего в горизонт положение НЛС;

m_c^2 – погрешность влияния атмосферных условий.

Полученные результаты проиллюстрированы для примера на рисунке 6. Анализ результатов свидетельствует, что методы лазерного сканирования обеспечивают высокую точность и производительность геодезических работ. При сооружении арки организация лазерного сканирования для определения траектории движения торцов полусводов арки в процессе надвижки должна обеспечить их штатную стыковку в середине пролета.

В целом, осуществление мониторинга общих деформаций и положения конструкций при строительстве и в дальнейшем при эксплуатации обеспечит объективную оценку фактического напряженно-деформированное состояния

конструкций и своевременное принятие мер при отклонениях от нормируемых значений.

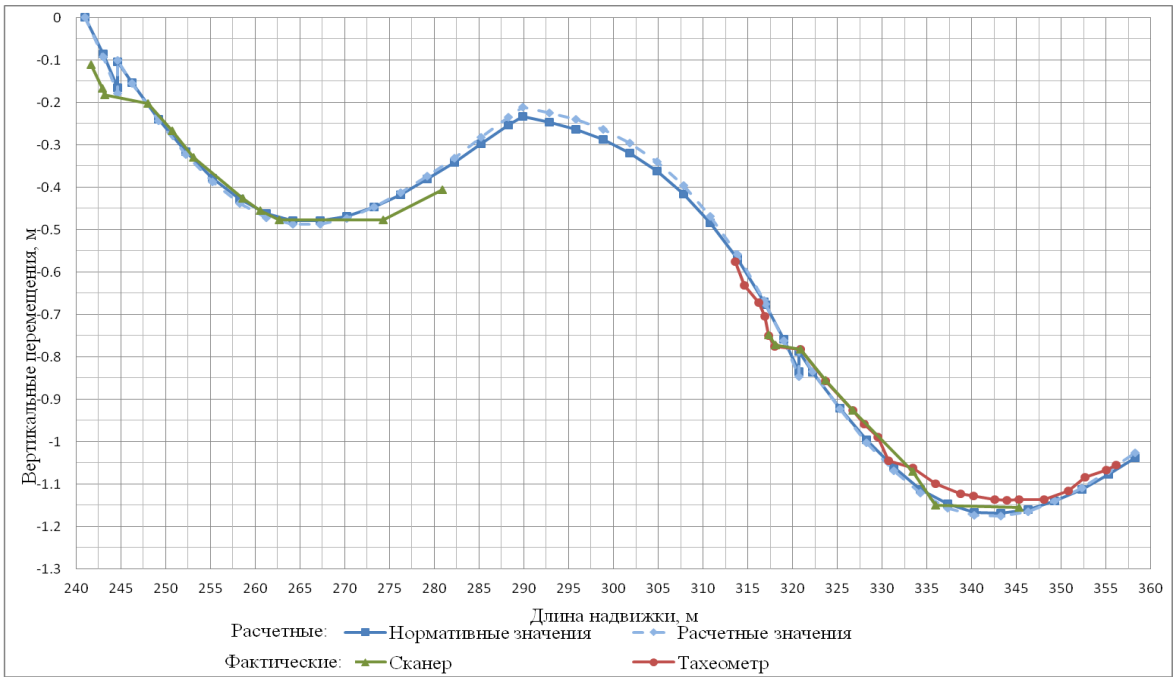


Рис. 6. График вертикального перемещения торца затяжки пролетного строения при надвижки

Приобретенный опыт применения наземного лазерного сканирования при монтаже металлических конструкций позволяет расширить возможности геодезического контроля, повысить надежность и точность контроля качества работ в режиме реального времени.

© А.Н. Яшнов, В.А. Середович, А.В. Иванов, 2013

УДК 528.74

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Сергей Николаевич Бабаев
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, аспирант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. 8-924-601-11-25, e-mail: sn_babaev@mail.ru

Настоящая статья ознакомит с возможностью применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга открытых горных работ. Одной из задач работ являлось изучение возможности и оценка точности построения крупномасштабной цифровой объёмной модели поверхности карьера.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, цифровая модель рельефа.

MONITORING TECHNOLOGY SURFACE MINING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

Sergey N. Babaev
National Research Irkutsk State Technical University, 664074, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov, Irkutsk, postgraduate, department of Mine surveying and Geodesy, tel. 8-924-601-11-25, e-mail: sn_babaev@mail.ru

This article will acquaint you with the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) to monitor the open pit mining. One of the objectives is to study the possibilities and build a large-scale evaluation of the accuracy of digital three-dimensional model surface pit.

Key words: unmanned aerial vehicle, a digital elevation model.

Настоящая статья знакомит с опытом развития технологий ДЗЗ на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга открытых горных работ.

Развивая направление мониторинга компанией ООО «Байгео» была разработана технология, предназначенная для разового или периодического мониторинга объектов горной промышленности (карьеры, отвалы, строительные площадки). Картирование карьеров и отвальных комплексов на горных предприятиях выполняется с помощью БПЛА-комплекса Geoscan 101, представленного на рис.1.

Данная технология включает:

- аэрофотосъемку объекта с помощью БЛА;
- автоматическую обработку материалов аэрофотосъемки с помощью ПО Agisoft PhotoScan с получением высокоточной 3D-модели объекта, ортофотоплана и матрицы высот;
- автоматический анализ данных.

Рис. 1. БПЛА комплекс «Геоскан101»

Комплекс GeoScan 101 предназначен для работ на относительно небольших объектах. Он выполняет аэрофотосъемку с высоты от 100 до 1000 м на скорости 60 км/час в течение 40-60 минут. За один полет GeoScan 101 может обследовать объект площадью 2-3 квадратных километра или линейный объект протяженностью 15-20 км. За световой день можно выполнить 4-6 полетов.

Касаясь конструктивных особенностей, планер беспилотника выполнен: крылья изготовлены из легкого и прочного материала Elapor, за счет эластичности материала они не повреждаются при посадке на неподготовленные площадки. Фюзеляж GeoScan 101 изготовлен из кевлара. Старт беспилотника осуществляется с катапульты, посадка - на парашюте.

БПЛА оборудуется фотоаппаратом Sony Nex 5 разрешением 16 МПикс и Глонасс/GPS приемником для определения координат центров фотографирования.

Программное обеспечение Agisoft PhotoScan позволяет по материалам съемки (фотоснимки, координаты центров фотографирования и опорных точек) получать высокоточные геопривязанные 3D-модели объектов, истинные ортофотопланы (рис.2) и матрицы высот (рис.3). Обработка выполняется в автоматическом режиме.

Точность ортофотоплана и матрицы высот составляет 2 пикселя исходных кадров (10-20 см).

В процессе проведения работ по построению ортофотоплана создаются наземные опознаки (рис.4), координаты центров которых определяются инструментально перед проведением АФС работ.

Полученная трехмерная модель позволяет оперативно вести подсчет объемов отвалов горных пород. Кроме этого, модель может является вспомогательным материалом при планировании горных работ и формировании отвального комплекса.

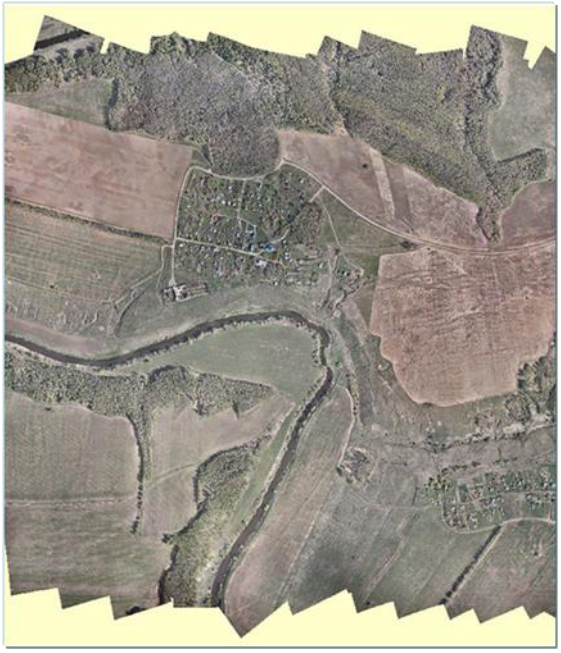


Рис. 2. Ортофотоплан участка работ

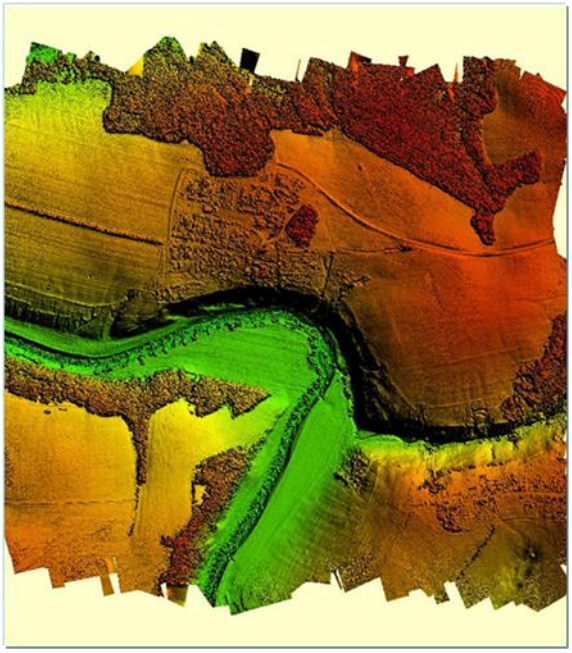


Рис. 3. Матрица высот

Рис. 4. Опознак

Таким образом, за счет высокой детальности снимков и оперативности работ, полученные с применением БПЛА комплекса данные, позволяют уже сегодня предложить для горных и геологических предприятий технологию оперативного решения целого ряда задач:

- осуществление мониторинга опасных участков открытых горных работ;
- определение объемов и планирование расположения отвалов пустых пород;
- построение трехмерных моделей карьеров для создания основы при проектировании горных работ на последующий период;
- контроль соответствия объектов проектным решениям;

- тепловизионная съёмка самовозгорания отвалов;
- контроль соблюдения техники безопасности на горном предприятии, хвостохранилищах, промышленных площадках и вахтовых поселках при отработке месторождения.

Это особенно актуально для крупных предприятий с высокой скоростью движения фронта работ. В частности, существует потребность контроля оползней в отвалах пустых пород. Визуально не всегда возможно определить наличие движения больших масс породы, а иногда и физически невозможно из-за значительного объема отвалов и большой удаленности от наземных точек наблюдения. Комплекс БПЛА позволяет решать данную задачу, производя наблюдения за интересующими участками с требуемой периодичностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.Е. ТороAxis – Склейка карт в автоматическом режиме — ProSystems CCTV, 2008.

2. GEOSCAN - аэрофотосъемочные комплексы GeoScan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geoscan.aero/

© С.Н. Бабаев, 2013

УДК 528.432

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РЕПЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Иван Сергеевич Калинченко
Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 644008, Россия, г. Омск, ул. Институтская площадь, 2, аспирант кафедры геодезии и дистанционного зондирования, тел. (983)624-68-02, e-mail: train_spotting@mail.ru

В статье рассмотрен анализ устойчивости реперов различными способами. Выявлено, что в южной зоне распространения многолетнемерзлых грунтов устойчивость реперов трудно обеспечить. Рассмотрена возможность применения законсервированных разведочных скважин в качестве фундаментальных реперов.

Ключевые слова: устойчивость реперов, южная зона распространения многолетнемерзлых грунтов, законсервированные разведочные скважины.

STABILITY ANALYSIS FRAME, USED TO MONITOR THE DEFORMATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN THE SOUTHERN ZONE OF PERMAFROST

Ivan S. Kalinchenko
Postgraduate Surveying and Remote Sensing Omsk State Agrarian University named after Pyotr Stolypin, 644008, Russia, Omsk, Institute's Square, 2, tel. (983)624-68-02, e-mail: train_spotting@mail.ru

In the article the analysis of the stability of frames in different ways. Found that, in the southern zone of permafrost stability of frames is difficult to provide. The possibility of using suspended exploratory wells to be fundamental reference points.

Key words: stability of frames, southern permafrost zone, preserved exploration wells.

Многие промысловые сооружения и объекты инфраструктуры нефтегазового комплекса построены в России в сложных геокриологических условиях. На исследуемом нефтегазодобывающем месторождении, расположенном в южной зоне многолетнемерзлых грунтов, геодезической высотной опорой для одной из установки комплексной подготовки газа (далее объект), служат восемь глубинных реперов. В соответствии с [1] глубинные геодезические реперы должны сохранять стабильность высотного положения в течение всего времени эксплуатации контролируемого объекта и гарантировать определение осадки сооружении с необходимой точностью. Опыт наблюдений [2,3] показывает, что вследствие различных причин, которые трудно учесть, устойчивость реперов нарушается. Для обеспечения необходимой и достаточной точности результатов наблюдений за осадками сооружений, исследуемого объекта, проводят контроль за устойчивостью реперов высотной основы. С этой целью между глубинными реперами прокладывают ходы по программе нивелирования

II второго класса, а затем вычисляют их отметки. При этом возникает проблема обоснованного выбора начальной плоскости отсчета, относительно которой следует вычислять отметки самих реперов и их вертикальные смещения, а также самой оценки стабильности реперов.

Нами была проанализирована устойчивость реперов исследуемого объекта, способами, описанными в геодезической литературе [4]. В первой группе рассмотрены способы, в основе которых лежит принцип неизменной отметки одного из наиболее устойчивых реперов сети.

Способ сравнения превышений, предложенный А.Д. Соловьевым был, отвергнут, так как он предназначен не более чем для трех реперов, в нашем случае трудно проследить за изменением положения каждого репера и надежно выявить реперы изменившие высоту, анализировать устойчивость реперов этим способом затруднительно.

Способ А. Костехеля. Давая общую оценку способу, следует заострить внимание на том, что со временем, количественная характеристика изменения стабильности реперов увеличивается (табл. 2). И при определении границ устойчивости или неустойчивости реперов репер определенный как наиболее устойчивый в текущем цикле наблюдений (табл. 1) может оказаться за вычисленной границей устойчивости и его полагается исключить из данного цикла наблюдения.

Таблица 1

Расчет наиболее устойчивого репера по способу Костехеля

исходный репер	звенья сети							[vv]	
	циклы I-II с 8 исходными реперами								
Грп №1	**1-2**	**1-3**	**1-4**	**1-5**	**1-6**	**1-7**	**1-8**	697,8	
v	-3,0	-5,0	-6,1	-8,6	-10,2	-13,9	-16,0		
vv	9,0	25,0	36,6	74,0	104,0	193,2	256,0		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Грп №3	**3-4**	**3-5**	**3-6**	**3-7**	**3-8**	**3-1**	**3-2**	**13,5**	min
v	1,0	0,4	0,8	-0,9	-1,0	1,0	3,0		
vv	0,9	0,2	0,6	0,8	1,0	1,0	9,0		
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Грп №8	**8-1**	**8-2**	**8-3**	**8-4**	**8-5**	**8-6**	**8-7**	18,5	
v	2,1	1,2	1,3	2,4	1,9	0,3	-1,3		
vv	4,4	1,4	1,7	5,5	3,6	0,1	1,7		

Таблица 2

Сравнительная таблица отметок реперов
в текущих циклах нивелирования по отношению к первому (в мм)

№ репера	II-I	III-I	IV-I	V-I	VI-I	VII-I	VIII-I	IX-I	X-I	XI-I
Грп 1	-4,2	-3,8	-4,4	-2,65	-1,05	0,95	0,5	-0,55	-4,95	-7,65
Грп 2	-1,2	1,9	1,5	2,85	15,3	21,45	34,4	57,75	79,55	103,35
Грп 3	0	0,3	1,7	1,25	0	4,95	8,65	10,85	11,45	12,05
Грп 4	-1,6	-2,8	-1,35	-1,85	0,1	-0,75	1,85	0,65	-2,05	-3,55
Грп 5	-1,7	-3,2	-3,2	-4,85	0	-4,85	-2,65	-4,45	-9,4	-12,15
Грп 6	-2,6	-2,6	-2,2	-2,55	1,8	0,85	4,4	6,45	14,3	59,85
Грп 7	-1,15	-0,7	-2,05	0,95	0	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Грп 8	-2,65	-3,5	-4,75	-4,75	1,2	-0,45	-1,55	-2,25	-2,6	-5,55

Способ Г.К. Ботяна. При вычислениях автор полагает, что величины осадок реперов заведомо отрицательные и делает вывод, что наиболее устойчивый будет тот репер, для которого ω_i - сумма квадратов разности превышений, имеет наибольшее отрицательное значение. В южной зоне распространения многолетнемерзлых грунтов реперы испытывают не только осадку, но и подъем, то есть величины осадок не только отрицательные, но и положительные, поэтому следует модифицировать этот способ - брать по модулю наиболее близкое к нулю значение ω_i и принимать за исходный соответствующий этому значению репер. Тогда наиболее устойчивые реперы, определенные по методу Г.К. Ботяна, совпадут с реперами, вычисленными по методу А. Костехеля.

Способ Л.И. Серебряковой. Автор полагает, что неопределенность при выборе наиболее устойчивого репера в группе реперов может быть раскрыта, - «если считать, что реперы испытывают только осадку, а величины превышений меняются вследствие неравномерности осадки». Возникают сомнения, в отношении объективности результатов анализа, выполненного по этому способу, так как определить общую тенденцию изменения положения реперов затруднительно: реперы подвержены не только осадкам, но и выпучиванию.

Способ И.В. Рунова. Наиболее устойчивые реперы, определенные этим методом совпадают с устойчивыми реперами, определенными методом Г.К. Ботяна и методом А. Костехеля.

Так же были рассмотрены способы анализа устойчивости реперов, основанные на методах математической статистики. Эти способы не дают возможность выполнять анализ в каждом очередном цикле наблюдений и служат для научных исследований.

По первой группе способов можно сделать вывод, что при выборе за исходную высоту, высоту наиболее устойчивого репера, мы идем на определенный риск, поскольку, вполне возможно, что применяемый нами метод определения устойчивого репера не учтет, не обнаружит локальное движение реперов. Величина возможного локального смещения исходного репера исказит величину и направление вертикальных смещений всех других реперов сети, а так же исследуемых сооружений.

Во второй группе рассмотрены способы, в основе которых лежит принцип неизменной средней отметки всех реперов сети или группы наиболее устойчивых реперов: способ П. Марчака, модификация способа П. Марчака, способ В.Ф. Чернякова, способ Б. Готца, способ узлов профессора В.В. Попова.

По второй группе способов можно сделать вывод, что, несмотря на различный математический аппарат, получаются одни и те же значения поправок в отметки реперов по циклам, для примера приведем результаты вычисления поправок в отметки реперов способом профессора В.В. Попова (*Табл.3)*.

Выполненный анализ показал, что, несмотря на все положительные моменты способов, в южной зоне области многолетнемерзлых грунтов ни один из способов не дает однозначного результата определения исходных отметок реперов, и ни одна из конструкций реперов не обеспечивает их устойчивость. Репера, изменившие свое положение за период времени на такие величины

(табл. 2, 3), не могут обеспечивать необходимую точность производимых наблюдений. Таким образом, для получения достоверных результатов, необходимо переоборудовать исследуемый объект новыми глубинными реперами. В качестве фундаментальных реперов необходимо использовать специально подготовленные законсервированные разведочные скважины.

Таблица 3

Результаты вычисления поправок
в отметки реперов способом профессора В.В. Попова

Δ(Hi)	Поправки к отметкам реперов по циклам, мм.											
	1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл	5 цикл	6 цикл	7 цикл	8 цикл	9 цикл	10 цикл	11 цикл	Δ(Hi)
Δ(H1)	0,0	-2,4	-2,0	-2,6	-1,2	-2,1	-2,3	-5,7	-9,6	-15,9	-26,4	-6,4
Δ(H2)	0,0	0,6	3,7	3,3	4,3	17,1	18,2	28,2	48,7	68,6	84,6	25,2
Δ(Hi)	0,0	1,8	2,1	3,5	2,7	0,2	1,7	2,5	1,8	0,5	-6,7	0,9
Δ(Hi)	0,0	0,2	-1,0	0,5	-0,4	-2,8	-4,0	-4,3	-8,4	-13,0	-22,3	-5,1
Δ(Hi)	0,0	0,1	-1,4	-1,4	-3,4	-5,9	-8,1	-8,8	-13,5	-20,4	-30,9	-8,5
Δ(Hi)	0,0	-0,8	-0,8	-0,4	-1,1	-1,8	-2,4	-1,8	-2,6	3,3	41,1	3,0
Δ(Hi)	0,0	0,6	1,1	-0,2	2,4	-0,1	0,7	-2,2	-5,1	-8,3	-14,8	-2,4
Δ(Hi)	0,0	-0,9	-1,7	-2,9	-3,3	-4,6	-3,7	-7,7	-11,3	-14,9	-24,3	-6,9

На территории объекта исследований, на небольшом удалении от исследуемого объекта и кустов газовых скважин от 1,5 до 2 км, расположено большое количество разведочных скважин. Средняя глубина забоя ствола таких скважин составляет 1200 метров. Многие из разведочных скважин выполнили свои функции, законсервированы и не используются. Что бы использовать скважины в качестве фундаментальных реперов, необходимо произвести строительно-монтажные работы по защите от сезонных геокриологических процессов и оборудовать их марками. Элементы конструкции скважин, дооборудованных марками, приведены на рис. 1.

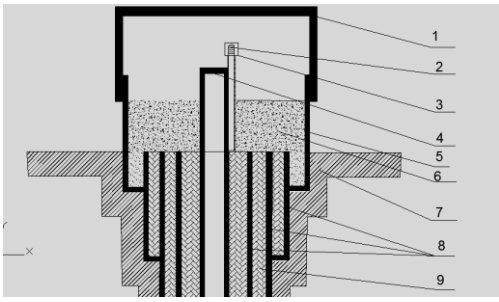


Рис. 1. Конструкция фундаментального репера

1 - Защитная от метеорологических факторовкрышка; 2 - реперная головка (марка) с резьбой, для крепления спутниковой антенны; 3 – резиновая крышка, для защиты резбы; 4 - оголенное устье скважины; 5 - Обсадная труба, состоящая из стальной трубы, монтируемая для защиты от сезонных геокриологических процессов; 6 - песок, засыпанный при монтаже репера; 7 -грунт; 8 - обсадные трубы, смонтированные при строительстве скважины (количество зависит от проектных и технологических решений, возникающих в процессе бурения, для каждой скважины в отдельности); 9 - цементный камень

Для определения устойчивости фундаментальных реперов данной конструкции, в период с 2009 по 2012 года проведены экспериментальные исследования. В качестве исходного репера принимался репер №1 и от него по программе нивелирования II класса с применением цифровых нивелиров TrimbleDiNi 12 прокладывались хода.

Невязки, полученные в ходах, в 2,5 – 3, раза меньше допустимых, что говорит о высоком качестве нивелирования.

По данным исследований составлена сравнительная табл. 4, в которую выписаны отметки реперов, определенные для четырех циклов наблюдений, по способу Костехеля.

Таблица 4

Сравнительная таблица отметок фундаментальных реперов, вычисленные способом Костехеля

№ репера	Отметки реперов, (м)			
	1цикл	2цикл	3цикл	4цикл
	Июль 2009	Июль 2010	Июль 2011	Июль 2012
1	55,6817	55,6817	55,6817	55,6817
2	53,9361	53,9359	53,9364	53,9363
3	54,5619	54,5622	54,5616	54,5617

Таким образом, за четыре года фундаментальные репера данной конструкции не утратили устойчивость. Подтверждается стабильность высотного положения. Незначительные отклонения в превышениях между реперами и соответственно их отметками обуславливаются погрешностью нивелирования. Для получения однозначного результата в южной зоне распространения многолетнемерзлых грунтов необходимо использовать репера данной конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО «Газпром» 020-2006. Регламент организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – 36 с.

2. Калинченко И.С, Ошибки при проектировании глубинных реперов, расположенных в южной зоне области многолетнемерзлых грунтов / Роль и значение землеустроительной науки и образования в развитии Сибири: Материалы междунар. нуч.-практич.конф.-Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2012. – С.141-144.

3. Калинченко И.С., Уваров А.И. Проблемы с устойчивостью глубинных реперов на объектах геотехнического мониторинга, расположенных на вечной мерзлоте / Земельно-имущественный комплекс: управление, оценка, организация и использование: материалы международной научно-производственной конференции.- Омск, Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009.-С. 83-86.

4. Стороженко А.Ф. Геодезические методы измерений вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов /А.Ф. Стороженко, В.Н. Ганьшин, Н.А. Буденков. М. : Недра, 1981.

© И.С. Калинченко, 2013

УДК 622

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ, ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Дмитрий Геннадьевич Ребров
Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова д.83, инженер НИЧ, тел. (914)933-03-18, e-mail: Dimar_84@mail.ru

Семен Олегович Гриднев
Национально Исследовательский Иркутский Государственный Технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова д.83, преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)899-21-29, e-mail: Gridnev@baigeo.ru

В статье рассмотрена возможность применения систем ретрансляции GNSS сигнала путем внедрения в производственный процесс дополнительного оборудования.

Ключевые слова: подземное позиционирование, ретрансляция GNSS сигнала.

THE APPLICATION OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS IN DEEP PITS, UNDERGROUND OF UNDERGROUND WORKINGS

Dmitry G. Rebrov
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, an engineer Department of Research, tel. (914)933-03-18, e-mail: Dimar_84@mail.ru

Simon O. Gridnev
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, lecturer, Department of Mine surveying and Geodesy, tel. (914)899-21-29, e-mail: Gridnev@baigeo.ru

The possibilities of GNSS signal relay systems through the introduction into the production process of additional equipment.

Key words: underground positioning, GNSS signal relay.

На сегодняшний день все более актуальным становится вопрос применения GNSS технологий в различных производственных процессах. С развитием промышленности, в различных отраслях производства возрастает потребность контроля производственного процесса в реальном времени, что в свою очередь дает возможность принятия своевременных решений направленных на улучшение результатов работы.

Но как показывает практика, в некоторых отраслях этот вопрос актуален из-за высокой потребности в качественных натурных GNSS измерениях, съемках и наблюдениях высокой точности, особо остро этот вопрос стоит в тех отраслях, где GNSS наблюдения считались неприменимыми, например: открытые горные работы повышенной глубины а так же подземные горные работы.

В условиях глубоких карьеров прием спутникового сигнала зачастую оказывается затруднен, что может замедлить или остановить работу систем дистанционного управления горно-добычным оборудованием. По мере подвигания забоев карьера, т.е. его углубления проблемы спутникового позиционирования возрастают – область покрытия сигналами на дне уменьшается. Ранее способов борьбы с этим не существовало, поэтому приходилось возвращаться к ручному управлению техникой, либо выполнять маркшейдерские съемки классическими способами.

Еще недавно казалось невозможным внедрение в технологический процесс системы GNSS наблюдений в подземных горных выработках, все дело в том, что такой системы попросту не существовало по причине отсутствия GNSS сигнала.

Но мировое научное сообщество не оставляло попыток разработать такую систему, которая будет соответствовать требованиям предъявляемым к GNSS оборудованию, использование которого зарекомендовало себя как одна из самых надежных и точных систем позиционирования. Но долгое время это не приносило никаких результатов. В 2004 г. специалисты Швейцарского университета Спелеологии и Карстологии (ISSKA) начали работы по разработке системы подземного позиционирования UnderGroundPositioningSystem (UGPS), в результате чего уже в 2010 г. были проведены первые испытания данной системы и методики выполнения работ в целом.

Система состоит из двух независимых частей:

На поверхности 4 приемника, блок управления, компьютер со специализированным ПО.

Под землей переносной передатчик-эмиттер, который посредством радиосвязи соеденяется с приемниками на поверхности (см. рис. 1).

Рис. 1. Общий вид системы UGPS

Принцип работы UGPS заключается в следующем.

На поверхности, над предполагаемым районом наблюдений либо измерений, в фиксированных точках устанавливаются 4 приемника, при помощи радиосвязи обеспечивается взаимодействие между приемниками и компьютером, который, используя специальное программное обеспечение, анализирует и визуализирует сигнал из-под земли на экране.

Эмиттер излучает сигнал, улавливаемый приемниками, а компьютер определяет его точное расположение в пространстве. Это позволяет не переставляя приемники, следить за движущимся под землей объектом в реальном времени на площади 300х300 м.

Глубина измерения данной системой – до 200 м. Точность измерения до 10см на каждые100м глубины. В одном цикле измерений можно определить до 2500точек. В настоящее время эмиттер достаточно громоздок – имеет размеры 25х45 см и вес 8кг, что в свою очередь очень неудобно в стесненных подземных условиях. Однако ведутся работы по созданию более компактного излучателя в пыле-влагозащищенном исполнении [2].

На данный момент система более ориентирована на обнаружение и регистрацию точек в выявленных пустотах под землей, а не на качественные измерения, т.к. ее точность не соответствует инструкции по производству маркшейдерских работ. Поэтому спектр применения данной системы UGPS довольно узок и не позволяет решать большинство инженерных задач, но данная система позволит получать наглядную информацию о расположении горных выработок относительно друг друга, и уже сейчас эта система может использоваться для диспетчеризации добычного оборудования в выработке. Так же данная система могла бы быть полезной при поиске людей в завалах, путем выдачи переносного передатчика каждому рабочему в забое.

Рис. 2. Общий вид системы Jps

Более точные результаты при ретрансляции GNSS сигнала дает система JPS, разработанная в Leica Geosystems

Система Leica Jps (Jigsaw Positioning System от Locata Corp.) – это GNSS система, объединенная с наземными сетями ретрансляторов Locata. Непрерывное позиционирование на базе Locata имеет существенные плюсы для автоматизации рабочих процессов, поскольку в тех местах карьеров, где GNSS сигнал недоступен, покрытие осуществляет система ретрансляторов Locata. Leica Jps использует все доступные сигналы GNSS (см. рис. 2).

Устройство Locata Lite — это наземный передатчик. Несколько передатчиков Locata Lite, установленных по окружности карьера, гарантируют практически 100% покрытие. Сигналы Locata дополняют сигнал в местах, недоступных для GNSS, поскольку сигнал Jps обрабатывается точно так же, как GNSS сигналы. Таким образом, на объекте появляется непрерывно работающая система позиционирования, которая продолжает работать даже тогда, когда

спутниковые сигналы недоступны вследствие внешних условий. Jps Locata Lite можно установить как стационарно, так и временно: сеть Jps Locata абсолютно мобильна, и монтируется в короткий срок [1].

Как заявляет производитель, точность данной системы ретрансляции GNSS сигналов не превышает средней аппаратной погрешности большинства используемых систем, следовательно данную систему можно применить и в подземных горных выработках, например: установить данную систему в стволах шахт для наблюдения за процессами подъема и регистрации отклонений от проводников, либо устанавливать данную систему в околоствольных дворах с перенаправлением сигнала в горизонтальные горные выработки, что позволит наблюдать за процессом откатки.

В заключении можно сказать, что сегодняшнее развитие технологий уже сейчас позволяет создавать подземные системы позиционирования, но потребуется их существенная доработка. Применение подобных систем позволит в будущем значительно упростить ведение маркшейдерских и горных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НАВГЕОКОМ Геодезические приборы.- [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.navgeocom.ru/events/5240/

2. INFRASURVEY / THE UGPS - [Electronic resource]- Англ. - Режим доступа: http://www.infrasurvey.ch

3. Генике А.А., Побединский Г.Г. - Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии - М., Картгеоцентр – 2004. С. 230-275.

© Д.Г. Ребров, С.О. Гриднев, 2013

УДК 622.83

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА РАЗРЕЗА В ЗОНЕ БЕСТРАНСПОРТНОЙ ОТРАБОТКИ ВСКРЫШИ

Светлана Борисовна Ожигина
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, 100027, г. Караганда, Б. Мира, 56, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», к.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Ожигин
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, 100027, г. Караганда, Б.Мира, 56, магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», тел. (7212)56-26-27, e-mail: Ozhigin.dima@mail.ru

Айзада Зарлыковна Капасова
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, 100027, г. Караганда, Б.Мира, 56, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», к.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: Kapasova_77@mail.ru

Анастасия Витальевна Гапий
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, 100027, г. Караганда, Б.Мира, 56, студентка кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», тел. (7212)56-26-27, e-mail: xrest@list.ru

В статье рассмотрен мониторинг состояния устойчивости рабочего борта Шубаркольского разреза. Представлено исследование влияния буровзрывных работ на целостность прибортового массива. Обоснованы параметры борта разреза в зоне бестранспортной отработки вскрыши.

Ключевые слова: мониторинг состояния устойчивости борта разреза, инструментальные наблюдения, параметры откосов, бестранспортная отработка вскрыши.

THE MONITORING OF STABILITY BOARDS QUARRY IN THE AREA DRAGLINE MINING METHOD

Svetlana B. Ozhigina
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, associate professor of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Dmitriy S. Ozhigin
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, master of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: Ozhigin.dima@mail.ru

Aizada Z. Kapasova
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, associate professor of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: Kapasova_77@mail.ru

Anastasiya V. Gapiy
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, student of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: xrest@list.ru

The paper presents monitoring of the stability of "Shubarkol" coal strip mine. The research of the effect drilling-and-blasting technique of rock massif. The parameters of the board coal strip mine in the area dragline mining method identified.

Key words: monitoring of stability boards quarry, execution of tool supervision, slope parameters, dragline mining method.

В условиях рыночных отношений устойчивый рост прибыли предприятия достигается благодаря интенсификации производства на основе экономически обоснованного использования достижений научно-технического прогресса и передового опыта. С увеличением мощности и глубины угольных разрезов повышение эффективности и полноты отработки запасов месторождений, улучшение технико-экономических показателей работы предприятий за счет внедрения наиболее экономичной, бестранспортной системы разработки с использованием мощного горного оборудования, вызывает необходимость повышения высоты рабочих уступов до 30 м и более (рис. 1). В связи с чем, в зоне бестранспортной отработки вскрыши происходит концентрация горных работ, осложняющая геомеханическое состояние прибортовых массивов разреза и требующая решения вопросов надежного обеспечения устойчивости откосов рабочих уступов и борта разреза. При этом основной задачей является определение оптимальных параметров карьерных откосов, обеспечивающих их устойчивость при минимальных объемах вскрышных работ [1].

Рис. 1. Рабочий борт разреза в зоне бестранспортной отработки

Обеспечение устойчивости карьерных откосов зависит от достоверности исходных данных (физико-механические характеристики горных пород, породных контактов, поверхностей ослабления и структурные особенности горного массива), правильного выбора геомеханической модели деформирования прибортового массива, а так же методов расчета устойчивости откосов. Исходя из вышесказанного, мониторинг состояния устойчивости борта разреза в зоне бестранспортной отработки вскрыши является обязательным мероприятием для эффективного и безопасного ведения открытых горных работ.

Мониторинг состояния устойчивости карьерных откосов в зоне бестранспортной отработки вскрыши, проводимый в 2009 ÷ 2012 годы специалистами научно-исследовательской лаборатории «Маркшейдерия, геомеханика и геометризация недр» Карагандинского государственного технического университета (КарГТУ) на Шубаркольском угольном разрезе, включал в себя следующие задачи: исследование фактического состояния устойчивости откосов уступов и борта разреза и анализ причин нарушения их устойчивости; оценка устойчивости рабочих уступов и борта разреза с заданными (фактическими) параметрами; расчет устойчивости свободных и нагруженных карьерных откосов; исследование влияния буровзрывных работ на целостность прибортового массива; обоснование параметров устойчивых откосов уступов и борта разреза.

Обследование фактического состояния устойчивости откосов уступов и борта разреза показало, что параметры карьерных откосов достигают максимальных значений, имеются локальные деформации откосов уступов в виде осыпей, заколов и обрушений (рис. 1). Для предотвращения деформаций уступов необходимо исключить ряд неблагоприятных факторов, таких как некачественная оборка поверхности уступа от заколов и нависей, несоответствующая схема взрывания, приводящая к разрушению законтурного массива, дополнительное увлажнение горных пород, самовозгорание углесодержащих пород, приводящие к снижению их прочности, несвоевременное обнаружение геологических нарушений и др.

Известно, что производство буровзрывных работ существенно влияет на прочность породного массива, так как их целью является дезинтеграция массива горных пород для выполнения выемочно-погрузочных работ. Представляет интерес следующий вопрос: «Насколько распространяется зона влияния буровзрывных работ вглубь горного массива»? Величину этого влияния можно установить на основе высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием верхней площадки уступа по заложенной на нем специальной наблюдательной станции [2].

Для исследования зоны деформаций от ведения буровзрывных работ в 2010÷ 2012 годах на рабочем разреза в зоне бестранспортной отработке вскрыши были заложены наблюдательные станции и поставлен опытно-промышленный эксперимент. По заложенным наблюдательным станциям выполнены по две серии (до взрыва и после взрыва) высокоточных инструментальных наблюдений. Высокоточные инструментальные наблюдения выполнялись с помощью электронного тахеометра Leica TCA 1201 и заключались в определении коор-

динат начального положения реперов профильных линий до взрыва, координат этих же реперов после взрыва, в определении горизонтальных проложений, превышений между реперами и их смещений. По результатам обработки двух серий инструментальных наблюдений установлены изменения высотных отметок реперов профильных линий, длины интервалов между реперами, а так же изменения суммарной длины интервалов профильных линий. Графики зависимости величины деформации от расстояния до крайнего ряда взрывных скважин по результатам инструментальных наблюдений 2012 года представлены на рис. 2.

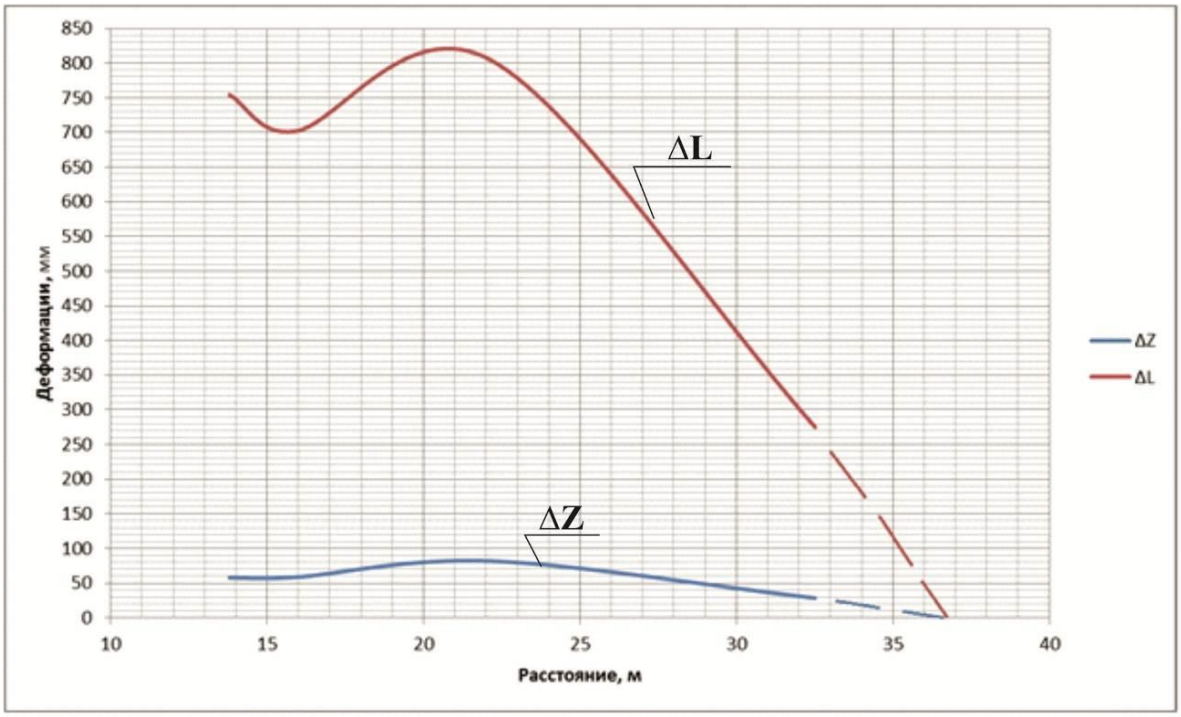


Рис. 2. Графики зависимости величины деформации от расстояния до скважины

На станции величина зоны смещения реперов более ±5мм на горизонте взрывного блока (гор. +445м) достигает 26м от крайнего ряда взрывных скважин. На нижележащем горизонте (гор. +437м), в связи с тем, что профильные линии были заложены во взорванную ранее массу, величина зоны смещения

±5 мм достигает 36м. Это говорит о том, что существует зона неопределенности у верхней бровки карьерных откосов с развитой техногенной трещиноватостью, где сцепление породного массива изменяется от нуля (заколы у верхней бровки) до естественного природного состояния (на расстоянии от 20 и более метров от крайней взрывной скважины). Поэтому для карьерных откосов, формируемых с помощью взрывной подготовки, необходимо производить их зачистку с удалением разрыхленных горных пород до целика, с периодичностью соответствующей выветриванию пород. Без специальной технологии, предохраняющей горный массив от снижения прочностных свойств, работы на

верхней бровке откосов уступов и непосредственно под откосом не допустимы из-за возможности вывалов и обрушений [2].

Для предупреждения возникновения эндогенных пожаров во внутренних отвалах и обоснования параметров борта разреза в зоне бестранспортной отработки вскрыши выполнены расчеты устойчивости карьерных откосов, которые показали что при заданных параметрах (рис. 3, все размеры даны в метрах) устойчивость борта и уступов разреза обеспечивается [3].

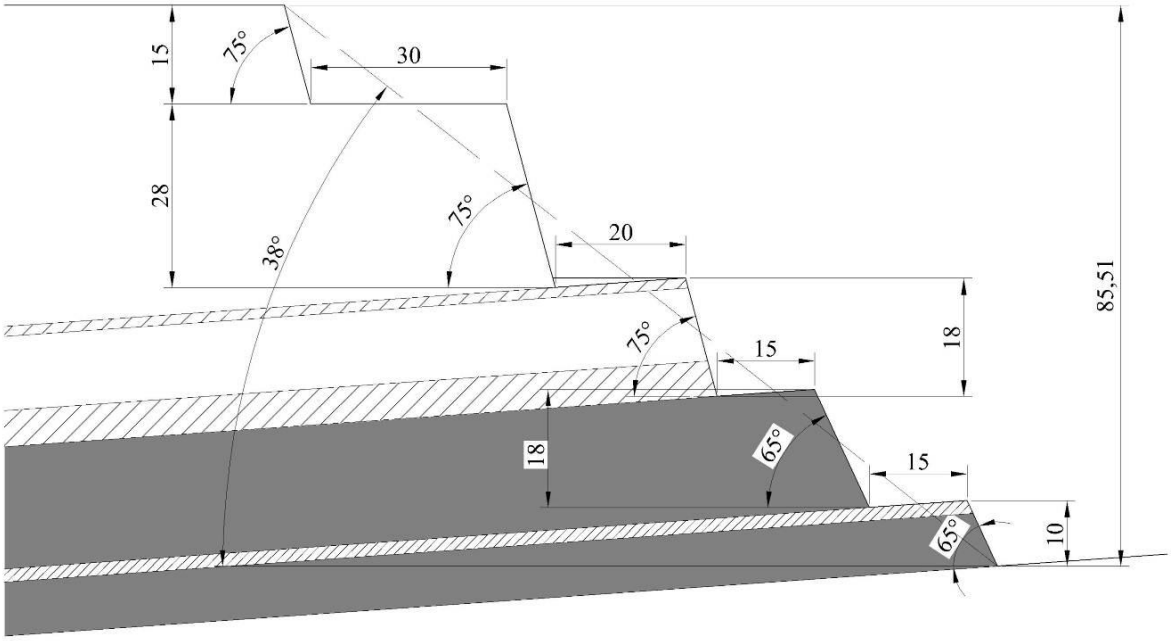


Рис. 3. Предлагаемые параметры борта разреза в зоне бестранспортной технологии отработки вскрыши

Вывод. Исследования, выполненные в рамках мониторинга состояния устойчивости борта разреза в зоне бестранспортной отработки вскрыши, позволили обосновать оптимальные параметры борта разреза, обеспечивающие его устойчивость при минимальных объемах вскрышных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ожигина С.Б. Анализ фактических параметров борта разреза в зоне бестранспортной технологии отработки // Материалы Международного Симпозиума «Маркшейдерское дело в XXI веке: состояние и приоритеты развития», Караганда, КарГТУ, 2011. - С.310-314.

2. Ожигина С.Б., Ожигин Д.С., Ожигин С.Г., Гапий А.В. Определение зоны деформирования горного массива при производстве буровзрывных работ // Труды Международного Форума «Инновационные технологии в маркшейдерском деле»», Караганда, КарГТУ, 2013 - С. 150-152.

3 Ожигина С.Б., Омаров С.Т., Ожигин Д.С., Гапий А.В. Обоснование параметров борта разреза АО «Шубарколь комир» в зоне бестранспортной отработке вскрыши// Труды Международного Форума «Инновационные технологии в маркшейдерском деле»», Караганда, КарГТУ, 2013 - С. 153-156.

© С.Б. Ожигина, Д.С. Ожигин, А.З. Капасова, А.В. Гапий, 2013

УДК 622.83

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ КАРЬЕРОВ

Фарит Камалович Низаметдинов
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Казахстан, г. Караганда, Б.Мира, 56, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, проф., д.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: niz36@mail.ru

Сергей Георгиевич Ожигин
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Казахстан, г. Караганда, Б. Мира, 56, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, д.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: osg62@mail.ru

Светлана Борисовна Ожигина
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Казахстан, г. Караганда, Б. Мира, 56, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, к.т.н., тел.(7212) 56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

В статье рассмотрены основы методов управления состоянием устойчивости карьерных откосов. Представлены примеры управления устойчивостью прибортовых массивов карьера "Николаевский", разреза "Шубаркольский" и карьера "Нурказган".

Ключевые слова: управление устойчивостью бортов карьера, свойства горных пород, параметры откосов, укрепление уступов.

THE MANAGEMENT OF STABILITY OF ROCK MASSIFS OF OPEN PITS

Farit K. Nizametdinov
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, director of “Mine survey and geodesy” department, prof., doctor of engineering, tel. 8(7212) 56-26-27, e-mail: niz36@mail.ru

Sergey G. Ozhigin
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, professor of “Mine survey and geodesy” department, doctor of engineering, tel. 8(7212) 56-26-27, e-mail: osg62@mail.ru

Svetlana B. Ozhigina
The Karaganda state technical university, Kazakhstan, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, associate professor of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., tel. (7212) 56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

In article basics of methods of management of stability of pit slopes. Examples of management by stability of rock massifs of a pit "Nikolaev", the "Shubarkolsky" pit and "Nurkazgan's" pit are presented.

Key words: controlling of stability boards quarry, rock characteristics, slope parameters, strengthening the ledges.

Недра Казахстана содержат в промышленных масштабах практически все виды минерального сырья, используемого в металлургии, строительстве, химическом производстве и энергетике. Разработка большинства месторождений в настоящее время осуществляется открытым способом. Воздействие на окружающую среду современных карьеров и техногенных массивов приобретает масштабный характер.

Увеличение глубины и объемов открытых горных работ, усложнение инженерно-геологических условий разработки определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов глубоких карьеров и формируемых отвалов. Комплекс вопросов обеспечения устойчивости карьерных откосов, оценки несущей способности оснований, прогноза деформаций сдвига и уплотнения прибортовых и отвальных массивов, направленного изменения и контроля состояния массивов пород в бортах карьеров и отвалов, является актуальной научной и практической проблемой, решение которой позволяет управлять состоянием прибортовых массивов карьеров [1].

Проблема управления устойчивостью прибортовых массивов на карьерах включает широкий диапазон исследований в области горного дела. Изменения условий разработки, связанные, в первую очередь, с увеличением глубины карьеров, интенсификацией и концентрацией горных работ требуют постоянного совершенствования и соответствующей корректировки существующих методов управления устойчивостью карьерных откосов для предотвращения деформаций.

Методика управления устойчивостью бортов и уступов карьеров включает решения следующих задач: определение параметров и поддержание в устойчивом состоянии откосов уступов и бортов при минимально возможном объеме вскрыши; оценка устойчивости откосов при проектировании и корректировке устойчивых параметров при развитии горных работ в плане и по глубине; оценка фактического состояния откосов и прогноз их устойчивости в процессе эксплуатации; охрана объектов, жизненно важных для горного предприятия; проведение работ по постановке бортов на предельный контур; разработка методики систематического контроля и целенаправленного воздействия на условия и факторы, определяющие устойчивость горных пород в откосах; геомеханическое обоснование мер по ликвидации последствий нарушений устойчивости, контроль за их реализацией и оценка их эффективности; осуществление оперативного контроля за состоянием уступов и бортов карьеров и прогноз нарушений устойчивости откосов от начала строительства до погашения или консервации карьера; внедрение рекомендаций по параметрам устойчивых бортов карьеров в производство на этапе проектирования открытых горных работ на базе геолого-маркшейдерской информации.

Разработка способов и средств управления устойчивостью прибортовых массивов на карьерах является основной задачей системы геомеханического мониторинга, решение которой основано на достоверной информации о состоянии и свойствах массива, получаемой непрерывно в процессе эксплуатации месторождения и выполнения специальных исследований.

Рассмотрим примеры управления устойчивостью прибортовых массивов карьеров успешно реализованные в последние годы специалистами Карагандинского государственного технического университета (КарГТУ) на крупнейших карьерах Казахстана.

На стадии доработки Николаевского месторождения в рамках концепции геомеханического мониторинга выполнено конструирование рационального профиля устойчивого борта карьера (рис. 1) [2].

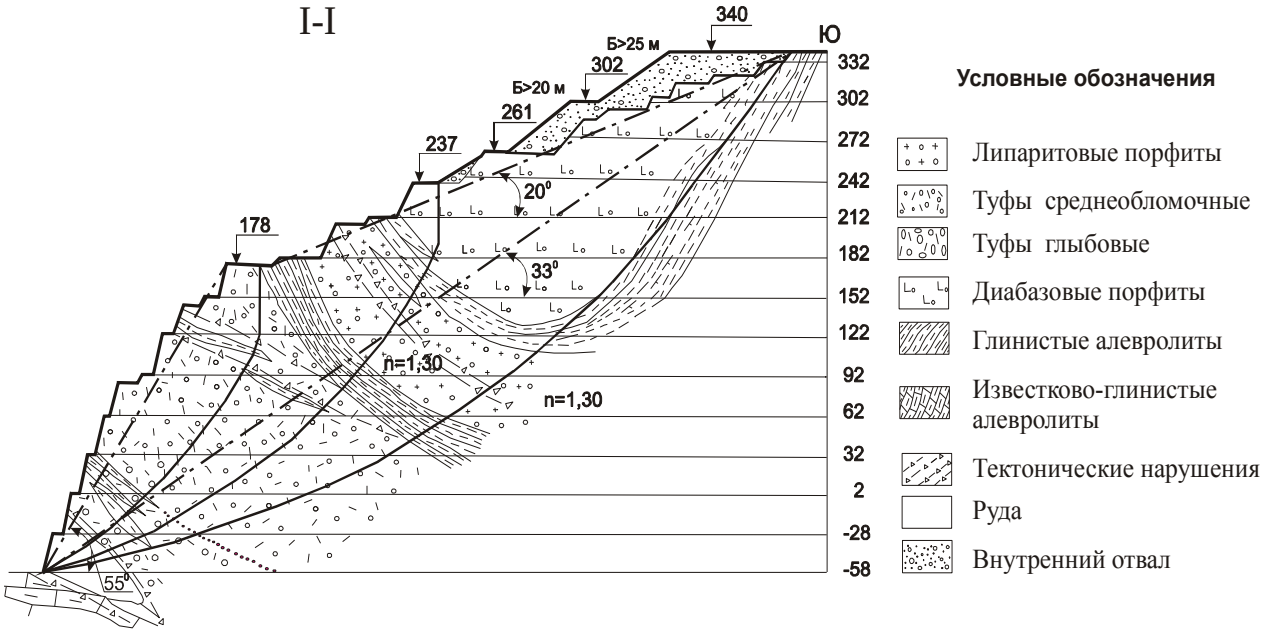


Рис. 1. Южный борт карьера «Николаевский»

Дополнительные исследования физико-механических свойств горных пород и расчеты устойчивости, выполненные с учетом структурных особенностей прибортового массива для ступенчатого профиля борта и группы уступов, позволили обосновать для нижней части борта более крутой угол погашения – 55° (проектный 33°) и использовать на стадии доработки карьера, имеющийся выше нормативного (n =1,6), запас устойчивости на верхних горизонтах борта для формирования внутреннего отвала вскрышных пород объемом до 2,6 млн. м^3. Таким образом, исследования, выполненные на стадии доработки карьера, позволили повысить эффективность открытых горных работ за счет снижения объемов вскрышных пород (выпуклый профиль борта) и формирования внутреннего отвала на верхних горизонтах карьера [2].

На практике часто возникает задача обеспечения устойчивости карьерных откосов на конкретный период времени, решение которой основано на определении их предельных параметров с учетом изменения прочности пород с момента обнажения. Задачи такого типа могут быть решены численно-аналитическим способом, если установить изменение прочностных характеристик пород от реализации процессов реологического характера с момента образования обнажения.

Принципиальная возможность учета реологических процессов следует из кинетической теории прочности горных пород [3]. Изменение сцепления горных пород обусловлено изменением их структуры в результате реологических процессов, происходящих в массиве. Используя результаты теоретических исследований, определены величины сцепления k основных литологических разностей (выветрелые аргиллиты, аргиллиты, переслаивание песчано-глинистых пород) прибортового массива для условий Шубаркольского разреза. Изменение сцепления во времени представлено на рис. 2 [4].

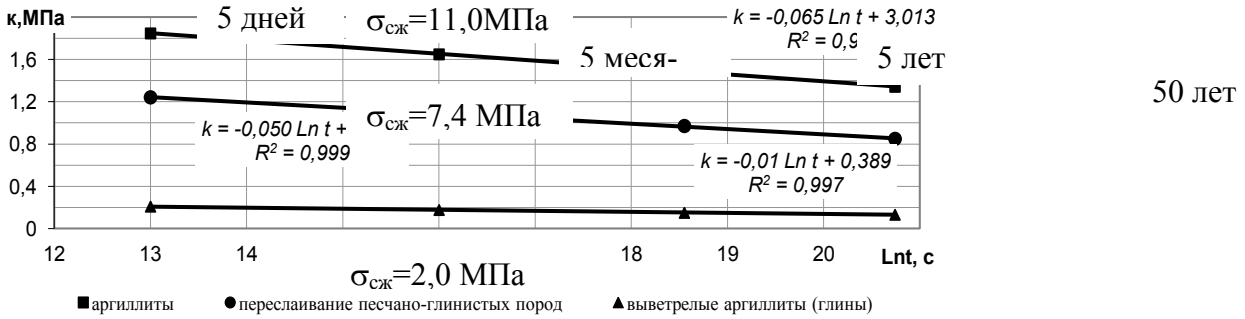
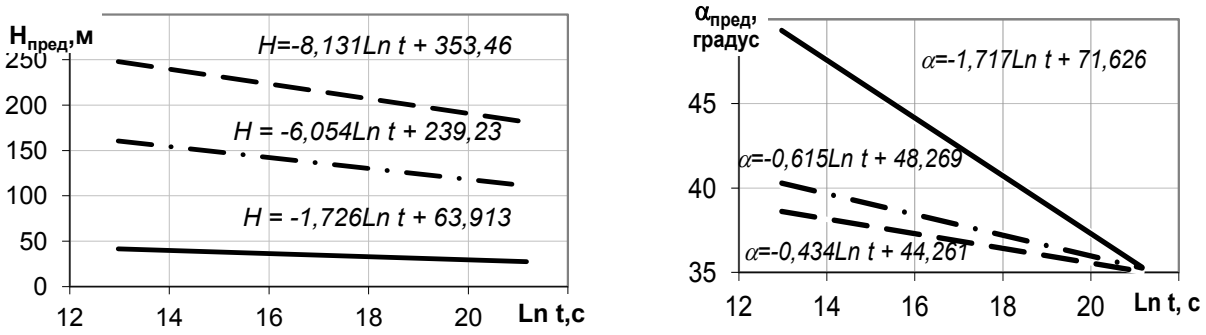


Рис. 2. Изменение сцепления во времени

Для получения качественной картины изменения параметров предельных откосов в зависимости от их срока службы (время нагружения) произведен расчет предельной высоты $H_{пр.}$, предельного угла $\alpha_{пр.}$ и коэффициента запаса устойчивости n для заданных типов пород. Решение выполнено с использованием специальной программы sposb33. Изменение параметров предельных откосов во времени составили для предельной высоты $H_{пр.}$ 1,37÷1,51 раза, для предельного угла $\alpha_{пр.}$ 1,10÷1,4 раза, коэффициент запаса устойчивости n изменяется в 1,09÷1,23 раза (рис. 3).



— аргиллиты; —, переслаивание песчано-глинистых пород;
—— выветрелые аргиллиты.

Рис. 3. Изменение параметров предельного борта разреза во времени

Приведенные примеры показывают, что имеется достаточно широкий диапазон параметров предельных откосов в зависимости от времени стояния (нагружения), поэтому можно с успехом управлять временной устойчивостью откосов на горных предприятиях. Полученные результаты исследований могут быть использованы при решении ряда оперативно-технологических задач, например, определение параметров временного внутреннего отвала на заданном участке борта карьера, определение допустимой внешней нагрузки на откос для заданного интервала времени, отработка полезного ископаемого на потенциально неустойчивом участке с последующей засыпкой выработанного пространства и другие задачи [4].

Для увеличения углов наклона бортов карьеров на проектном контуре рекомендуется проводить искусственное укрепление прибортовых массивов горных пород, позволяющее увеличить углы откосов на участках с менее устойчивыми породами. Упрочнение массива горных пород на ослабленных участках достигается введением в трещины массива веществ (цементных растворов, силикатов и полимерных смол), которые после отвердевания и схватывания с породой значительно повышают ее прочностные характеристики. Разработаны методика расчета устойчивости укрепленного откоса в однородном и неоднородном массивах и расчета параметров зоны укрепления прибортового массива. На основании разработанных методик выполнено обоснование параметров устойчивых бортов карьера «Нурказган» глубиной 600 м для проектных углов бортов до 60 - 62°[5].

Выводы. Решение проблемы управления устойчивостью карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых должно носить системный и комплексный характер. Знание закономерностей развития геомеханических процессов в прибортовых массивах на карьерах позволяет регламентировать мероприятия по изменению их состояния и обеспечить экономическую эффективность и безопасность ведения горных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б. Управление устойчивостью бортов карьеров// VIII Международный научный конгресс «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ – 2012», Новосибирск: УГГА, 2012. - С. 30- 34.

2. Шпаков П.С., Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Шпакова А.П. Формирование отвалов внутри карьерного поля и конструирование устойчивых бортов карьеров при доработке месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2005. - №6. - С. 68–71.

3. Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К., Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т. Учет временного и температурного факторов при построении критериев прочности горных пород // ФТПРПИ, 2003.- №2. - С.38-42.

4. Шпаков П.С., Ожигина С.Б., Цай Б.Н., Ожигин С.Г., Шпакова А.П. Численно-аналитический способ расчета устойчивости карьерных откосов с учетом временного фактора// Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2005.- № 4. - С. 149–154.

5. Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Старостина О.В. Обоснование параметров устойчивых бортов карьеров, укрепляемых смолами// Труды университета, Караганда: КарГТУ, 2007.- № 3. - С.37-39.

© Ф.К. Низаметдинов, С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина, 2013

УДК 528.029.4

ЧАСТОТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО МОСТА В ГОРОДЕ КАРАГАНДА

Ольга Газисовна Бесимбаева
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, к.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Елена Николаевна Хмырова
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, к.т.н., тел. (7212)56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Рустем Рашитович Ханнанов
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистрант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: rusteem4ik@mail.ru

Надежда Анатольевна Зинченко
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистрант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: selestial.92@mail.ru

В статье рассмотрен вопрос применения частотных датчиков при мониторинге автомобильных мостов, их основные характеристики, принципы использования, а также представлено частотное наблюдение за мостом в городе Караганда (Казахстан).

Ключевые слова: частотные измерения, измерительная система для мониторинга частотным методом, спектограмма, амплитуда колебаний.

FREQUENCY OBSERVATIONS OF ROAD BRIDGE IN KARAGANDA

Olga G. Besimbaeva
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., тel. (7212) 56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Elena N. Khmyrova
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of “Mine survey and geodesy” department, cand.tech.sci., тel. (7212) 56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Rustem R. Khannanov
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira avenue, graduate student of associate professor of “Mine survey and geodesy” department, тel. (7212)56-26-27, e-mail: rusteem4ik@mail.ru

Nadezhda A. Zinchenko
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira avenue, graduate student of associate professor of “Mine survey and geodesy” department, тel. (7212)56-26-27, e-mail: selestial.92@mail.ru

The paper deals with the use of frequency sensors for monitoring road bridges, their characteristics, how to use and shows the frequency of the bridge watching in Karaganda (Kazakhstan).

Key words: frequency measurements, the measurement system to monitor the frequency method, spektogramm, the oscillation amplitude.

Мосты являются сосредоточением и реализацией инженерной мысли и привлекают внимание общества. Современные мосты большой протяженности выдерживают колоссальные нагрузки и напряжения, отчасти благодаря их способности незначительно деформироваться в зависимости от воздействия внешних условий. Среди внешних факторов, оказывающих влияние на деформации мостового сооружения, наиболее весомыми являются изменение силы и направления ветра, количество осадков, движение волн, сейсмические толчки и транспортная нагрузка (количество, вес и скорость движения находящегося на мосту автотранспорта) и изменение внешних условий, таких как суточная смена температуры воздуха и прямое солнечное излучение. Постоянные воздействия внешних факторов приводят к постепенному износу сооружения, а при сверхнормативных нагрузках это может привести к ускоренному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния мостового сооружения, с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях изменений геометрических параметров сооружения измерения колебаний строительных конструкций могут выполняться как переносными датчиками, так и установленными на длительное время автономными измерительными системами. Контроль величин полученных амплитуд не является первоочередной задачей, так как их предельные значения за редким исключением неизвестны.

Процесс измерения колебаний может быть легко автоматизирован, отличается высокой надежностью и поэтому имеет большой потенциал в рамках мониторинга. В мире существует практика применения частотного метода на уникальных объектах и, по мнению многих экспертов, он также может использоваться на обычных строительных сооружениях как дополнение к другим типам измерений. При этом измерения колебаний необходимо выполнять одновременно на многих пунктах. Но стоимость датчиков для измерения микросейсмических колебаний (сейсмографов), регистрирующих малейшие колебания земной поверхности, достаточно велика и для поставленных целей экономически не оправдана.

По названным выше причинам в Берлинском университете прикладных наук была создана альтернативная измерительная система для мониторинга частотным методом (рис. 1).

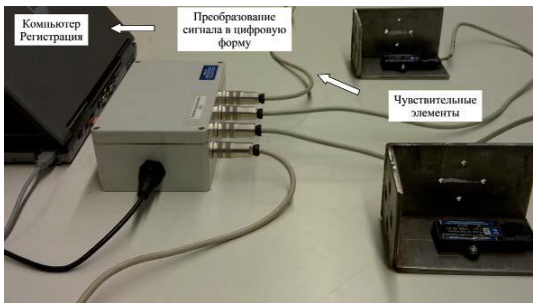
а) б) 

Рис. 1. Частотные измерители
а – переносной датчик (чувствительный элемент);
б – автономная измерительная система

Ее конструктивной особенностью является наличие нескольких чувствительных элементов, присоединенных к полевому компьютеру с помощью кабелей через коммуникационный блок, преобразующий сигнал от датчиков в цифровую форму. Чувствительными элементами служат датчики, которые используются в машиностроении, при эксплуатации ветряных электростанций и т. д. Они имеют высокую степень пыле- и влагозащищенности (IP 67). Потребление электроэнергии датчиками крайне мало, так что система может работать в течение многих часов без подключения внешнего питания.

Для обеспечения равных условий измерений на всех контрольных точках система может работать с неограниченным количеством датчиков на удалении до 450 м. Из-за несколько худших параметров точности, чем у геофизических приборов, она не может использоваться для измерения микросейсмических явлений. В то же время ее главным преимуществом является невысокая стоимость.

На первом этапе в Берлинском университете прикладных наук были разработаны собственные алгоритмы и написаны модули с использованием программы MatLab. После экспериментальных исследований была уточнена методика и создано специализированное программное обеспечение (рис. 2).

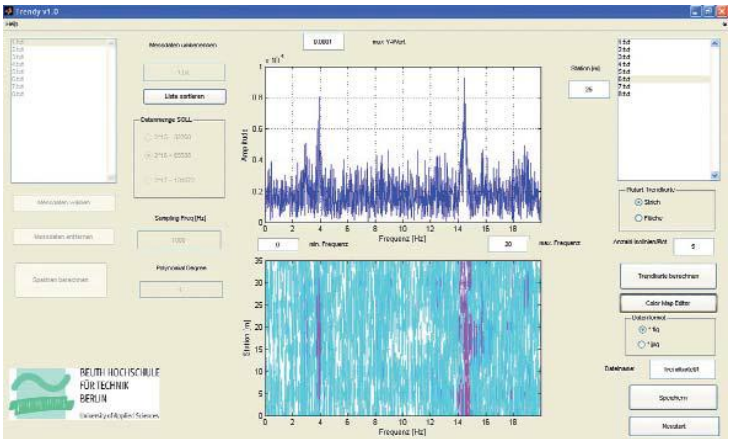


Рис. 2. Интерфейс специализированного программного обеспечения

Так как основные шаги обработки, такие как вычисление отдельных спектров и картограмм колебаний, выполняются в подготовленной программе нажатием нескольких кнопок, визуальный контроль можно осуществлять на полевом компьютере сразу после завершения измерений. И спектрограммы и картограммы колебаний можно сохранить в различных графических форматах для дальнейшего анализа и интерпретации.

Измерительная система и программное обеспечение позволяют успешно проводить контроль и интерпретацию высокочастотных деформаций. Этот факт был подтвержден измерениями на автомобильном мосту в городе Караганда (Казахстан) при участии профессора Резника Б.Е. из Германии и магистрантов Карагандинского государственного технического университета.

Несмотря на свои небольшие габариты, этот мост является важным сооружением транспортной инфраструктуры Караганды. Не смотря на простоту конструкции данного сооружения, под воздействием внешних факторов мост совершает амплитудные колебания.

С помощью разработанной методики в 2012 году были выполнены динамические измерения на контрольных точках моста. Результаты проведенных работ и их точность свидетельствуют о возможности применения метода и измерительного комплекса для частотных наблюдений.

При проведении данных наблюдений использовался один датчик, который устанавливался в 3 контрольных точках моста (2 точки – по краям пролета возле опор, 1 точка – посередине пролета) (рис. 3). Измерения проводились единожды по 40 минут на каждой контрольной точке с целью выявить абсолютные значения амплитуды колебаний. Во время измерений наблюдалось интенсивное движение транспортных средств с периодическим движением поездов.

Рис. 3. Расположение контрольных точек

Первичным результатом обработки измерений являются так называемые спектрограммы, совмещающие выделенные частоты и соответствующие амплитуды колебаний на характерных точках мостового перехода, отобранных для пробных измерений (рис. 4).

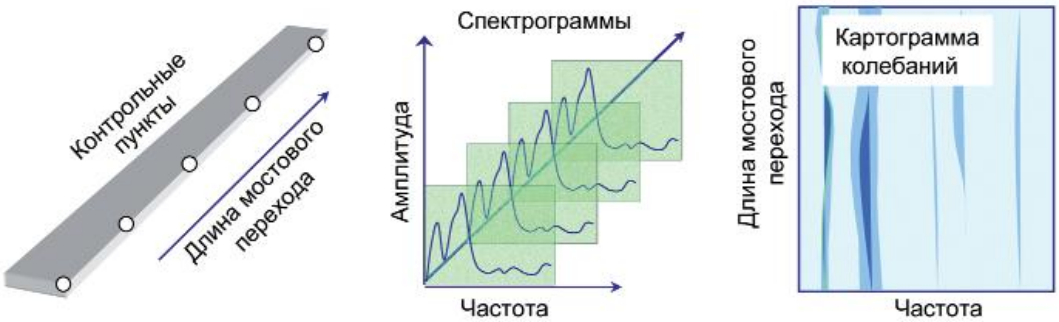


Рис. 4. Принцип применение картограмм колебаний

Из соображения наглядности используется двухмерное изображение по частоте и длине конструкции. Амплитуды отдельных спектров показываются разными цветами в соответствии с выбранной шкалой. Такая форма представления результатов используется в картографии для показа относительных статистических данных цветовой заливкой, соответствующей принятой интервальной шкале. Благодаря ей легко оценить энергию отдельных частот по всей длине несущей конструкции.

По результатам измерений видно, что наибольшее значение амплитуды колебаний достигается в середине пролета, в тот момент как, по краям пролета амплитуда имеет минимальные значения (рис. 5). Это объясняется тем, что определенную часть колебаний гасят опоры. Выявленные значения частоты колебаний свидетельствуют об отсутствии критических изменений в несущих конструкциях.

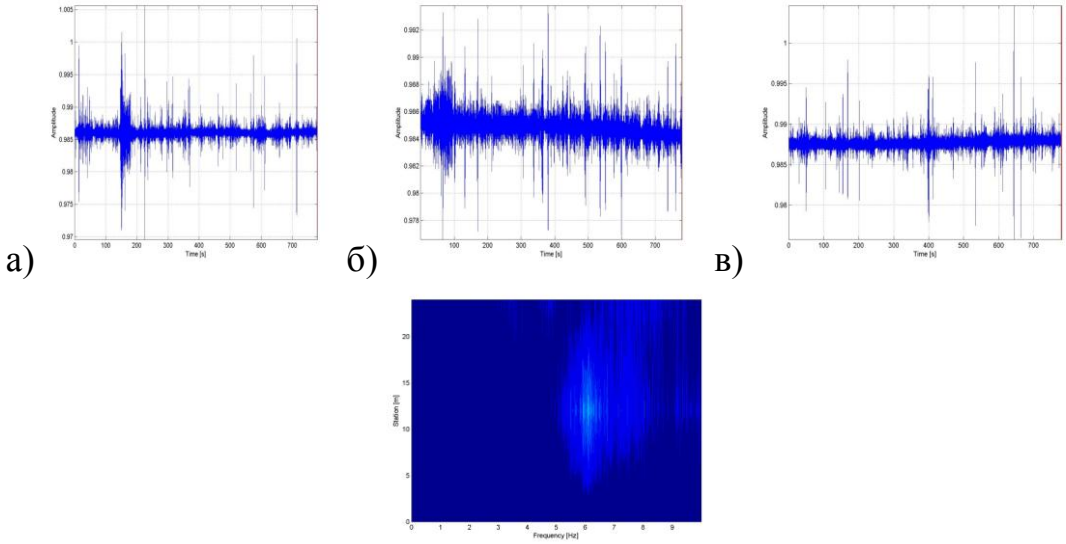


Рис. 5. Спектральные характеристики колебаний моста по высоте

а, в – измерения контрольных точек, расположенных по краям пролетав близи опор; б – измерения контрольной точки, расположенной посередине пролета

В заключении можно сказать, что этот метод выходит за рамки геодезического контроля и успешно его дополняет. Практическая реализация поставленных задач в будущем потребует интенсивной совместной работы специалистов различных специальностей, в первую очередь, в области геодезии и строительного дела. В настоящее время готовится новое поколение измерительной системы. Каждый компактный измерительный блок этой системы будет содержать собственный чувствительный элемент повышенной точности и карту памяти большого объема. Устройство будет обладать внутренним источником питания, емкости которого достаточно для автономного выполнения измерений в течение 24 часов, и иметь возможность подключения к внешней сети. Таким образом, новое поколение системы позволит выполнять измерения в автономном режиме практически неограниченное время. В ней также предусмотрена функция автоматического включения измерений при достижении заданных амплитуд колебаний. Посредством технологии Wi-Fi будет организована беспроводная передача информации и аварийных сообщений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Резник Б.Е., Лобазов В.Я., Герасимов А.Ю., Эфендян П.С. Статья «Частотные измерения при мониторинге автомобильных мостов», журнал Геопрофи 4’2010

2. Материал сайта: http://www.icentre-gfk.ru/article/a_def_mon_bridges.htm

© О.Г. Бесимбаева, Е.Н. Хмырова, Р.Р. Ханнанов, Н.А. Зинченко, 2013

УДК 622.831

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Виктор Николаевич Долгоносов
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, г. Караганда, бульвар Мира 56, доктор технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии КарГТУ, тел. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru

Геннадий Алексеевич Пак
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, г. Караганда, бульвар Мира 56, кафедра маркшейдерского дела и геодезии КарГТУ, горный инженер-маркшейдер, тел. 8-(7212)-32-35-54, e-mail: kostyaan91@bk.ru

Ольга Васильевна Старостина
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, г. Караганда, бульвар Мира 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии КарГТУ, тел. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: alternative@hotmail.ru

Елена Викторовна Долгоносова
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, г. Караганда, бульвар Мира 56, магистр, преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии КарГТУ, тел. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru

Евгения Владимировна Кайгородова
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан, г. Караганда, бульвар Мира 56, магистрант кафедры маркшейдерского дела и геодезии КарГТУ, тел. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: evgeniya020980@list.ru

Эффективность и безопасность ведения подземных горных работ в значительной степени определяется обоснованными техническими решениями, основанными на глубоком понимании геомеханических и газодинамических процессов, происходящих при подземной разработке угольных месторождений. Принятие той или иной технологической схемы и её параметров, порядок отработки месторождения, схема вскрытия и подготовки горизонтов, приводит к соответствующему изменению состояния горного массива. Ведущую роль при этом играют именно геомеханические процессы – горное давление и сдвижение подработанного массива. В этой связи разработка методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами на угольных шахтах является актуальной научной и практической задачей.

Ключевые слова: угольное месторождение, геомеханические процессы, газодинамические процессы, обрушение кровли, горное давление.

MAIN PROVISIONS OF THE METHODOLOGY FOR GEOMECHANICAL AND GAZODINAMIC MONITORING OF PROCESSES OF COAL MINES

Victor N. Dolgonossov
Karaganda State Technical University, Kazakhstan, Karaganda, 56 Peace Boulevard, doctor of technical sciences, associate professor, department of surveying and geodesy KSTU, tel. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru

Gennady A. Pak
Karaganda State Technical University, Kazakhstan, Karaganda, 56 Peace Boulevard, mining engineer-surveyor (from 1990 to 2007 chief of survey department of mine «Saranskaya»), department of surveying and geodesy KSTU, tel. 8-(7212)-32-35-54, e-mail: kostyaan91@bk.ru

Olga V. Starostina
Karaganda State Technical University, Kazakhstan, Karaganda, 56 Peace Boulevard, candidate of technical sciences, associate professor, department of surveying and geodesy KSTU, tel. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: alternative@hotmail.ru

Elena V. Dolgonossova
Karaganda State Technical University, Kazakhstan, Karaganda, 56 Peace Boulevard, magister, teacher of department of surveying and geodesy KSTU, tel. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru

Evgeniya V. Kaygorodova
Karaganda State Technical University, Kazakhstan, Karaganda, 56 Peace Boulevard, magister, teacher of department of surveying and geodesy KSTU, tel. 8-(7212)-56-28-29, e-mail: evgeniya020980@list.ru

The efficacy and safety of underground mining is largely determined by the appropriate technical solutions, based on a profound understanding of the geomechanical and gasodynamic processes taking place in the underground development of coal deposits. The adoption of a process flow diagram and its parameters, the order of mining deposits, opening and preparation of horizons, leads to the appropriate state change of the mountain massif. The lead role is played by the geomechanical processes mountain of pressure and the collapse of roof. In this regard, the methodology for geomechanical and gazodinamic management processes in coal mines is a topical scientific and practical task.

Key words: coal deposit, geomechanical processes, gasodynamic processes, the collapse of a roof, mining pressure.

Основная идея методики заключается в комплексном подходе к решению задач горного дела. Вопросы сдвижения, обрушения кровли, газодинамики, горного давления и горных ударов необходимо рассматривать в тесной причинно-следственной взаимосвязи, неразрывно друг от друга. Только на глубоком понимании геомеханических процессов, протекающих в горном массиве, могут быть основаны и приняты технические и технологические решения. Планирование горных работ, порядок отработки месторождения, принимаемая система разработки, учитывающие протекающие геомеханические процессы определяют эффективную и безопасную эксплуатацию месторождений.

Полученные научные и практические результаты проведенных авторами исследований могут быть положены в основу методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами на шахтах [1].

1. Разработана методика, алгоритм и компьютерная программа расчета значений первичного и последующих шагов обрушения на всю длину выемочного столба, либо на какой-либо участок отработки лавы [1, 2]. Методика апробирована и получила практическое подтверждение на шахтах Карагандинского

бассейна. На рис. 1 представлено окно программы расчета шагов обрушения по лаве 53К7-ЮЗ шахты «Сокурская».

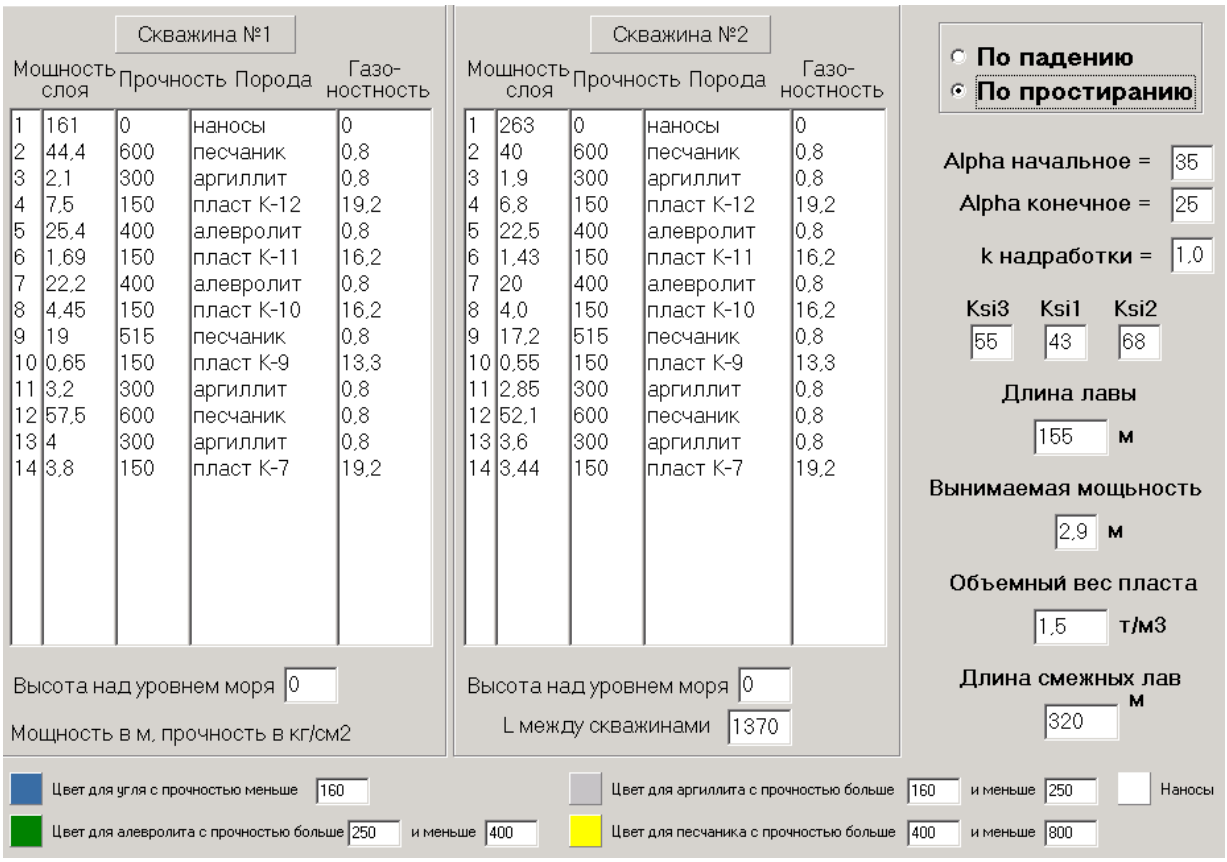


Рис. 1. Окно программы расчета шагов обрушения
по лаве 53К7-ЮЗ шахты «Сокурская»

2. Установлено, что геомеханические и газодинамические явления, протекающие при ведении горных работ, имеют единую техногенную природу. Природные (мощность пласта, угол падения, мощность и прочностные характеристики пород кровли) и технологические (вынимаемая мощность пласта, длина лавы) параметры определяют величину первичных и последующих шагов обрушения. Обрушения основной кровли, в свою очередь, управляют интенсивностью газовыделения по мере подвигания лавы, максимумы которого предшествуют подходу лавы к точке обрушения, и изменяют газовый режим в лаве и на участке.

3. Выполнена проверка достоверности прогнозов шагов обрушения и объемов газовыделения по лавам 64К-10В и 62К-10В на шахте «Саранская». По лаве 64К-10В в период с августа по октябрь 2008г. произведен мониторинг фактических значений обрушений, который подтвердил предварительный прогноз [3]. Аналогичные расчеты выполнены также по другим шахтам карагандинского бассейна: «Сокурская» (лава 53К-7-ЮЗ), «Абайская» (лава 32К-10-С), «Тентекская» (лава 183 Д6-С), им. Т. Кузембаева (лава 42-К10-З). Также

выполнены расчеты шагов обрушения для ряда других угольных бассейнов России и Украины [1]. Исходные данные для расчетов почерпнуты из литературных источников и научных публикаций. Расхождения не превышают инженерной точности (в пределах 10%) и связаны они с недостаточной точностью исходных данных, таких как предел прочности на сжатие. Данные примеры свидетельствуют об универсальности разработанной методики и возможности её применения для других угольных бассейнов.

4. Старые или действующие выработанные пространства с замкнутыми куполами сдвижения, служат техногенными резервуарами, где накапливаются миллионы кубических метров метана. В куполах накапливается метан в чистом виде, как самый легкий газ рудничной атмосферы. Замкнутые купола формируются при условии, что сдвижение не дошло до поверхности. Такая ситуация возникает при наличии в кровле крепких пород-мостов и глубинах свыше 300м. Созданные таким образом подземные резервуары газа представляют большую угрозу для безопасности горных работ.

5. Если при отработке соседних участков в результате сдвижения массива произойдет разгерметизация или объединение «газовых коллекторов», то это может привести к аварийной ситуации вследствие мгновенного загазирования выработок. Исследования формирования такого рода подземных резервуаров весьма актуальны, в первую очередь, с точки зрения безопасности горных работ. По нашему мнению, именно внезапные прорывы газа из «газовых коллекторов» являются одной из основных причин катастроф, произошедших за последнее десятилетие на шахтах Казахстана, России и Украины, которые унесли сотни человеческих жизней. С другой стороны, знание местоположения и динамики куполов сдвижения позволяет эффективно проводить дегазационные мероприятия с высокими показателями каптирования метана по скважинам и обеспечением безопасных условий дальнейшей эксплуатации месторождения.

6. При увеличении глубины разработки месторождений существенно увеличивается и радиус зоны влияния горных работ на перераспределение горного давления. В зависимости от конкретных горно-геологических условий радиус зоны влияния может существенно превышать размеры, регламентированные действующими нормативными документами и достигать 500 и более метров. Такого рода примеры известны в мировой практике и описаны в зарубежной литературе [4]. Для условий Карагандинского бассейна этот факт установлен, в частности, при анализе случаев ГДЯ на шахте Тентекская, произошедших в 2008 и 2009 гг. Результаты построения границ зоны ПГД по пласту Д-6 от очистного пространства пласта Т-1 показывают, что действующие нормативные документы, в частности «Инструкция…» (1995 г) [5], требуют внесения соответствующих корректировок. Согласно [5] размер зоны влияния очистной выработки ограничен как в кровлю, так и в почву и не превышает 176 м по нормали к пласту. В то же время, отраслевая «Инструкция…» (МУП СССР 1977 г) [6] рекомендует принимать размеры зоны влияния очистной выработки 200 м в кровлю и 250 м в почву разрабатываемого пласта. На шахте Тентекская расстояние меду пластами Д-6 и Т-1 по нормали составляет 330 – 340 м. Выполненные исследо-

вания показали, что с углублением горных работ увеличивается и радиус зоны влияния очистного пространства, который достигает 350 – 500 метров.

7. Горные удары необходимо классифицировать на первичные и вторичные удары. Первичный горный удар представляет собой обрушение основной кровли, сопровождающееся внезапным выбросом огромной потенциальной энергии, накопившейся в вышележащем подработанном слое пород в результате его зависания и изгиба. Величина энергии зависит от мощности основной кровли и прочностных характеристик слагающих её пород. При внезапном обрушении происходит динамическое воздействие на окружающий горный массив. Первичные удары могут инициировать вторичные горные удары в различных ослабленных областях горного массива (разрушение нагруженных целиков и краевых участков угольного пласта в очистных и проходческих забоях) и внезапные выбросы угля и газа. Вторичные удары, как правило, происходят в зонах повышенной концентрации напряжений (зонах ПГД). Форма проявления вторичных горных ударов зависит от механических свойств горных пород (пучение для пластичных пород, динамический разлом почвы с повышенным газовыделением – для хрупких).

8. Высвобождающаяся механическая энергия распределяется и поглощается в окружающем горном массиве. Источниками энергии служат первичные горные удары и буровзрывные работы при проведении горных выработок. Прочные породы являются хорошими проводниками механической энергии, которая может передаваться на достаточно большие расстояния, а слабые породы поглощают энергию, претерпевая при этом структурные и физико-химические преобразования. Наиболее слабым звеном является угольный пласт, который разрушается при мощном энергетическом воздействии с выделением газа в свободном состоянии. Приблизительно 90% метана, содержащегося в угле в естественных условиях, находится в адсорбированном состоянии и может быстро выделиться из угля в результате такого воздействия. Таким образом, формируются выбросоопасные зоны, представляющие большую угрозу безопасности ведения горных работ. Первичным условием формирования выбросоопасных зон является наличие повышенного горного давления [7].

9. Разработана модель процесса первичного (дискретного) сдвижения подработанного массива горных пород в виде обрушений основной кровли и методика расчета её параметров, которая апробирована на шахтах Карагандинского бассейна и соответствует фактическим данным, зафиксированным в маркшейдерской документации шахт. «Правила охраны сооружений и природных объектов…» (ВНИМИ, Недра, 1981) [8] не рассматривают развитие процесса сдвижения и влияние крепких мощных слоев песчаника в кровле пласта, сдвижение которых происходит дискретно в форме обрушений. Разработанная методика позволяет определить размеры выемочных участков, при которых процесс сдвижения остановится в массиве по достижении крепкого слоя песчаника и не дойдет до поверхности. Это позволит безопасно отрабатывать запасы под застроенными территориями и промышленными объектами. Кроме того, становится возможным определения параметров, при которых сдвижение достига-

ет поверхности и происходит восстановление исходного (естественного) геостатического давления в массиве с исчезновением (сглаживанием) зон ПГД. При этом следует иметь ввиду, что повышенная выбросоопасность в бывшей зоне повышенного горного давления сохраняется неограниченно длительное время и может проявиться спустя десятилетия.

10. Гидродинамическое воздействие на угольный пласт может способствовать образованию выбросоопасных зон в зонах влияния скважин НГРП. Практика применения скважин НГРП на шахте «Сокурская» показала, что применение гидрорасчленения пласта эффективно только в непосредственной близости от очистного забоя и должно рассматриваться в единой технологической схеме с добычей угля. На стадии предварительной дегазации, при обработке нетронутых угольных массивов этот метод может привести к образованию выбросоопасных зон и проблемам при дальнейшей отработке месторождения.

Анализ результатов выполненных исследований позволил наметить целый ряд положений, направленных на повышение эффективности и безопасности ведения горных работ.

1) Отработку шахтного поля следует начинать с самого опасного и мощного угольного пласта. Так велась разработка на ряде шахт Карагандинского бассейна: «Молодежная», «Степная», «Шахтинская», где отработка начиналась с наиболее опасного пласта Д-6, и в дальнейшем проблем с газодинамическими явлениями на указанных шахтах не было. При соблюдении данного условия самый опасный пласт находится в нетронутом массиве, на него не оказано негативное влияние предыдущих горных работ, отсутствуют техногенные выбросоопасные зоны и области ПГД.

2) Необходимо использовать сплошные бесцеликовые системы разработки, которые создают самые безопасные условия отработки других пластов угольной свиты. Идея состоит в создании площади очистной выемки и достижении полного сдвижения подработанного массива до земной поверхности с образованием нормальных к пласту секущих трещин по контуру отработанной площади, начиная с верхних горизонтов. При этом подработанный массив переходит в новое неупругое состояние с блочной структурой, восстанавливается исходное геостатическое давление, а по контуру выработанного пространства исчезают зоны ПГД. Происходит естественная дегазация массива, газ уходит в атмосферу через образовавшиеся трещины создаются безопасные условия для дальнейшего ведения горных работ. Наиболее показательно это на примере разработки поля шахты им. Костенко, где применялись бесцеликовые системы, и была создана площадь очистной выемки, обеспечившая дальнейшую безопасную отработку запасов. Другим характерным в этом плане примером является отработка восточного крыла шахты «Сокурская», где в первую очередь была произведена выемка пласта К-12, а затем отработка нижележащих угольных пластов К-10 и К-7 велась в защищенной зоне.

3) Наиболее целесообразно и безопасно вести отработку свиты пластов по восходящей схеме «снизу – верх» с применением бесцеликовых систем с полной подработкой. Такая схема потребует более значительных капитальных за-

трат на стадии освоения месторождения, которые в дальнейшем многократно окупятся за счет создания безопасных условий труда, производительности очистных работ и резком снижении затрат на ремонт и поддержание горных выработок. При восходящем порядке отработки угольных пластов складываются благоприятные условия как с точки зрения горного давления, которое постоянно будет уменьшаться, так и с позиций дегазации (газ уйдет вверх), и борьбы с водой (вода уходит вниз на отработанные горизонты).

4) Важнейшим принципом проектирования и безопасной отработки угольных пластов является уменьшение техногенного влияния (силового воздействия человека) на разрабатываемые угольные пласты свиты. И в первую очередь необходимо исключить ведение горных работ на БВР. Благодаря этому в Кузбассе значительно снизилось количество ВВУиГ, по сравнению с Донбассом, где эта проблема стоит очень остро. Применение гидрорачленения пласта на стадии предварительной дегазации также может оказать негативное воздействие на угольный пласт, привести к образованию выбросоопасных участков на больших территориях и даже привести к невозможности дальнейшей безопасной эксплуатации месторождения. Примером служит ситуация, возникшая на восточном крыле шахты «Сокурская» после заблаговременного гидрорачленения пласта К-10 скважинами НГРП с поверхности.

5) Неправильно принятые и утвержденные схемы разработки угольных пластов могут сыграть роковую роль. Так на шахте «Сокурская» ПО «Карагандауголь» была предложена и внедрена схема отработки угольного пласта «через столб», которая была реализована на практике. При отработке столбов №№ 1, 3 и 5 в целике мощного пласта К-12 восточного блока, проблем с добычей по верхнему и нижнему слою и поддержанием горных выработок не было. Зато они появились после, когда началась нарезка лав четного блока №2, находящегося между ранее отработанными панелями №1 и №3 в зоне ПГД. Отработанные панели №1 и №3 с замкнутыми куполами сдвижения оказались заполненными «газовыми мешками», по границе которых вели проходку подготовительных горных выработок блока №2. В момент окончания нарезных работ (после сбойки 5 вост. конвейерного штрека К-12 в 12 часов 20.02.1978г.) произошло загазирование ранее пройденных выработок. Газ из выработанных пространств отработанных панелей №1 и №3 через трещины поступил в действующие горные выработки, где создались условия образования взрывоопасной концентрации метана [9]. В результате произошла катастрофа - взрыв метана, унесшая жизни 76 горняков.

6) Необходимо категорически исключить популярную ранее «концентрацию горных работ» - отработку сразу нескольких пластов на одном блоке шахтного поля, так как это ведет к возникновению крайне опасных ситуаций и ГДЯ, которые происходили, например, на шахтах им. Ленина и «Саранская».

7) С увеличением площади очистной выемки увеличивается объем купола обрушения. По вертикали купол ограничивается очередным крепким слоем породы-моста до его обрушения. При формировании куполов обрушения определяющую роль играют углы полных сдвижений. В результате полного

сдвижения до поверхности весь объем над очистным пространством теряет свои природные упругие свойства и становится безопасным для дальнейшей отработки оставшихся угольных пластов свиты. Зона ПГД вокруг очистной выемки исчезает после того, как сдвижение дойдет до земной поверхности с образованием трещин.

8) При выборе и назначении оптимальных параметров лав необходимо рассматривать разрез вкрест простирания угольного пласта (по падению) с целью определения объема купола обрушения. Основным показателем безопасности отработки лавы является прогноз объема метана, который зависит от размеров очистной выемки, геологического строения толщи массива, физико-механических свойств горных пород и их природной газообильности. Знание прогнозных данных отработки выемочного участка позволит еще на стадии проектирования заранее определить наиболее опасные места (точки обрушения и сопутствующие им объемы метановыделения), а также прогнозный объем метана в целом на данном выемочном поле.

9) Отработка выбросоопасных пластов требует обязательного проведения профилактических мероприятий. Следует иметь в виду, что бурение дегазационных скважин из подготовительного забоя также может инициировать выброс, так как скважины (особенно большого диаметра) ослабляют массив, а при бурении возникают динамические нагрузки. С одной стороны дегазация пласта скважинами снижает давление газа, разгружает от напряжений массив - создается безопасная зона, разгруженная от напряжений и давления газа (при условии эффективной работы скважин). А с другой стороны – приближает к опасной зоне, т.е. уменьшает величину безопасного целика за счет ослабления массива из-за большого количества пробуренных скважин.

10) При подходе лавы к точке обрушения необходимо приостановить работы в проходческих забоях, находящихся в зоне влияния, особенно при подходе к опасным участкам, геологическим нарушениям, зонам ПГД.

Разработка единой теории данных процессов позволит прогнозировать и предотвращать горные удары и внезапные выбросы путем выявления опасных участков, правильной организации и планирования горных работ. Выполненные исследования могут оказаться полезными для обеспечения безопасных условий работы горных предприятий и предупредить будущие катастрофы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгоносов В.Н., Пак Г.А., Дрижд Н.А., Алиев С.Б., Низаметдинов Ф.К. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. Караганда, изд-во КарГТУ, 2012. – 214 с.

2. Пак Г.А., Дрижд Н.А., Долгоносов В.Н. Методика расчета шагов обрушения основной кровли и прогноз газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна. - Безопасность труда в промышленности, № 10, 2010г, Москва, С. 31 – 34.

3. Шпаков П.С., Пак Г.А., Долгоносов В.Н. Взаимосвязь шагов обрушения основной кровли и интенсивности газовыделения на шахтах «Сокурская» и «Саранская» Карагандинского бассейна. Научно-технический и производственный журнал «Маркшейдерия и недропользование». № 6, ноябрь-декабрь 2009, - Москва, С. 70 – 72.

4. Фармер Я. Выработки угольных шахт. – М., «Недра», 1990. – 269 с.

5. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа // Министерство энергетики и угольной промышленности РК, – 1995. – 92 с.

6. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа // МУП СССР, М. – «Недра». – 1977. – 159 с.

7. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во литературы по горному делу, 1961. – 364 с.

8. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. - М.: Недра, 1981. – 288 с.

9. Обстоятельства и причины аварий, произошедших на шахтах Карагандинского угольного бассейна (1978 – 2004 гг). – Караганда, ЦНТИ, 2004.

© В.Н. Долгоносов, Г.А. Пак, О.В. Старостина,
Е.В. Долгоносова, Е.В. Кайгородова, 2013

УДК 528.541

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО НИВЕЛИРА DiNi03 ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОВТОРНОГО ВЫСОКОТОЧНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Виктор Александрович Скрипников
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, доцент кафедры инженерной геодезии и информационных систем, тел. (382)343-29-55, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Маргарита Александровна Скрипникова
Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, ведущий инженер кафедры инженерной геодезии и информационных систем, тел. (382)343-29-55

В статье приведены результаты нивелирования по осадочным маркам на плотине Новосибирской ГЭС. Даны рекомендации по разработке методики измерения превышений с учётом внешних условий.

Ключевые слова: цифровой нивелир, гидротехническое нивелирование, внешние условия измерений.

EXPERIENCE OF DIGITAL LEVEL DiNi03 APPLICATION FOR REPEATED PRECISE HYDROENGINEERING LEVELING

Viktor A. Skripnikov
Assoc. Prof., Department of Engineering Geodesy and Information Systems, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (383) 3432955, e-mail: v.a.skripnikov@ssga.ru

Margarita A. Skripnikova
Lead engineer, Department of Engineering Geodesy and Information Systems, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, phone: (383) 3432955

The results of leveling by settlement marks on Novosibirsk hydroelectric dam are presented. Recommendations on the techniques for height difference determination with regard to environmental conditions are given.

Key words: digital level, hydroengineering leveling, environmental conditions of leveling.

В настоящее время для определения осадок гидротехнических сооружений применяется в основном высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами. Применение высокоточных цифровых нивелиров для нивелирования позволяет, при благоприятных условиях для измерений, получить высокую точность определения отметок осадочных марок. Однако влияние вибрации и сильных электромагнитных полей при выполнении измерений цифровым нивелиром не позволяет в ряде случаев получить необходимую точность измерений [1]. Комбинация неблагоприятных факторов для каждого объекта

индивидуальна, и дать какие-либо точные рекомендации для исключения этих влияний практически невозможно. Но, поскольку схема нивелирной сети на ГЭС не меняется от цикла к циклу, причём места установки нивелира и реек также постоянны, то существует возможность экспериментального подбора методики измерений, обеспечивающей необходимую точность.

При выборе модели цифрового нивелира для высокоточного нивелирования рекомендуется выполнить анализ практики применения этой модели. Измерения при высокоточном нивелировании рекомендуется выполнять по симметричной во времени программе наблюдений, которая позволяет контролировать не только оседание или выпучивание штатива и костылей, но и возможные промахи и влияние внешних условий измерений. При проектировании схемы ходов следует иметь в виду, что точность взятия отсчетов по рейке зависит от расстояний от нивелира до рейки [2,3].

Для определения осадок земляной плотины Новосибирской ГЭС было выполнено нивелирование II разряда с допусками для I разряда. Для нивелирования применялся нивелир DiNi03 и комплект из двух (№1 и №2) двухметровых реек с инварной полосой. Превышения определяли при двух горизонтах инструмента при прямом и обратном направлениях. Число станций в секции при нивелировании в прямом и обратном направлениях делали четным и одинаковым. Программа работ на станции нивелирования в 2012 году была следующая:

- нечетная станция $З_1$, $П_1$, $П_1$, $З_1$; $З_2$, $П_2$, $П_2$, $З_2$;
- четная станция $П_1$, $З_1$, $З_1$, $П_1$; $П_2$, $З_2$, $З_2$, $П_2$.

При нивелировании выдерживались следующие допуски и контроли:

- вычисляли и сравнивали значения превышений из наблюдений на одном горизонте инструмента, разность между ними не должна была превышать 0,2 мм;
- вычисляли и сравнивали средние значения превышений из наблюдений при первом и втором горизонтах инструмента, разность между ними не должна была превышать 0,2 мм;
- вычисляли и сравнивали средние значения превышений из наблюдений прямого и обратного хода, разность между которыми не должна была превышать 0,3мм $\sqrt{n}$ (n - количество станций в ходе);

При выполнении измерений учитывались следующие неблагоприятные для нивелирования факторы:

1) безоблачная погода в течение всего светового дня;
2) высокая температура воздуха (не ниже 30°С);
3) вибрация от движущегося по плотине автотранспорта;
4) влияние электромагнитных полей линии ЛЭП 220 Кв.

Поскольку выполнялись повторные измерения, то технические характеристики хода были известны заранее. Общая длина хода 4.0 км. Число станций нивелирования - не менее 100. Ход прокладывался от куста реперов на правом берегу р. Обь до куста реперов на левом берегу.

Выполненный в CREDO DAT 3.0 предрасчёт показал, что средние квадратические погрешности определения отметок осадочных марок и реперов в ходе при применении DiNi03 не превысят 0,5 мм, что не превышает допустимого значения (0,7 мм).

Ось плотины ориентирована с запада на восток, поэтому безоблачная погода не позволяла выполнять нивелирование утром и вечером из-за засветки объектива нивелира и бликов полотна рейки. Измерения в ночное время на плотине были запрещены. Для устранения засветки прибор устанавливался, где это было возможно, на значительном удалении от створа между марками. Расстояние от нивелира до реек не превышало 25 метров.

Из-за высокой температуры воздуха и практически полного отсутствия ветра на трассе была значительная вертикальная рефракция, особенно вдоль асфальтовых и бетонных покрытий. Для уменьшения влияния рефракции визирный луч ориентировался вдоль площадок с растительностью, и высота его на землёй была не менее одного метра. Кроме того разность расстояний от передней и задней рейки на станции не превышала 0,3 м. Для уменьшения влияния температуры измерения в течение дня заканчивались на грунтовом репере, а не на осадочном марке, заложенной в бетонном ограждении. Время измерения превышения на станции было минимально возможное.

Известно, что вибрация штатива оказывает большое влияние на точность нивелирования цифровым нивелиром [4]. Поэтому значительные трудности при выполнении нивелирования доставлял постоянно движущийся по плотине автотранспорт. Расстояние от реперов до автодороги составляло 5-7 метров. Вибрация основания под ножками штатива иногда не позволяла выполнять измерения или разность превышений превышала допустимые значения. Для повышения точности измерений в программе измерений было установлено трёхкратное взятие отсчёта по рейке с вычислением среднего значения. Допуск, в программном обеспечении нивелира, на погрешность измерений устанавливался 0,3 мм. Под ножки штатива устанавливались резиновые подкладки. Взятие отсчётов по рейке выбиралось в отсутствии вблизи движения тяжёлых грузовиков. В необходимых случаях значительно уменьшалось расстояние от нивелира до реек (до 7-10 м) или выполнялось контрольное измерение превышений уровенным оптическим нивелиром.

Большая часть нивелирного хода расположена под проводами ЛЭП 220 Кв. Электромагнитное поле оказывает заметное влияние на электронную часть цифрового нивелира [1]. Исключить это влияние на отсчёт по рейке невозможно. При выполнении работ учитывалось, что при параллельном расположении линии визирования и проводов ЛЭП влияние электромагнитной рефракции на отсчёты по задней и передней рейкам, при минимальном различии расстояний от нивелира до реек, будет одинаковым. При повторном нивелировании нивелир должен устанавливаться в одно и тоже место. Контрольные измерения превышений под проводами ЛЭП уровенным и компенсационным оптическими нивелирами показами, что различия превышений, полученных этими нивели-

рами и превышений, измеренных DiNi03, не превышали установленных допусков.

Результаты предварительных вычислений и результаты уравнивания показали хорошее качество измерений в ходе. Невязка в ходе составила 1.0 мм при 106 станциях нивелирования. Средняя квадратическая погрешность отметки наиболее удаленной марки относительно фундаментальных реперов по результатам уравнивания составила 0,6 мм.

До 2010 года измерения выполнялись оптическими нивелирами. В 2010 году измерения выполнялись цифровым нивелиром DiNi03 прямо и обратно при двух горизонтах по следующей программе работ на станции:

- нечетная станция $З_1$, $П_1$, $П_2$, $З_2$;
- четная станция $П_1$, $З_1$, $З_2$, $П_2$.

Анализ данных нивелирования за 2010 и 2012 годы показал, что заметного повышения точности определения превышений и отметок реперов за счёт увеличения количества измеренных превышений на станции при одном горизонте инструмента по программе измерений 2012 года не отмечено.

В заключении следует отметить, что опыт применения цифрового нивелира DiNi03 показал, что в сложных условиях измерений этим нивелиром можно получать высокую точность измерений при более высокой производительности труда по сравнению с оптическими нивелирами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочетов Ф. Г. Визирный луч нивелира в магнитном поле / Ф. Г. Кочетов, Г. Н. Сухов, Э. Ф. Кочетова // Геодезия и картография. 1999. – № 10. – С. 4 – 17.

2. Визиров Ю. В. Особенности метрологического обслуживания цифровых нивелиров / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалев, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2002. – № 8. – С. 17 – 22.

3. Уставич Г. А. Технология выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами // Геодезия и картография. – 2006. – № 2. – С. 3 – 6.

4. Ашраф А. Бешр. Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами [Текст] / А. Бешр Ашраф, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых, М. Е. Рахымбердина // ГЕО-Сибирь-2010: сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010., Новосибирск. - Новосибирск: СГГА, 2010 - Т.1, ч. 1. – С. 28-33.

© В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова, 2013

УДК 622.271

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ПРИКОНТАКТНЫХ ЗОН РУДНЫХ ТЕЛ

Ерик Кабдулкакович Нуржумин
Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина, 010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Победы, 62, д.т.н., профессор кафедры геодезии, тел. (8-7172)317-547, факс: (8-7172)316-072, e-mail: agun.katu@gmail.com

Тулеген Турсунович Ипалаков
Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070004, Республика Казахстан, ВКО, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова А.К., 69, д.т.н., профессор, проректор по науке и международным связям, член академии естественных наук, тел./факс (8-72-32)26-74-09, e-mail: kanc_ekstu@mail.ru

Жанат Зекеновна Толеубекова
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, к.т.н., доцент, кафедры маркшейдерского дела и геодезии, зам. директора по научной работе Горного института, тел. (7212)56-26-27, e-mail: jtoleubekova@mail.ru

Маржан Базарбаевна Игемберлина
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистрант, кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: igemberlina@mail.ru

Азиза Канатовна Асылбекова
Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистрант, кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: aziza.assylbekova@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы рационального использования геологогеометрических зависимостей между различными параметрами сложных выемочных участков по месторождению.

Ключевые слова: геометрический и вероятностно-статистический метод, интерполированный контур рудного тела, эмпирические коэффициенты.

DEPENDENCE BETWEEN THE PARAMETERS OF THE CONTACT ZONE OF ORE BODY

Erik K. Nurzhumin
Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan Republic, 010000, Astana, 62 Pobedy str. Full Doctor, Professor of the Department of Geodesy, tel. (8-7172)317-547, fax: (8-7172)316-072, e-mail: agun.katu@gmail.com

Tulegen T. Ipalacov
East Kazakhstan State Technical University. Kazakhstan Republic, 070004, Ust-Kamenogorsk, 69 Protozanova str. Full Doctor, Professor, Vice President for Science and International Affairs, Member of the Academy of the Natural Sciences., tel (8-72-32) 26-74-09, e-mail: kanc_ekstu@mail.ru

Janat Z. Toleubekova
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, assistant professor of “Mine survey and geodesy” department, PhD., tel. (7212) 56-26-27, Vice Director for Research of the Mining Institute, e-mail: jtoleubekova@mail.ru

Marzhan B. Igemberlina
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, Postgraduate student of “Mine survey and geodesy” department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: igemberlina@mail.ru

Aziza K. Assylbekova
Karaganda state technical university, Kazakhstan Republic, 100027, Karaganda, 56 Mira Blvd, Postgraduate student of “Mine survey and geodesy” department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: aziza.assylbekova@mail.ru

In article questions of the rational use of geological and geometrical dependencies between various parameters of complex excavation areas of the deposit.

Key words: geometric and statistical method, intercalary ore outline, empirical code.

При исследовании зависимостей между параметрами и особенностей структуры зон контактов при освоении месторождений используется комплексный метод, включающий геометрический и вероятностно-статистический методы, горногеометрический и корреляционный анализы с привлечением натурно-экспериментальных данных. Особенности структуры приконтактных зон рудных тел к сегодняшнему дню отражены в ограниченном круге исследований, направленных на решение конкретных локальных задач.

Геологическая контактная поверхность рудного тела формируется как поверхность, объемляющей концы промышленных рудных интервалов при построении разведочных линий пересечения. Часто рудные тела не имеют четких видимых контактов, которым присущи естественная природная форма, они оконтуриваются с помощью какого-либо способа с учетом требований промышленных кондиций, т.е. имеют искусственную расплывчатость, который и носит многообразный характер. При этом, рудным телам, как природному неоднородному выделению, присущи изменчивость, как по форме, так и по другим качественным геологическим свойствам. Интерполированный или экстраполированный контур рудного тела обычно имеет вид ломаных линий, многогранников и кривых овальной или полигональной формы. По мере сгущения разведочной сети и получения дополнительных информаций, в процессе добычи, этот интерполированный контур рудного тела будет иметь сложную зигзагообразную форму. Обычно, как правило, на одном и том же месторождении геометрия приконтактных неровностей может выражаться самыми разнообразными геометрическими фигурами. Более приближенной формой, получаемой при оконтуривании рудных тел путем интерполяции или экстраполяции, является многогранник, являющийся поверхностью высокого порядка и имеющий произвольную форму, обусловленную случайным характером расположения

разведочных скважин в рудном теле. Контуры промышленных рудных тел, построенные методами интерполяции или экстраполяции в соответствии с кондициями, хотя являются основой для проектирования горных работ, сопровождаются погрешностью, возникающей за счет отклонения интерполированного контура, и погрешностью, зависящей от изменчивости истинного контура.

Для исследования особенностей структур приконтактных зон залежей по стадиям освоения месторождений используется комплексный метод, включающий геометрический и вероятностно-статистический методы, горногеометрический и корреляционный анализ, натурно-экспериментальную обработку, выбор наилучших моделирующих функций и т.д.

Зависимость между параметрами приконтактных зон рудных тел и модальное описание их первостепенно необходимо для повышения качества и эффективности добычи полезного ископаемого. Рассмотрим ряд важных работ, направленных на решение этой теоретической задачи.

Бастан П.П., Ивченко А.Н., Дука В.В. [1] нашли связь между значениями линейного интервала оконтуривания и ширины зоны контактной неопределенности в виде:

$$t_{cp} = A\left(\frac{l}{2}\right)^n, \qquad (1)$$

где А и n – эмпирические параметры; l – линейный интервал оконтуривания, м; t_{cp} - среднее значение ширины зоны контактной неопределенности, м.

Здесь совокупность поверхностей многогранников, оконтуривающее рудное тело по данным разведочной сети и размещающиеся в некоторой зоне, окружающее рудное тело в виде определенной полосы, названа зоной контактной неопределенностей. Эмпирические коэффициенты выводятся по результатам изучения параметров зоны контактной неопределенности, длина интервала оконтуривания устанавливается как отрезок прямой при построении рудного тела и, обычно, равна густоте разведочной сети. Недостаткам этой работы, как отмечено в работе [2], являются: 1) основаны на данных об истинном контуре рудных тел, что не всегда можно установить, 2) не раскрыта составная часть зоны контактной неопределенности на внешние и внутренние части.

Аналогично зависимости (1) Трунов И.Т., Обухов В.Я. [3] вывели зависимости средней мощности зоны потерь и разубоживания (q) от величины окна сглаживания (l) в виде:

$$q = al^n, \qquad (2)$$

где a и n – эмпирические коэффициенты, которые связаны с характером и степенью изменчивости поверхности геологического тела, дол.ед.

Здесь величина окна сглаживания (l) характеризует технологическую поверхность, представляемую как результат сглаживания поверхности рудного тела при его зачистке полигональной кривой в стремлении как можно точнее

следовать за рудной поверхностью. Степень этого сглаживания определяется величиной статистического окна, которая определяется по данным маркшейдерских съемок.

В работе [4] подтверждается существование зависимости толщины зоны контактной неопределенности (t) от размеров оконтуривающих граней (x), в условиях силикатно-никелевых месторождений (u=0,90), описываемых в виде

$$t = Ax^n. \tag{3}$$

Эмпирический коэффициент n здесь, характеризует степень зависимости среднего отклонения t от размеров оконтуривания грани, т.е. наличие так называемых локальных закономерностей в распространении рудного контакта. При этом абсолютное значение его указывает на возможность оценки коллектива показателей с помощью статистических характеристик. Показатель $\frac{1}{n+1} = k_c$ характеризует ту долю объема зоны контактной неопределенности, которая обусловлена только случайными отклонениями поверхности контакта от оконтуривающей плоскости, т.е. этот показатель характеризует статистические свойства коллектива отклонения t. Чем меньше n, тем коллектив отклонений t статистичнее, он меньше зависит от размеров оконтуривающей грани. В зависимости от (2) коэффициент n зависит от частоты колебаний геологического контура, т.е. чем меньше малочастотных отклонений на изучаемом объекте, тем ниже значение n, а коэффициент *a* характеризует величину уклонения между поверхностями в пределах изучаемого объекта и увеличивается с увеличением уклонений.

В работе [5] авторы выделяют две части приконтурной полосы, т.е. приконтактной и законтактной части.

Средняя ширина приконтурной полосы равна суммарной ширине ее частей.

$$t_{пр} = t_{пр}^{P} + t_{пр}^{n}.$$

При этом ширина законтурной (потерянной) части определяется по формуле:

$$t_{пр}^{P} = \frac{L_n}{L_P} t_{пр}^{n}, \tag{4}$$

где L_P и L_n - суммарные рудные и породные интервалы по периметру интерполированного контакта рудного тела, м; $t_{пр}^{P}$ и $t_{пр}^{n}$ - средняя ширина законтактной и приконтактной частей приконтурной полосы, м.

В работе [6] показатель контактной неопределенности, определяемый как отношение площади зоны проблемности к общей площади четырехугольного блока, используется для решения вопроса об отнесении запасов к той или иной категорий разведанности (по фактору точности построения границ кондиции).

Зона проблемности, это такая зона, в пределах которой запасы могут оказаться как кондиционными, так и некондиционными и рассматривается как мера достоверности выделенных границ кондиций.

Гальянов А.В. и др. авторы [7], в качестве критерия для оценки степени достоверности оконтуривания запасов, предлагают использовать соотношение между разведанной площадью S_P и той ее частью, которая заключена между внешними и внутренними контурами (межконтурная зона - $S_{мкз}$).

$$K_{ok} = 1 - \frac{S_{мкз}}{S_P} = 1 - \frac{tP}{S_P}, \qquad (5)$$

где K_{ok} - коэффициент достоверности оконтуривания рудных тел; P - периметр контуры, разделяющего руду от вмещающих пород и породных включений в рудном теле, м; t – ширина межконтурной зоны, м.

Вышеприведенные результаты, приведенные различными исследователями, подтверждают о существовании прямых зависимостей между параметрами приконтактных зон рудных тел, несмотря на установление зависимостей в этих работах изучено комплексно, а не по отдельным параметрам приконтактных зон. При допущении, что конфигурация приконтактных неровностей рудной поверхности достаточно близко подходит к какой-либо форме правильных геометрических фигур (треугольника, многогранника, сегмента конуса и т.д.), геометрическим элементам этих геометрических фигур, как правило, присуща функциональная зависимость.

Поэтому при выявлении и аналитическом описании геологогеометрической зависимостей между параметрами залежей весьма важное значение имеет ожидаемая достоверность результатов их использования для конкретных задач освоения недр. Случайность и независимость образования приконтактных неровностей рудной поверхности обуславливает случайность и многообразность отклонения конфигурации приконтактной неровности от правильной геометрической формы. Следовательно, для установления взаимосвязи параметров приконтактных зон не могут быть использованы формулы, выраженные функциональной зависимостью, а будет правильным использовать для этой цели корреляционный анализ.

Применение вероятностно-статистического метода для оценки и аналитического описания распределения и взаимосвязи параметров приконтактой зоны рудных тел обуславливается многообразием форм контактов, разнообразностью направления горных выработок относительно геологической поверхности контактов и сложностью процесса трансфомации рудного контакта после взрыва.

Линник Ю.В. и Хусу А.П. [8] впервые доказали возможность использования вероятностно-статистического метода для оценки шероховатости поверхности детали, путем проверки амплитуды ее неровностей на независимость и случайность с помощью критерий Аббе.

Применение вероятностно-статистического подхода к оценке геометрических параметров поверхностей деталей и механизмов освещено в работах И.В. Дунин-Барковского, Х.В. Кордонского, П.Е. Дьяченко, В.И. Меламеда, Ю.Р. Виттенберга [9,10].

Некоторые принципы вероятностно-статистического подхода, изложенные в вышеприведенных работах, были использованы для оценки потерь и разубоживания руд [3], для оценки рудной предохранительной рубашки по мощности и площади по зоне контактной неопределенности [9], для оконтуривания месторождений по мощности и по площади с выявлением случайной и закономерной составляющих изменчивости структурных и качественных показателей [10].

Вероятностно-статистические методы интенсивно используются при подсчете запасов полезных ископаемых, при оценке погрешностей оконтуривания залежи и влияния контурных искажений на потери и разубоживания руд [11].

Погрешность приконтурных искажений вызывает потери и разубоживание и характеризует ошибку пространственной привязки интерполированного контура относительно фактического положения рудного тела.

Зенков Д.А., Семенов [11] показали, что величина погрешности приконтурных искажений, при наличии 20 и более разведочных пересечений, составляет порядка 10%. При этом наибольшие отклонения показателей сетки 12,5х12,5м сетки 6х6м относительно сетки 3х3м, составляет 9 и 7,5% соответсвенно. Хотя частные значения приконтурного искажения значительны (6,3-41,5%), общая погрешность оконтуривания для статистического блока составляет всего 3,5%.

В работе [12] автор, для определения ошибок интерполирования (расстояний между переменными), предлагает формулу в виде:

$$И_{ф} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} \left|\Delta^2\right|}{2k}, \qquad (6)$$

где $\sum_{i=1}^{i=k} \left|\Delta^2\right|$ - сумма численных значений вторых разностей показателя; k - число вторых разностей.

Обоснованность использования первых и вторых разностей для оценки ошибок оконтуривания автором теоретически доказывается с помощью интерполяционного полинома Ньютона.

В работе [2] полная ошибка определения объема отдельного рудного блока из-за оконтуривания плоскостями, в случае одинаковой закономерности распространения поверхности контакта в висячем и лежачем боку рудного тела, выражена статистической формулой в виде:

$$\Delta V = \sqrt{2}\,\frac{a^2 t}{n+1}, \qquad (7)$$

где a^2t=v – полный объем зоны приконтактной неопределенности, ограниченной разведочной ячейкой со стороной *a*, при средней ее толщине t, м; n – эмпирический коэффициент, дол.ед.

Гнусков В.П. [13], для определения погрешности интерполирования, предлагает использовать зависимость

$$m_u = 0.289ht,$$

где h – размер ячейки разведочной сети; t – коэффициент вероятности.

Выводы

1. При изучении структур приконтактных зон залежей и зависимостей между их параметрами почти на всех стадиях освоения месторождения, включая и оценок оконтуривания запасов руд, основным методическим подходом служит вероятностно-статистический метод.

2. По сегодняшний день отсутствует обобщенная теоретико-методологическая методология модельного описания и рационального использования геологогеометрических зависимостей между различными параметрами сложных выемочных участков по месторождению.

3. Основным недостатком присущих известным способом оценки и описания зависимостей при изучении геометрии сложных зон выемки запасов недр является не учитываемость в них точности составляющих их исходных величин, полное пренебрежение к достоверности получаемых результатов при использовании этих зависимости при решении поставленной горной задачи. Этот недостаток особенно важным и недопустимым становится по мере ужесточения современных производственно-рыночных требований к продукциям и интенсивного роста рыночных нововведений в сфере недропользования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бастан П.П., Ивченко А.Н., Дука В.В. Анализ изменчивости формы залегания рудных тел и качества руд Сарбайского месторождения. Труды СГИ, вып.46, Свердловск, 1966.

2. Загоруйко Г.К. Влияние ошибок оконтуривания на точность подсчета запасов на никелевых месторождениях. Труды СГИ, вып.76, Свердловск, 1976.

3. Трунов Н.Т., Обухов Я. Вероятностно-статистический метод оценки потерь и разубоживания на карьерах. Сб.: Вопросы рационализации маркшейдерской службы на горных предприятиях. – Свердловск: вып.76, 1971. – с.41-45.

4. Снетьков В.Н., Якупов С.И. Методика расчета мощности предохранительной «рубашки» при открытой разработке россыпных месторождений. Сб.: Исследования по проблемам геодезии и маркшейдерского дела на горнодобывающих предприятиях Восточной Сибири. Вып.1. – Иркутск: ИПИ, 1976. – с.87-90.

5. Асадуллин Э.Э., Киндер Э.К. Приконтурные искажения и их влияние на полноту выемки. В сб.: Научные труды СредазНИИпроцветмета «Интенсификация технологических процессов на горнорудных предприятиях цветной металлургии», №19. – Ташкент, 1977. – с.46-47.

6. Шаклеин С.В. Показатель контактной неопределенности и его применение. В сб.: Геологические методы поисков и разведки месторождений горных ископаемых. – М.: ЭИ, ВИЭМС, 1981, вып.1-4. – с.36-38.

7. Гальянов А.В. и др. Оценка достоверности оконтурирования силикатно-никелевых месторождений среднего и южного Урала при разведочных работах. В сб.: Вопросы рационализации маркшейдерской службы на горных предприятиях. – Свердловск: 1977. – с.68-71.

8. Линник Ю.В., Хусу Л.Ю. Некоторые соображения по поводу статистического анализа поверхностей шлифованного профиля. Сб.: Взаимозаменяемость, точность и метод измерения в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. – с.65-69.

9. Дунин-Барковский И.В. Применение теории вероятности и спектральной теории неровностей поверхности для расчета допустимых значений геометрических параметров при функциональной взаимозаменяемости. Сб.: Взаимозаменяемость и техника измерений в машиностроении. – М.: Машиностроение, №4, 1964. – с.36-38.

10. Хусу А.П. Математическо-статистическое описание неровностей профиля поверхности при шлифовании. – М.: Сб.АН СССР, т.XX, 1954. – с.41-44.

11. Зенков Д.А., Семенов Н.Л. Векторный метод оконтуривания тел полезных ископаемых «Разведка и охрана недр», №7, 1957.

12. Пязок Р.А. О взаимосвязи полноты извлечения полезных ископаемых с оконтуриванием месторождений. Труды Всесоюзной научной конференции «Научно-технические проблемы комплексного использования полезных ископаемых». Алма-Ата, «Наука», 1984, с.45-52.

13. Гнусков В.П. Оценка точности оконтуривания площадей рудных залежей. Труды ЛГИ, вып.3, Ленинград, 1978.

© Е.К. Нуржумин, Т.Т. Ипалаков, Ж.З. Толеубекова,
М.Б. Игемберлина, А.К. Асылбекова, 2013

УДК 622

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА МУГУНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Светлана Семеновна Тимофеева
Национальный Исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, профессор, зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, (3952)405671, e-mail: timofeeva@istu.edu

Ирина Александровна Карпова
Национальный Исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914) 8992136, e-mail: bgtc@irk.ru

В статье рассматриваются вопросы по оценке современного состояния пылегазового загрязнения атмосферного воздуха на объектах открытой разработки месторождений полезных ископаемых, на примере Мугунского буроугольного месторождения.

Ключевые слова: Угольный разрез, атмосферный воздух, пылегазовые выбросы.

ENVIRONMENTAL LOAD COAL MINE MUGUNSKY ON THE AIR

Svetlana S. Timofeeva
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, Head. Chair, Department of Industrial Ecology and Life Safety, (3952) 405671, e-mail: timofeeva@istu.edu

Irina A. Karpova
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, senior teacher, department of Mine surveying and Geodesy, tel. (914) 8992136, e-mail: bgtc@irk.ru

The questions to assess the current state of dust and gas air pollution at the sites of open-pit mining, the example Mugunskogo lignite deposits.

Key words: coal mine, air, dust and gas emissions.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых происходит значительное загрязнение атмосферы пылегазовыми выбросами, как в рабочей зоне, так и на прилегающей территории горнорудных поселений. Пылегазовые выбросы представляют собой совокупность тонко дисперсных частиц (SiO_2 от долей мкм до 100 мкм) и газов: оксида углерода (CO), диоксид азота (NO_2), серы диоксид (SO_2) и др. Загрязнение атмосферы наносит существенный ущерб качеству окружающей среды, оказывает негативное влияние на здоровье работающего персонала и население, проживающее вблизи горнорудных поселений. Интенсивность пылегазовых загрязнений атмосферного воздуха зависит от совокупности следующих факторов: от используемых технологиче-

ских и технических процессов, применяемого оборудования на подготовительных, вскрышных и добычных работах; природно-климатических условий района ведения открытых горных работ.

За десятилетия в Иркутской области накоплен ценнейший опыт разработки угольных месторождений открытым способом. Успешно внедряются в производство новейшая техника, применяются передовые высокопроизводительные технологии горно-подготовительных и добычных работ.

Вместе с тем, разрабатываются экологические аспекты угледобывающего производства, вопросы охраны окружающей природной среды, оценки экологических последствий деятельности угледобывающих предприятий, а также экологические риски в целом связанные с угледобычей, как для природной среды, так и для здоровья людей.

Обострение экологических проблем в Иркутской области, в том числе связанных с добычей угля на разрезе «Мугунский», требует постоянного мониторинга состояния природной среды. Предприятия угольной промышленности оказывают существенное отрицательное влияние на здоровье человека. Не секрет, что открытая добыча угля, ее перегрузка и транспортировка вызывают загрязнения атмосферы. В общей доле выбросов в атмосферу разреза «Мугунский» основную массу занимают взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода.

В настоящей работе предпринята попытка оценить влияние Мугунского угольного разреза на атмосферный воздух.

Мугунское буроугольное месторождение разведано в 1965 году. Его доразведка производилась в периоды с 1983 по 1991 год, а так же с 2000 по 2006 годы. Месторождение характеризуется простым геологическим строением, имеет неправильную форму с извилистым контуром. Длина месторождения достигает 30 км, ширина колеблется от 3 до 15 км (средняя – 9 км), площадь распространения составляет 270 км^2.

До 2010 года горные работы на ПУ "Мугунский" велись по бестранспортной системе разработки. В 2010 году ОАО "Востсибгипрошахт" выполнил проектную документацию "Технические решения по организации передового транспортного уступа на Западном блоке ПУ "Мугунский" филиала "Разрез "Тулунуголь" ООО "Компания "Востсибуголь". В результате, на Западном эксплуатационном блоке был организован передовой транспортный уступ высотой 10 м по слабым четвертичным породам. Породы передового уступа автосамосвалами транспортируются на внутренний и внешний бульдозерные отвалы. В ближайшие 5-10 лет передовые транспортные уступы предусматривается организовать и на Восточном и Центральном эксплуатационных блоках.

Отработка карьерного поля ПУ "Мугунский" производится тремя эксплуатационными блоками: Западным, Центральным и Восточным.

Отработка Западного эксплуатационного блока осуществляется по комбинированной системе разработки. Передовой транспортный уступ на Западном блоке до 2016 года предусматривается отрабатывать оборудованием ПУ "Му-

гунский" и подрядной организации. С 2016 года ведение вскрышных работ по транспортной схеме намечается только оборудованием ПУ "Мугунский".

По мере дальнейшей отработки карьерного поля ПУ "Мугунский", с ростом мощности вскрышной толщи, передовые транспортные уступы предусматривается организовать кроме Западного блока, также на Центральном и Восточном эксплуатационных блоках. Мощность вскрышной толщи, отрабатываемой по транспортной схеме, также по мере подвигания горных работ увеличивается с 10 до 20÷25 м

Вскрышные породы транспортируются на внешние и внутренние отвалы.

Вывозимые по транспортной схеме автосамосвалами вскрышные породы, представлены в основном четвертичными отложениями (относятся к потенциально-плодородным породам) и размещаются в верхней части отвалов, что будет способствовать произрастанию древесных культур при проведении биологической рекультивации нарушенных земель для лесного хозяйства.

По состоянию на 01.01.2011 г. балансовые запасы чистого угля в границах карьерного поля ПУ "Мугунский" составляли 302464 тыс. т., в т.ч. категорий А – 132676 тыс. т., В – 109471 тыс. т., C_1 – 60317 тыс. т.

ПУ "Мугунский", как и каждое горнодобывающее предприятие, осуществляющее открытую разработку месторождения полезных ископаемых, оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Неблагоприятное воздействие угольного разреза на атмосферу связано с особенностью технологического процесса: вскрытием естественного почвенного покрова, изъятием и перемещением вскрышных пород, добычей угля и отгрузкой его потребителю. Главная особенность угледобывающего предприятия – наличие большого числа передвижных и неорганизованных источников.

Основными источниками образования и поступления мелкодисперсной пыли в приземный атмосферный воздух служат:

- буро-взрывные, добычные, погрузочно-разгрузочные работы;
- пылящие поверхности породных, угольных уступов и свежеотсыпанных отвалов по мере высыхания естественной влаги;
- планировочные работы при горнотехнической рекультивации;
- сдувание частиц пыли с поверхности груженого углем состава при движении.

При работе карьерной техники, автотранспорта, тепловозов, а также от вспомогательного транспорта, выполняющего перевозку материалов и оборудования, будет происходить загрязнение воздуха окислами азота и углерода, углеводородами, сажей [1-3].

Распределение выбросов пыли на анализируемом предприятий при добыче угля, транспортировке горной массы, формировании отвалов, от действующих и недействующих отвалов приведено на рис. 1-3.

Таким образом, расчетами и экспериментальными замерами установлено, что экологическая нагрузка на атмосферу при штатном режиме работы предприятия составляет 28,4; 38,2 и 18,3 тонн/год при отработке на западном, цен-

тральном и восточном блоках. Для минимизации экологической нагрузки при выполнении основных технологических операций необходимо применять методы пылеподавления, среди которых можно рекомендовать обработку специальными реагентами.

Рис. 1. Количество пыли, выбрасываемой в атмосферу, на площадке № 9-Западный блок

Рис. 2. Количество пыли, выбрасываемой в атмосферу, на площадке № 10-Центральный блок

Рис. 3. Количество пыли, выбрасываемой в атмосферу, на площадке № 11-Восточный блок

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программа "Горные работы", реализующая "Методику расчета выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей)", Люберцы, 1999 г.

2. "Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное)", НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 2005 год.

3. "Отраслевая методика расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу вредных веществ предприятиями по добыче и переработке угля", Пермь, 2003 г.

© С.С. Тимофеева, И.А. Карпова, 2013

УДК 622.1:528.4

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Вероника Валерьевна Вальдман
Национальный Исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, аспирантка, инженер НИЧ I категории, тел. +7 (983) 245-60-25, e-mail: v-valdman@yandex.ru

В статье описывается возможность использования беспилотного летательного аппарата для целей воздушного лазерного сканирования промышленных территорий, а также иных территорий среднего размера, доступных ранее только при больших затратах и более длительных циклах работ.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БЛА), вертолёт, воздушное лазерное сканирование.

POSSIBLE USE UNMANNED AIRCRAFT FOR AIRBORNE LASER SCANNING INDUSTRIAL AREAS MINING ENTERPRISES

Veronika V. Valdman
National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov, Irkutsk, 664074, Russia, postgraduate, department of Mine surveying and Geodesy, engineer Department of Research, tel. +7(983)245-60-25, e-mail: v-valdman@yandex.ru

The article describes the use of unmanned aircraft for airborne laser scanning of industrial areas, and other areas of medium size, previously only available at high cost and longer cycles.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV), helicopter, airborne laser scanning.

Широким кругам известно, что беспилотные летательные аппараты (БЛА) изначально создавались для военных целей, где успешно и реализовывались в последние десятилетия. Однако с 2000-х годов, так называемые, «микробеспилотники» начали применять и в сугубо гражданских целях, область их применения весьма обширна: от сельского хозяйства и строительства до нефтегазового сектора и сектора безопасности. Помимо этого беспилотники постепенно начинают осваивать сектор геодезических работ, а впоследствии и маркшейдерского дела. Со временем БЛА становятся идеальным решением для аэрофотосъёмки промышленных территорий, а также иных территорий средних размеров, которые ранее были доступны только по более высокой цене и при более длительных циклах работ.

В мире представлено большое количество гражданских БЛА классификации «микро» и «мини», различающихся по своим спецификациям и набору характеристик (назначение, вес, размер, продолжительность и высота полета, система запуска и приземления, наличие систем автопилотирования и навигации,

формат фото- и видеосъемки и др.). Однако все эти беспилотники, какими бы они ни были, преимущественно способны поднимать в воздух лишь цифровые видеокамеры, в виду их малого веса. Это приводит к тому, что конечные пользователи несправедливо ограничены возможностями одной лишь аэрофотосъёмки, которая, безусловно, является достойным методом, однако же, на мой взгляд, обладает рядом отрицательных черт по сравнению с технологией воздушного лазерного сканирования [1,2].

К преимуществам ВЛС перед обычной аэрофотосъемкой можно отнести точечную модель высокой плотности, а также возможность получения деталей рельефа даже под пологом густого леса. Это обеспечивается более чем одним числом отражений от наземных объектов для каждой линии визирования. То есть если на своем пути лазерный луч сталкивается с неполным препятствием, то часть энергии импульса отражается, а другая распространяется дальше вдоль линии визирования. Таким образом, один импульс может принести сразу несколько откликов от объектов местности. Первые отклики будут получены за счет отражений от листвы, проводов и опор ЛЭП, зданий. Последний отклик, как правило, соответствует поверхности земли или другой сплошной поверхности, являющейся абсолютным препятствием на пути распространения лазерного импульса.

Одними из первых решение насущной проблемы – интеграцию беспилотного летательного аппарата с воздушным лазерным сканером, инерциальной и навигационной системой – предложили сотрудники кафедры маркшейдерского дела и геодезии НИ ИрГТУ и наши зарубежные партнёры швейцарская конструкторская фирма Aeroscout GmbH [4], которые и предоставили вертолёт, способный поднять в воздух 18 кг полезной нагрузки, см. рис. 1.

На самом деле перед конструкторами стояла большая задача – облегчить все детали БЛА, исключить лишние элементы, а также минимизировать вес полезной нагрузки. Решение по «облегчению» судна было предложено конструкторами, а мы в свою очередь предложили минимальную по весу комплектацию полезной нагрузки.

Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат Scout B1-100 с полезной нагрузкой на борту

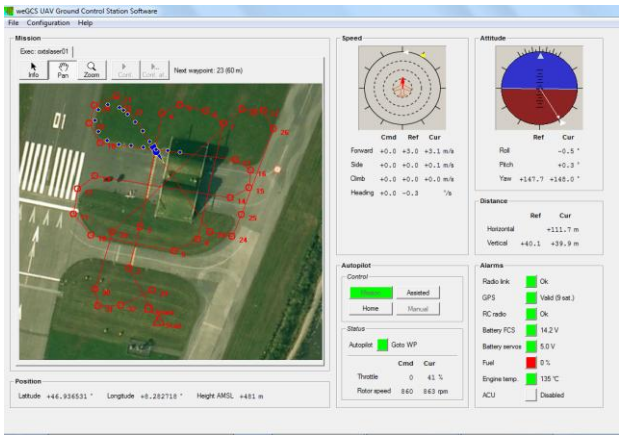


Рис. 2. Планирование миссии беспилотника на компьютере

Этот беспилотный летательный аппарат контролируется пилотажно-навигационным комплексом INS/GPS, а также может работать в режиме высокой манёвренности с управлением при помощи джойстиков.

Управление осуществляется в трёх режимах:

• Mission mode – планирование миссии на компьютере (рис. 2), полностью автоматический режим полёта.

• Assisted mode – вертолёт «зависает» в воздухе в режиме автопилота, а пилот уже задаёт ему направление: вперёд-назад, влево-вправо, вверх-вниз), полуавтоматический режим.

• Manual mode – ручное управление (управление полностью находится в руках пилота, всё зависит от его опыта и сноровки).

Ещё раз стоит отметить бесспорные плюсы в применении лидарной съёмки с беспилотника:

• лёгкость транспортировки;

• не требует наличия аэродромов и взлетно-посадочных полос;

• возможность использования в плохих метеоусловиях, которые не считаются оптимальными для выполнения объемной фотограмметрии (ветер, дождь, низкая облачность), можно использовать даже часовой разрыв тумане;

• можно использовать в тёмное время суток;

• получение истинного рельефа даже под кронами деревьев;

• определение местоположения и формы объектов сложной структуры;

• высокая точность и детальность получаемых цифровых данных;

• низкая себестоимость единицы продукции;

• высокая производительность – до 10 км^2 в день.

Первые пробные съёмки с беспилотника Scout B1-100 с воздушным лазерным сканером на борту уже были успешно проведены в г. Люцерн, Швейцария (см. рис. 3, 4). Результаты сканирования полностью удовлетворяют заявленным требованиям [3]. Следующим этапом мы планируем использовать данную технологию для съёмки промышленных территорий горнодобывающих предприятий на просторах нашей родины.

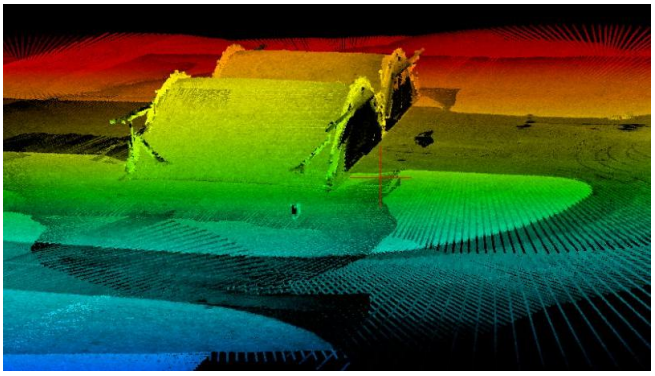


Рис. 3. ВЛС ангара с беспилотника. Облако точек без калибровки и оптимизации

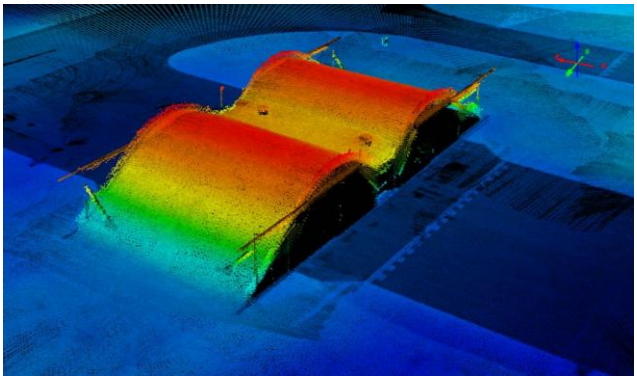


Рис. 4. ВЛС ангара с беспилотника. Обработанные данные для визуализации

Учитывая описанное выше, на сегодня стало доступным и экономически обоснованным привлечение такой технологии в маркшейдерские съёмки в рамках одного карьера. С помощью такого беспилотного вертолета, возможно, отсканировать все труднодоступные и недоступные участки при производстве горных работ: борта карьеров, оседающие отвалы породы, сложные конструктивные элементы зданий и сооружений, включая ГОКи и т.д., словом, те места, которые прежними методами снять с достаточной точностью, было практически невозможно, поскольку нахождение на этих объектах опасно для здоровья и жизни исполнителя. Однако на данный момент остаётся множество нерешённых вопросов касающихся применения данной технологии, которые могут быть разрешены только после её детального изучения и неоднократного практического использования на промышленных территориях. К таким вопросам можно отнести: определения высоты полёта, применительно к конкретным условиям местности и объектам съёмки, определение необходимой плотности точек лучей лазерных отражений в настройках воздушного лазерного сканера, а также многое-многое другое, что может быть выявлено в процессе эмпирической эксплуатации этой беспилотной воздушной сканирующей системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охотин А.Л., Соболев А.В. «Опыт применения лидарной съемки в горном деле» // Материалы IV Международного конгресса «Гео-Сибирь-2008». – г. Новосибирск, 2008 г.

2. Охотин А.Л. «Революционные результаты применения лазерного сканирования в горном деле» //Материалы международной научно-практической конференции «Южная Якутия - новый этап индустриального Развития». – г. Нерюнгри, 2007 г.

3. Оглоблин Д.Н. «Маркшейдерское дело», Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Недра, 1981 г. Интернет ресурсы:

4. Официальный сайт компании AeroScout [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.aeroscout.ch/

© В.В. Вальдман, 2013

УДК 622

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Владимир Борисович Тальгамер
Национальный Исследовательский Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, инженер НИЧ, тел. 8-914-899-21-37, e-mail: talgamer@baigeo.ru

В статье рассмотрены проблемы и решения внедрения программных комплексов применяемых для проектирования горных предприятий.

Ключевые слова: проектирование, интесификация разработки проектов, программный комплекс.

MODERN DESIGN TECHNIQUES MINING

Vladimir B. Talgamer
National Research Irkutsk State University, Irkutsk, ul. Lermontov 83, 664 074, Russia, Engineer Research Department, tel. 8-914-899-21-37, e-mail: talgamer@baigeo.ru

The problems and solutions deployment of Software used for design of mining enterprises.

Key words: design, intesifikatsiya project development, software package.

Проектирование горных предприятий – это разработка комплексной технической документации (проекта), содержащей технико-экономические обоснования, расчёты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для строительства (реконструкции) предприятия и эксплуатации месторождения полезных ископаемых.

Начальный этап проектирования горных предприятий включает, комплексные геологоразведочные, гидрогеологические и технологические исследования, результаты которых используются в качестве исходных данных для создания проекта. Результаты геологоразведочных работ с подсчетом запасов рассматриваются и утверждаются Государственной или территориальной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ, ТКЗ).

При разработке проектов горных предприятий руководствуются законами, указами, решениями правительства, а также нормативными актами по проектированию и строительству (реконструкции), в т.ч. государственными стандартами, нормами технологического и строительного проектирования, общесоюзными, Российскими и ведомственными каталогами строительных конструкций и изделий, каталогами на оборудование, приборы и др.

Проект на строительство (реконструкцию) горных предприятий или их очередей, разрабатываемый при двухстадийном проектировании, состоит из пояснительной записки с комплексом чертежей, сметной документации, спецификаций на оборудование, материала и паспорта проекта. В общей пояснительной записке содержатся исходные данные для проектирования; краткая харак-

теристика объекта; данные о сырьевой базе (геологическая часть). Пояснительная записка содержит также краткую характеристику района и площадки строительства; решения и показатели по генеральному плану, внутриплощадочному и внешнему транспорту с определением грузооборота и выбором транспортных средств; решения по инженерным сетям и коммуникациям; мероприятия по восстановлению (рекультивации) земельного участка и использованию плодородного слоя почвы с обоснованием объёмов работ и методов их выполнения. Приводятся также основные проектные решения, направленные на комплексное и рациональное применение полезных ископаемых, отходов производства, вторичных энергоресурсов при выпуске продукции, а также на рациональное и экономное использование трудовых, материальных и энергетических ресурсов в строительстве с указанием удельных показателей их расхода на 1 т добываемого полезного ископаемого (или на единицу создаваемой мощности) и на 1 млн рублей строительно-монтажных работ и сравнение с лучшими мировыми достижениями и показателями, установленными в задании на проектирование. В пояснительной записке приводятся сведения о предусматриваемых мероприятиях по охране окружающей природной среды, включая данные, характеризующие естественные состояние водоёмов, атмосферного воздуха и почвы, сведения о количестве и качестве сточных вод и выбросов в атмосферу, а также отходов, не утилизируемых в производстве; расчётные данные, характеризующие эффективность принимаемых мероприятий и проектируемых сооружений.

К каждому из разделов проекта составляются соответствующие чертежи, главными из которых являются схемы вскрытия и подготовки карьерного поля, схемы горных выработок по основным рабочим пластам, схемы вентиляции, генеральный план промышленной площадки, общие виды и разрезы зданий и сооружений. Если для осуществления принятых в проекте технических решений необходимо выполнять научно-исследовательские, экспериментальные или опытные работы, в материалах проекта даётся перечень с краткой характеристикой и обоснованием необходимости выполнения этих исследований и работ [1,2].

Часть работ по проектированию можно упростить переложив работу на автоматизированные програмные комплексы, основное приемущество которых - это вычисление горно-геометрических параметров.

Работа современного горнодобывающего предприятия сегодня практически не представляется без использования программных комплексов. Это касается всех сфер его деятельности: экономики, финансов, кадров и производства. Специфика работы горных предприятий накладывает определенный отпечаток на используемое программное обеспечение. На многих предприятиях уже применяются программные продукты для основных задач горного производства, в первую очередь – наиболее трудных для практической реализации – горно-геометрических. Среди них в большинстве своем – программные продукты иностранных фирм-разработчиков: Datamine, Micromine, Gems, Vulcan и пр. Эти системы являются интегрированными горными пакетами и позволяют автоматизировать большинство горно-геометрических расчетов. С их помощью можно оптимизировать технологические процессы разработки месторождения,

добычи и транспортирования пород, повысить производительность труда работников. Но при внедрении подобных систем в производство возникают множество проблем, а именно: английский язык пользовательского интерфейса, сложности с многопользовательским режимом работы в едином информационном пространстве (работа с промышленными базами данных (БД)), удаленность разработчика, что сказывается на качестве обслуживании системы и пр. Кроме того, подобные программы ориентированы на стандарты горного производства, несколько отличные от отечественных, что требует значительных доработок, вплоть до полной переработки функций [2,3]. В последнее время на рынке появляется достаточное количество программных продуктов отечественных производителей: Программный комплекс МАЙНФРЭЙМ, НЕДРА, K-MINE, CREDO и др. Они в большей степени удовлетворяют Российским стандартам и ГОСТам, и предложены в основном на русском языке. Но зачастую програмные комплексы Российских производителей имеют меньшую гибкость и функциональность по сравнению с зарубежными.

Исходя из собственного опыта работы с некоторыми програмными комплексами, можно выделить следующее: первое, что волнует нового пользователя при внедрении ПО это удобство и простота его освоения. Следующим фактором можно отметить функциональность продукта, которая раскрывается в процессе его освоения. Немаловажной особенностью является возможность работы с другими приложениями и конвертации форматов, так как различные отделы предпочитают привычные им программы и приложения (рис. 1).

Рис. 1. Функциональная схема комплекса компьютерных программ для горнодобывающего предприятия

Данным требованиям в достаточно полной мере удовлетворяет програмный комплекс Carlson software. Компания Carlson Software специализируется на разработке программного обеспечения, используемого в геодезии, проектиро-

вании, горном деле уже около 40 лет. Разработчики стараются делать инструменты автоматизации максимально простыми в использовании. Программное обеспечение имеет модульную структуру, т.е. для решения различных задач используются специальные модули. Все модули являются приложениями для AutoCAD/AutoCAD Civil 3D, а также могут устанавливаться со встроенным редактором DWG файлов IntelliCAD, что значительно уменьшает стоимость рабочих мест. Благодаря простоте предлагаемых инструментов одновременно с большими функциональными возможностями, это ПО используется многими компаниями, как за рубежом, так и в нашей стране [5].

Тем не менее и у данного комплекса существует множество недостатков. Необходимые требования для ПО, которое претендует на лидирующее место в РФ изложены ниже:

1 Програмный комплекс должен быть сертифицирован на соответствие требованиям действующих нормативных документов;

2 Алгоритмы рассчётов должны быть описаны в руководстве к ПО для возможного анализа;

3 Условные обозначения графической документации должны соответствовать ГОСТам;

4 Должны иметься готовые шаблоны по оформлению карт и планов для различных масштабов, соответсвующие ГОСТам;

5 Должна присутствовать многоформатность используемых приложений и возможность импорта/экспорта для популярных программ таких как word, excel, AutoCAD.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний день, полностью отвечающего всем требованиям российского потребителя, програмного модуля ещё нет. Пользователю приходится выбирать продукт наиболее подходящий для его работы, адаптированный к ГОСТам и нормативам, с более широким функционалом либо адаптированные под наиболее популярные продукты и приложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаренко М.В., Хоменко С.А., НПП «КРИВБАССАКАДЕМИНВЕСТ», Украина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kai.com.ua/novosti/sovremennye-informatcionnye-tekhnologii-v-gornom-dele

2. Горная энциклопедия, © 2008—2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mining-enc.ru/p/proektirovanie-gornyx-predpriyatij/

3. Назаренко В.М. Автоматизированная система моделирования, оценки запасов месторождений и управления горными работами на базе геоинформационной системы K-MINE / В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко // Журнал "ТИТАН". – №3. – 2009.

4. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.

5. Carlson software - О программном комплексе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eft-soft.ru/Carlson_software/?tpl=1

© В.Б. Тальгамер, 2013

УДК 528.4

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РАЗБИВОЧНОЙ ОСНОВЫ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Владимир Александрович Кошелев
ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Краснодарский край, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, д. 16а, начальник геодезической службы, тел. (812)331-53-36 доб. 2561, e-mail: Vladimir.Koshelev@roing.com

Константин Сергеевич Карлин
ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Краснодарский край, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, д. 16а, ведущий инженер, тел. (812)331-53-36 доб. 2561, e-mail: Konstantin.Karlin@roing.com

Анна Петровна Чахлова
Сибирская государственная геодезическая академия, аспирант по направлению 25.00.32 - «Геодезия»; ООО «Росинжиниринг Строительство», 354392, Краснодарский край, г. Сочи, Адлерский район, с. Эсто-Садок, ул. Ачипсинская, д.16а, инженер-геодезист. тел. (812)331-53-36 доб. 2561 e-mail: Anna.Chahlova@roing.com

В статье рассмотрены проблемы создания геодезической разбивочнойосновы в условиях горной местности на примере строительства канатных дорог г.Сочи, ГТЦ «Газпром».

Ключевые слова: геодезическая разбивочная основа, горная местность, канатные дороги.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE BUILDING NETWORK IN THE CONDITIONS OF MOUNTAIN DISTRICT

Vladimir A. Koshelev
Open Company «RosengineeringStroitelstvo» 354392 Krasnodarskykray, Sochi, Adler area, with. The Esto-Sadok, street Achipsinsky, 16a, the chief of geodetic service. tel. (812)331-53-36 ext. 2561 e-mail: Vladimir.Koshelev@roing.com

Konstantin S. Karlin
Open Company «RosengineeringStroitelstvo» 354392 Krasnodarskykray, Sochi, Adler area, with. The Esto-Sadok, street Achipsinsky, 16a, the leading engineer. tel. (812)331-53-36 ext. 2561 e-mail: Konstantin.Karlin@roing.com

Anna P. Chahlova
Siberian State Geodetic Academy, the post-graduate student in a direction 25.00.32 - "Geodesy"; Open Company «RosengineeringStroitelstvo» 354392 Krasnodarskykray, Sochi, Adler area, with. The Esto-Sadok, street Achipsinsky, 16a, the engineer-geodesist, tel. (812)331-53-36 ext. 2561 e-mail: Anna.Chahlova@roing.com

In article problems of creation of a geodetic marking basis in the conditions of mountain district on an example of building of rope-ways of Sochi are considered, MTC “Gazprom”.

Key words: a geodetic marking basis, mountain district, rope-ways.

В настоящее время при развитии курортов Северного Кавказа встает вопрос о внедрении опыта ведения геодезических работ, полученного при строительстве крупнейших в России и уникальных в мире пассажирских подвесных канатных дорог (ППКД). Основной из задач данного вопроса становится развитие геодезической разбивочнойосновы (ГРО) на площадке строительства ППКД с точностью, способной обеспечить строительство канатных дорог в соответствии с заданными точностными показателями согласно [1], [2], либо техническими условиями, заданными проектом.

Постараемся в данной статье раскрыть проблемы развития ГРО и основные пути их решения на примере строительства ППКД, которые были выполнены специалистами группы компаний «РОСИНЖИНИРИНГ» в г.Сочи.

Основные геометрические параметры канатных дорог (КД) – расстояние, перепад высот между соседними опорами, верхней и нижней станциями канатной дороги. В среднем общая протяженность ППКД составляет 2-3 км, длина пролета между соседними опорами в среднем составляет – 200-300 м, перепад высот между верхней и нижней станцией приблизительно 700-1800 м, между соседними опорами может варьироваться от нескольких десятков сантиметров до десятков метров.

Согласно [1] отклонения от проектных размеров не должны превышать значений, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые отклонения положения фундаментов от проектных

Замеряемые величины и отклонения	Значение допускаемого отклонения, мм
Параллельное смещение продольной оси фундамента станции или опоры относительно разбивочной оси канатной дороги при значении меньшего пролета L	0,0005 L, но не более 50
Непараллельность продольной оси фундамента относительно разбивочной оси канатной дороги: станции линейной опоры	 3 мм на 1 м 6 мм на 1 м, но не более 20 на длину фундамента
Отметки верха фундаментов отдельно стоящих станций и опор при сумме значений примыкающих пролетов до 200 м	50, на каждые дополнительные 100 м +10 мм
Расстояние между анкерными болтами одного узла: при полностью залитых болтах	 5
Длина выступающей части анкерного болта	+20

Но согласно проекта, разработанного организацией “Doppelmayer” – основного поставщика оборудования канатных дорог, были приняты допуски, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые отклонения положения фундаментов от проекта

Замеряемые величины и отклонения	Значение допускаемого отклонения, мм
Отклонение в плане вдоль оси канатной дороги	±50
Отклонение от оси дороги в поперечном направлении	20
Отклонение отметок верха фундамента	±30
Наклон в верхней плоскости фундамента	0.5°

Отсюда, расчетное значение СКО δΣ планового положения, в соответствии с [3], следует принять согласно формуле (1):

$$\delta\Sigma = K*\Delta V = 0.4 \text{ x } 2 \text{ см} = 0.8 \text{ см} \quad (1)$$

где К – коэффициент точности, ΔV – предельное отклонение. В суммарной погрешности δΣ должны быть учтены ошибки разбивочной геодезической сети, ошибки работ по выносу в натуру от разбивочной сети проектных точек и ошибки строительных и монтажных работ. Исходя из принципа равных влияний, получаются такие значения для отдельных составляющих δΣпланового положения:

- не более 4,6мм для погрешности геодезической разбивочной сети;
- не более 4,6мм для погрешности работ по выносу в натуру проектных точек;
- не более 4,6мм на погрешность строительных и монтажных работ, что соответствует полигонометрии 4 класса.

В небольших пределах можно изменить эти значения в пользу отдельных составляющих.

Для достижения точности выноса опор по высоте при ΔH=±3 см получаться значенияδΣвысотного положения:

- не более 6,8мм для погрешности геодезической разбивочной сети;
- не более 6,8 мм для погрешности работ по выносу в натуру проектных точек;
- не более 6,8 мм на погрешность строительных и монтажных работ, что соответствует III классу нивелирования.

При развитии ГРО были рассмотрены следующие факторы:

1. Слабая геодезическая изученность района работ. Недостаточная плотностьпунктов ГГС в районе строительства.
2. Залесенность участков строительства.

3. Значительный перепад высот (500-2000м) между верхней и нижней станциями, что подразумевает пересеченность местности.

4. Ограниченный временной диапазон благоприятных условий для производства работ (световой день, перепад температур и давления в одни и те же моменты наблюдений на разных высотах, вертикальная и горизонтальная рефракция, погодные условия).

Наряду с наличиеместественных факторов рассмотрим проблемы, возникающие на подготовительных этапах строительства, когда необходимо обеспечить создание строительной сети.

Основными этапами подготовительных работ при строительстве канатных дорог в горной местности является: свод леса в границах планируемой застройки; снятие плодородно-растительного грунта (ПРС), устройство временных подъездных дорог. Данные подготовительные этапы, в свою очередь, исключает возможность предварительного создания геодезической разбивочной основы на стадии подготовки строительства, т.к. пункты в результате данных этапов могут быть утеряны. Кроме того, принадлежность большинства участков к Национальному парку и заповедникам согласно [4], [5]подразумевает под собой согласование проекта освоения лесов на объект строительства с уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти. Это в свою очередь так же препятствует проведению каких-либо работ по предварительному геодезическому обеспечению будущей площадки строительства, в том числе прокладки тахеометрических ходов, вырубке визирок. Так же сам подготовительный этап строительно-монтажных работ предполагает, что значительная часть (около 70%) пунктов будет уничтожена по разным причинам, что повлечет за собой повторное развитие геодезической разбивочной основы, которое, как результат, выльется в недопустимые экономические и временные издержки.

В результате вышеописанных факторов и практического опыта, при развитии ГРО для обеспечения строительства ППКД в районе ГТЦ «Газпром» было установлено, что классические методы развития ГРО (полигонометрия, триангуляция, геометрическое нивелирование), не позволяют в данных условиях в короткие сроки обеспечить требуемую точность. При длине канатных дорог 2-3 км, и перепаде высот до 2000 м количество переходных станций в полигонометрических / тахеометрических ходах при недостаточном наличии пунктов ГГС недопустимо. Кроме тогоспутниковое нивелирование не может быть выполнено из-за того, что поверхность геоида не определена для горной местности Северного Кавказа. В связи с этим было принято решение использовать для планового определения пунктов спутниковую аппаратуру, т.к. погрешность измерения приращений плановых координат ±(3мм+1ммх D(км)), а для высотного обеспечения – тригонометрическое нивелирование. Данные методы определения обеспечивают точность полигонометрии 4класса,1 разряда инивелирования IIIкласса.

Основные факторы, оказывающие влияние на выполнение GPS-наблюдений:

- залесенная пересеченная местность, что препятствует прохождению лучей,

- облако спутников не постоянно,

- временные рамки для обеспечения благоприятных условий (4-5 часов в сутки) так же ограничены за счет перекрытия горизонта самими горами,

- возникает многолучевость сигнала в результат наличия большого количества естественных отражающих поверхностей.

- угол возвышения препятствий более 25°.

Методика спутниковых определений заключается всдвоенных сеансах синхронизированных наблюдений тремя приемниками JAVADTriumph-1 продолжительностью от 1 до 3 часов в режиме статики. Проводилось 2 цикла наблюдений с изменением высоты приемников.По результатам уравнивания сети были получены ошибки планового положения пунктов в среднем не грубее 10 мм.

Для развития высотного обоснования производилось тригонометрическое нивелирование прибором SOKKIASET 530 RK3. По методике измерений длина плеча при наблюдениях не превышала 60 метров, что позволяло избежать влияния горизонтальной и вертикальной рефракции на разных высотах. Измерения производились синхронными наблюдениями в прямом и обратном направлениях по линии нивелирования. Было выполнено 2 приема измерений. По результатам уравнивания величина невязки составила 10 мм. Результирующая точность сопоставима с точностью III класса геометрического нивелирования.

Так же рассмотрим методику закрепления пунктов строительной сети, которая была принята для строительства канатной дороги.

Склоны молодых гор Северного Кавказа являются дресвяно-щебенистыми с суглинистым заполнителем с содержанием древесины и щебня до 50%.Из-за невысоких фильтрационных свойств, слои задерживают в себе воду.В результате таяния снегов и осадков грунты становятся неустойчивым и имеют тенденцию к оползанию. Кроме того в результате техногенного влиянияданные породы грунтов подвержены эрозийнымпроцессам и деформации грунтов (подтверждено геологическими изысканиями). В свою очередь это предполагает не только выбор места закрепления пунктов ГРО, но и наличие условий для их восстановления, в случае утраты. В связи с этим в районе каждой опоры канатной дороги были закреплены 3 пункта, так как при равномерном оползании грунтов при переопределении пары пунктов ошибка dX, dY может быть не выявлена, третий пункт позволяет проконтролировать данные процессы и предупредить возможность появлениягрубых ошибок при выносе осей в натуру. Так же от исходных пунктов строительной сети вне границ производства работ, приблизительно в 10-15 м от нее, закрепляют рефлекторные марки. Данные мероприятия позволят так же контролировать оползневые и деформационные процессы грунтов в районе закрепления пунктов ГРО. При этом марки размещаются с таким учетом, чтобы была обеспечена их долговременная сохранность (выступы коренных скальных пород, временные пункты грунтового заложения и т.п.).

В результате выполненных работ было установлено, что принятая методика развития ГРО комбинированными способами позволяет получить заданную

точность геометрических параметров возводимых сооружений канатных дорог в соответствии с требованиями нормативно-технической литературы [1], [2], в том числе проектом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 413-80 Инструкция по монтажу подъемно-транспортного оборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.tehlit.ru/1lib_norma_doc/9/9606/index.htm

2. СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве.[Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://cert.obninsk.ru/gost/1512/1512.html

3. ГОСТ 26433.0-85 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.vashdom.ru/gost/264330-85/

4. Лесной кодекс Российской Федерации (с изменениями на 28 июля 2012 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://docs.cntd.ru/document/902017047

5. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 4 марта 2013 года).[Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://docs.cntd.ru/document/901919338

© В.А. Кошелев, К.С. Карлин, А.П. Чахлова, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. *А.С. Щербаков, Д.Ю. Першин.* Улучшение точности местоположения одночастотных ГНСС приёмников при помощи инерциальных датчиков 3

2. *А.Г. Малков.* О целесообразности применения спутниковых систем при межевании земель 8

3. *А.С. Аникин, А.Н. Тимофеев.* Переход на местную систему координат Новосибирской области и использование постоянно действующих станций на территории Новосибирской области для работы в ней 9

4. *В.В. Щербаков.* Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС 14

5. *Н.К. Шендрик.* К точности положений пунктов ПДБС Новосибирской области в государственной системе координат и высот 21

6. *Ю.В. Сурнин.* О применении в геодезической практике России международной терминологии к понятиям «система координат» и «координатная основа» 28

7. *И.А. Бунцев, В.М. Жидов.* Проверка актуальности проектов по ремонту железнодорожного пути с использованием спутниковой геодезической аппаратуры 37

8. *В.М. Жидов, А.С. Пикалов, П.М. Секачев.* Результаты испытаний системы автоматизированного управления на базе ГНСС для электробалластера 40

9. *В.В. Щербаков, В.М. Жидов.* Применение ГНСС оборудования при определении длины рельсов 43

10. *А.В. Елагин, Н.А. Телеганов.* Приведение ГНСС-измерений к центру пункта посредством решения пространственных геодезических задач 46

11. *И.А. Бунцев, В.П. Славкин.* Системы координат и цифровые модели для систем автоматического управления на базе ГНСС при проведении модернизации на ЗСЖД 52

12. *В.В. Яхман.* Комбинированный метод создания городской геодезической основы 56

13. *К.М. Антонович, Н.С. Косарев.* О расходимости кодовых и фазовых ГНСС псевдодальностей 60

14. *А.В. Антипов, А.В. Карасюк.* Применение аппаратно-программного комплекса «Профиль» при капитальном ремонте железнодорожного полотна 67

15. *А.А. Струков.* Определение положения одного пункта в общеземной системе координат лучевым и сетевым способами по ГНСС-измерениям 72

16. *В.А. Падве.* Линейная регрессия и «коэффициент корреляции» 78
17. *В.И. Кугаевский.* Применение наземных лазерных сканеров при фасадных съемках 82
18. *Д.А. Вальдман.* Применение сканирующих систем в трехмерном моделировании дорожно-транспортных происшествий 86
19. *М.А. Алтынцев, Е.С. Анцифиров.* Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования 90
20. *В.А. Середович, М.А. Алтынцев.* Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов 96
21. *М.В. Петров.* Опыт использования мобильной системы лазерного сканирования LYNX Mobile Mapper M1 для решения задач проектирования ремонта автомобильных дорог 101
22. *А.С. Троян.* Определение оси дороги по данным лазерного сканирования 107
23. *В.Д. Хан, В.И. Кугаевский.* Сравнительный анализ точности геодезических работ при их выполнении с помощью БПЛА «Gatewing x100» и наземной сканирующей установки «Riegl VZ-1000» 111
24. *Ж.А. Хорошилова.* О возможности построения математических моделей инженерных объектов по данным лазерного сканирования 116
25. *А.А. Токин, А.А. Токин.* Мониторинг деформаций подземных горных выработок с помощью лазерных сканирующих систем 120
26. *А.А. Деговцов.* Устройство и программное обеспечение мобильного лазерного сканера АПК «Сканпуть» 124
27. *А.В. Середович, Е.И. Горохова, О.А. Ситуха.* Определение геометрических параметров элементов опор ЛЭП с использованием наземного лазерного сканирования 128
28. *В.А. Середович, А.В. Иванов.* Исследования точности измерений, выполненных наземным лазерным сканером..... 134
29. *А.Н. Яшнов, В.А. Середович, А.В. Иванов.* Методика определения перемещений пролетного строения моста в процессе его надвижки с применением наземного лазерного сканера в г. Новосибирске 144
30. *С.Н. Бабаев.* Технология мониторинга открытых горных работ с применением беспилотного летательного аппарата 151
31. *И.С. Калинченко.* Анализ устойчивости реперов, используемых для наблюдений за деформациями зданий и сооружений в южной зоне распространения многолетнемерзлых грунтов 155
32. *Д.Г. Ребров, С.О. Гриднев.* Применение спутниковых навигационных систем в глубоких карьерах, подземных горных выработках 160
33. *С.Б. Ожигина, Д.С. Ожигин, А.З. Капасова, А.В. Гапий.* Мониторинг состояния устойчивости борта разреза в зоне бестранспортной отработки вскрыши 164
34. *Ф.К. Низаметдинов, С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина.* Управление устойчивостью прибортовых массивов карьеров 169

35. *О.Г. Бесимбаева, Е.Н. Хмырова, Р.Р. Ханнанов, Н.А. Зинченко.* Частотные наблюдения автомобильного моста в городе Караганда 174

36. *В.Н. Долгоносов, Г.А. Пак, О.В. Старостина, Е.В. Долгоносова, Е.В. Кайгородова.* Основные положения методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами угольных шахт 180

37. *В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова.* Опыт применения цифрового нивелира DINI03 при выполнении повторного высокоточного гидротехнического нивелирования 189

38. *Е.К. Нуржумин, Т.Т. Ипалаков, Ж.З. Толеубекова, М.Б. Игемберлина, А.К. Асылбекова.* Зависимость между параметрами приконтактных зон рудных тел 193

39. *С.С. Тимофеева, И.А. Карпова.* Экологическая нагрузка Мугунского угольного разреза на атмосферный воздух 201

40. *В.В. Вальдман.* Возможность использования беспилотного летательного аппарата для целей воздушного лазерного сканирования промышленных территорий горнодобывающих предприятий 206

41. *В.Б. Тальгамер.* Современные методы проектирования горных работ..... 210

42. *В.А. Кошелев, К.С. Карлин, А.П. Чахлова.* Особенности развития геодезической разбивочной основы в условиях горной местности..... 214

CONTENTS

1. *A.S. Shcherbakov, D.Yu. Pershin.* Improving accuracy of the location of single-frequency GNSS receiver with inertional sensors 3
2. *A.G. Malkov.* Feasibility of satellite systems application in land surveying 8
3. *A.S. Anikin, A.N. Timofeev.* Conversion to local coordinate system and using permanent base station in Novosibirsk region for working in them 9
4. *V.V. Shcherbakov.* The technology and devices for determining the geometrical parameters in the construction and operation of highways 14
5. *N.K. Shendrik.* Accuracy of points location of Novosibirsk region first-order stationary base stations in national system of coordinates and heights 21
6. *Yu.V. Surnin.* Application of Russian geodetic practice of the international language the concept of coordinate system and coordinate frame 28
7. *I.A. Buntsev, V.M. Zhidov.* Check of relevance of projects on track repair with use of the satellite geodetic equipment 37
8. *V.M. Zhidov, A.S. Pikalov, P.M. Sekachev.* Results of tests of system of automated management on the basis of GNSS for the electroballasting machine 40
9. *V.V. Shcherbakov, V.M. Zhidov.* Application of GNSS of the equipment at determination of length of rails 43
10. *A.V. Elagin, N.A. Teleganov.* Reducing GNSS-measurements to the center of the points by resolving space geodetic problems 46
11. *I.A. Buntsev, V.P. Slavkin.* Coordinate systems and digital models for automatic control based on GNSS during upgrade on ZSZD 52
12. *V.V. Yakhman.* Combine method of the construction of city geodetic base 56
13. *K.M. Antonovich, N.S. Kosarev.* About the divergency of the code and phase GNSS pseudoranges 60
14. *A.V. Antipov, A.V. Karasiyk.* Hardware-sofware system «Profile» application for railroad general overhaul 67
15. *A.A. Strukov.* Determination of the position of single point in common terrestrial coordinate system the radial method and the network method of GNSS-measurements 72
16. *V.A. Padve.* Linear regression and correlation coefficient 78
17. *V.I. Kugaevskii.* Application terrestrial laser scanners shooting in elevation 82
18. *D.A. Valdman.* The use of high-precision scanning systems in three-dumensional modeling of traffic accidents 86

19. *M.A. Altyntsev, Ye.S. Antsifirov.* Accuracy research of mobile laser scannning data adjustment 90
20. *V.A. Seredovich, M.A. Altyntsev.* Application of mobile laser scanning data for creation of topographic plans 96
21. *M.V. Petrov.* Experience of applying LYNX Mobile Mapper M1 laser scanning system for planning highway repair 101
22. *A.S. Troyan.* Determination of road axis by laser scanning 107
23. *V.D. Khan, V.I. Kugaevsky.* Analysis of the accuracy of geodetic works, with their execution by a uav «Gatewing x100» land and scanning settings «Riegl VZ-1000» 111
24. *Z.A. Khoroshilova.* Mathematical modeling of engineering structures by laser scanning 116
25. *A.A. Tokin, A.A. Tokin.* Deformation monitoring of underground mining with laser scanning systems 120
26. *A.A. Degovcov.* Device and software mobile laser scanner hardware-software complex «Scanway» 124
27. *A.V. Seredovich, E.I. Gorokhova, O.A. Situkha.* Determination of geometric parameters of transmission tower elements using terrestrial laser scanning 128
28. *V.A. Seredovich, A.V. Ivanov.* Research of terrestrial laser scanner measurements accuracy 134
29. *A.N. Yashnov, V.A. Seredovich, A.V. Ivanov.* Techniques for determining bridge span sliding displacement by terrestrial laser scanning in Novosibirsk 144
30. *S.N. Babaev.* Monitoring technology surface mining with unmanned aerial vehicles 151
31. *I.S. Kalinchenko.* Stability analysis frame, used to monitor the deformation of buildings and structures in the southern zone of permafrost 155
32. *D.G. Rebrov, S.O. Gridnev.* The application of satellite navigation systems in deep pits, underground of underground workings 160
33. *S.B. Ozhigina, D.S. Ozhigin, A.Z. Kapasova, A.V. Gapiy.* The monitoring of stability boards quarry in the area dragline mining method 164
34. *F.K. Nizametdinov, S.G. Ozhigin, S.B. Ozhigina.* The management of stability of rock massifs of open pits 169
35. *O.G. Besimbaeva, E.N. Khmyrova, R.R. Khannanov, N.A. Zinchenko.* Frequency observations of road bridge in Karaganda 174
36. *V.N. Dolgonossov, G.A. Pak, O.V. Starostina, E.V. Dolgonossova, E.V. Kaygorodova.* Main provisions of the methodology for geomechanical and gazodinamic monitoring of processes of coal mines 180
37. *V.A. Skripnikov, M.A. Skripnikova.* Experience of digital level DINI03 application for repeated precise hydroengineering leveling 189
38. *E.K. Nurzhumin, T.T. Ipalacov, Ja.Z. Toleubekova, M.B. Igemberlina, A.K. Assylbekova.* Dependence between the parameters of the contact zone of ore body 193

39. *S.S. Timofeeva, I.A. Karpova.* Environmental load coal mine Mugunsky on the air 201
40. *V.V. Valdman.* Possible use unmanned aircraft for airborne laser scanning industrial areas mining enterprises 206
41. *V.B. Talgamer.* Modern design techniques mining 210
42. *V.A. Koshelev, K.S. Karlin, A.P. Chahlova.* Features of development of the building network in the conditions of mountain district 214

Научное издание

IX Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2013

Международная научная конференция

ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ

Т. 3

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *Н.Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 18.04.2013. Формат 60 × 84 1/16
Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13,14. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел СГГА
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГГА
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 8.