

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

XII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2016

Международная научная конференция

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ**

Т. 2

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2016

УДК 528:528.9:622.1

С26

Ответственные за выпуск:

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

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

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

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

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апреля
2016 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск :
СГУГиТ, 2016. – 177 с.

ISBN 978-5-87693-913-5 (т. 2)

ISBN 978-5-87693-911-1

ISBN 978-5-87693-901-2

В сборнике опубликованы материалы XII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016», представленные на Международной научной конференции «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» (секции «Наблюдения техногенных и сейсмоопасных территорий и деформаций земной поверхности по данным геодезических, спутниковых, геофизических, гравиметрических и маркшейдерских измерений», «Современные ГНСС-технологии для сбора и обработки данных для решения задач устойчивого развития территорий», «Применение 3D моделирования для решения прикладных задач», «Геодезическо-маркшейдерский и геотехнический мониторинг и контроль за состоянием горнопромышленных и гражданских объектов и комплексов»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 978-5-87693-913-5 (т. 2)

ISBN 978-5-87693-911-1

ISBN 978-5-87693-901-2

© СГУГиТ, 2016

Сборник включен в систему РИНЦ.

Научное издание

ХII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2016

Международная научная конференция

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ**

Т. 2

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 13.04.2016. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 10,29. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плеханова, 8.

ТЕХНОЛОГИИ ПОДАВЛЕНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ

Жанат Зекеновна Толеубекова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (8-7212)56-26-27, e-mail: jtoleubekova@mail.ru

Рымгали Кумашевич Камаров

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, руководитель Центра актуальных методов и технологий обучения при КарГТУ, тел. (8-7212)56-26-19, факс. (8-7212)56-54-43, e-mail: ipk@kstu.kz

Айзада Зарлыковна Капасова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: asik_744562@mail.ru

Олжас Миржанович Тусупханов

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистр кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: olzhastm13@mail.ru

Назира Адамбековна Кудеринова

Государственный университет им. Шакарима, 100027, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А, кандидат технических наук, зав. кафедрой геодезии и строительства, e-mail: kudnazira@mail.ru

В статье рассмотрены технологии подавления серосодержащих газов с использованием физико-химических методов воздействия на ядовитые газы при ведении подземных горных работ. Установлены параметры разработанных технологий, области их применения.

Ключевые слова: серосодержащие газы, сероводород, сернистый газ, технология, газоносность, газовыделение, раствор.

SULFUR GAS SUPPRESSION TECHNOLOGY WITH USING PHYSICS-CHEMICAL METHODS IN COAL BASINS

Janat Z. Toleubekova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira Blvd, assistant professor of «Mine survey and geodesy» department, Ph. D., tel. (7212)56-26-27, e-mail: jtoleubekova@mail.ru

Rymgali K. Kamarov

Karaganda State Technical University, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira Blvd, Candidate of technical sciences, professor of Mining Department, Head of center of new methods

and technologies of education of KSTU, tel. (8-7212)56-26-19, fax. (8-7212)56-54-43, e-mail: ipk@kstu.kz

Aizada Z. Kapasova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira Blvd, assistant professor of «Mine survey and geodesy» department, Ph. D., tel. (7212)56-26-27, e-mail: jtoleubekova@mail.ru

Olzhas M. Tussupkhanov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira Blvd, M.S. in Geodesy of Cartography, «Mine survey and geodesy» department, e-mail: olzhastm13@mail.ru

Nazira A. Kuderinova

State university of Shakarim, 100027, Kazakhstan Republic, Semey, 20 A Glinki street, Candidate of technical sciences, miner of Geodesy and building department, e-mail: kudnazira@mail.ru

The article describes the parameters of sulfur gases suppression using physic-chemical methods on bad gases during underground mining. Technology's parameters and usage areas are defined.

Key words: sulfur gases, hydrogen sulfid, sulfur dioxide, technology, foulness, gassing, solution.

В угольных шахтах главными вредными примесями воздуха являются метан, ядовитые и взрывчатые газы (окись углерода, сероводород, сернистый газ, газы взрывчатых веществ и др.).

В Карагандинском бассейне выделение серосодержащих газов наблюдалось на шахтах «Молодежная», «Казахстанская», им. В.И.Ленина, «Шахтинская», «Гентекская», «Абайская», им. Т.Кузембаева и др. В настоящее время в бассейне отмечены так называемые сероводородные зоны, приуроченные к пласту д₆ долинской свиты и к пластам К₁₆, К₁₂, К₁₀ карагандинской свиты. Одновременно с сероводородом зафиксировано выделение сернистого газа [1].

Известно, что при концентрации сероводорода более 0,0071% по объему, т.е при 10-кратном превышении допустимых норм, одновременно может выделяться сернистый газ. Привыкнуть к воздействию сероводорода организм не может, наоборот, чувствительность его после перенесенных легких отравлений повышается даже при малых концентрациях, отравление наступает быстрее.

Обычно серосодержащие газы встречаются в пласте в виде «гнезд» с размерами в плоскости пласта от 150 до 600 м.

Без применения специальных мер борьбы с газовыделением содержание ядовитых газов при отработке угольных месторождений может превышать допустимые по ПБ концентрации в десятки и более раз, что оказывает острое токсическое воздействие на организм человека, снижает производительность

труда, ухудшает безопасность ведения горных работ, вызывая в отдельных случаях необходимость в остановке добычи угля.

Производительность комбайна в сероводородной зоне определяется по скорости подачи и надежности технологических процессов.

Предварительно находится расход воздуха Q_B для проветривания призабойного пространства для случая, когда нагрузка на лаву лимитируется газовым фактором (метаном):

$$Q_B = 60 v_{\max} S_{o.з}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (1)$$

где v_{\max} – максимальная по ПБ скорость движения по лаве, равная 4 м/с [2];

$S_{o.з}$ – сечение очистной выработки; для комплекса МК-75 при $m_{пл} = 2,2$ м $S_{o.з} = 3,9 \text{ м}^2$.

Следовательно, $Q_B = 60 \cdot 4 \cdot 3,9 = 936 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Так как на шахте «Казахстанская» метанообильность не сдерживает нагрузку на лаву, расход воздуха определяем также по минимально допустимой по пылевому фактору скорости воздуха ($v_{\min} = 0,9 \text{ м/с}$):

$$Q_B = 60 \cdot 0,9 \cdot 3,9 = 210 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

При оптимальной скорости движения струи ($v_{\text{опт}} = 1,6 \text{ м/с}$) расход воздуха составит: $Q_B = 60 \cdot 1,6 \cdot 3,9 = 375 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для малогазовых очистных забоев шахты «Казахстанская» характерны минимальные расходы воздуха ($Q_B = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$), однако в дальнейших расчетах при выборе альтернативных путей снижения концентрации сероводорода и повышения нагрузки на забой будут учтены все три значения.

В сероводородной зоне лимитирующим фактором является не метан, а концентрация сероводорода. По выделению сероводорода требуемое количество воздуха может быть найдено по формуле

$$Q_B = \frac{100 I_{np}}{C - C_o}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где I – максимальное (абсолютное) выделение сероводорода из призабойного пространства, $\text{м}^3/\text{мин}$; C – предельно допустимая концентрация газа (ПДК) в исходящей вентиляционной струе, $C = 0,00066 \%$ по объему; C_o – концентрация газа в поступающей струе, $C_o = 0$.

В отличие от метана выделение сероводорода в забое происходит не самопроизвольно, а при выемке и измельчении угля, т. е. в конкретные периоды времени, связанные с работой очистной машины или конвейера. Но так как основной объем H_2S выделяется именно при работе выемочной машины, концентрация сероводорода в зоне работы комбайна и определяет количество воздуха, требуемое для разбавления его до санитарной нормы. Поэтому формула (2) может быть представлена в виде

$$Q_B = \frac{q_{o.з} Q_{теор}}{C} 100, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (3)$$

где $q_{0.3}$ – относительная газообильность (по H_2S) очистной выработки, m^3/t ;
 $Q_{теор}$ – теоретическая производительность комбайна по данному пласту, $t/мин$;
 C – санитарная норма (ПДК = 0,00066 %) по сероводороду, %.

При известных значениях расхода воздуха Q_B формула (3) позволяет найти допустимую по сероводороду производительность комбайна в лаве и соответственно допустимую скорость подачи машины:

$$Q_{теор} = \frac{Q_B C}{100 q_{0.3}}, \text{ т/мин.} \quad (4)$$

В формуле (4) известную трудность представляет установление величины $q_{0.3}$ по H_2S . В работе И.П. Складенко, изданной в 1958 г. и являющейся более или менее систематизированным трудом по сероводороду, максимальная газоносность угля в пробе, подогретой до 100 °С, составила 5 - 6 $см^3$ на 100 г угля, т. е. 0,05 - 0,06 m^3/t [3]. Максимальная газоносность углей в Карагандинском бассейне зафиксирована на шахте «Казахстанская» и на шахте им. В.И. Ленина по нижнему слою пласта, тоже с подогревом) [4]. Отметим, что без подогрева пробы установить газоносность углей по H_2S невозможно. Такое содержание сероводорода в угле следует считать аномально высоким. Однако среднее значение газоносности по 70 пробам 5 шахт составило 0,07 m^3/t с подогревом и 0,00062 m^3/t – без подогрева. Таким образом, в горные выработки без подогрева угля выделяется незначительная часть сероводорода, составляющая в среднем по 70 пробам 0,88 % от общей газоносности по H_2S . Следовательно, в первом приближении для шахт Карагандинского бассейна можно принять $q_{0.3} = 0,00062 m^3/t$.

По шахте им. В.И. Ленина среднее значение газоносности по 35 пробам равно 0,0428 m^3/t , среднее газовыделение (естественное, без (подогрева) – 0,000486 m^3/t (1,14 %), значит, в среднем $q_{0.3} = 0,000472 m^3/t$ (по H_2S), тогда как максимум $q_{0.3} = 0,0053 m^3/t$. Итак, можно ожидать двенадцатикратное превышение уровня выделения сероводорода по лаве относительно среднего значения $q_{0.3}$.

Среднее для группы шахт газовыделение (H_2S) из очистного забоя составляет $q_{0.3} = 0,00062 m^3/t$, или 0,88 % от газоносности. Подставляя в формулу (3) численные значения $q_{0.3}$ и C , а также ожидаемый диапазон значений теоретической производительности комбайна $Q_{теор}$, имеем

$$Q_B = \frac{q_{0.3} Q_{теор}}{C} \cdot 100 = \frac{0,00062 (1+8)}{0,00066} \cdot 100 = 846, \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (5)$$

Анализ соотношения величин, входящих в формулу (5), приводит к важным выводам:

1. При постоянной величине расхода воздуха для проветривания очистного забоя ($Q_{0.3} = const$) уровень загазованности лавы по сероводороду зависит на 50 % от относительной газообильности $q_{0.3}$ по H_2S и на 50 % от минутной

производительности работающего комбайна $Q_{\text{теор}}$. Параметры $q_{0.3}$ и $Q_{\text{теор}}$ можно назвать режимными, так как они позволяют регулировать режим добычи угля в сероводородной зоне и санитарно-гигиенические условия труда.

2. При средней для группы шахт газообильности $q_{0.3} = 0,00062 \text{ м}^3/\text{мин}$ и минимальном расходе воздуха $Q_{\text{в}} = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$ производительность комбайна до 1,98 т/мин обеспечивает нормальные санитарные условия в лаве по сероводороду (до 1 нормы).

3. При средней для шахты «Казахстанская» газообильности по H_2S , равной $0,00147 \text{ м}^3/\text{т}$ по пласту d_6 , и минимальном значении $Q_{\text{в}} = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$ санитарная норма по H_2S обеспечивается при работе комбайна с производительностью не более 0,94 т/мин.

Согласно «Руководству по борьбе с пылью в угольных шахтах», число форсунок в оросительной системе должно быть таким, чтобы их суммарная производительность при требуемом давлении воды была равна расчетному расходу воды, определяемому из выражения

$$Q = Aq, \text{ л/мин}, \quad (6)$$

где Q – расчетный расход воды, л/мин; A – производительность горной машины, т/мин; q – удельный расход воды, л/т (орошение при работе выемочных и проходческих комбайнов $q = 30 - 40 \text{ л/т}$).

Форсунки должны быть расположены так, чтобы жидкое химическое вещество направлялось преимущественно в места разрушения горного массива (во вруб, на резцы комбайна).

Во время работы комбайна приготовленный раствор подается на форсунки, установленные на комбайне. При распылении раствора в атмосфере выработки, и особенно в зоне работы режущих органов комбайна, наряду с подавлением угольной пыли происходит контактирование серосодержащих газов с раствором сорбента, результатом которого является полная адсорбция серосодержащих газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физико-химические воздействия на серосодержащие газы при ведении подземных горных работ: Монография / Н.А. Дрижд, Р.К. Камаров, Т.К. Исабек, В.С. Портнов. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2013. – 186 с.
2. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М.: Недра, 1973. – 512 с.
3. Скляренко И.П. Сероводород в угольных шахтах и меры борьбы с ним. – М.: Углетехиздат, 1958. – 30 с.
4. Кривошеев В.О., Негруцуая Н.С., Преображенская Е.И. Способы борьбы с серосодержащими газами на шахтах Карагандинского бассейна: Эффективные способы дегазации угольных шахт // Труды ВостНИИ. – Кемерово: 1978. Т. 30. – С. 79 – 86.

© Ж. З. Толеубекова, Р. К. Камаров, А. З. Капасова,
О. М. Тусупханов, Н. А. Кудеринова, 2016

ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИУСТЬЕВОЙ ПЛОЩАДКЕ СКВАЖИНЫ № 104 УЧАСТКА САРЫ-УЗЕНЬ НА БЫВШЕМ СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ПОЛИГОНЕ

Алексей Михайлович Яковенко

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

Алик Хасенович Абишев

Институт геофизических исследований, 071100, Республики Казахстан, г. Курчатов, инженер-геодезист, тел. (722-51)2-31-46, e-mail: abishev@igr.kz.

Рассмотрено проведение геодезического мониторинга в районе приустьевой площадки ранее проведенного подземного взрыва, на примере скважины № 104 участка «Сары-Узень» бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона.

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

GEODETIC MONITORING WELL SITE WELLHEAD NUMBER 104 SITE SARY-UZEN ON THE FORMER SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE

Alexey M. Yakovenko

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

Alik H. Abichev

Institute of Geophysical Research, 071100, Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Meridian site, Engineer surveyor, tel. (722-51)2-31-46, e-mail: abishev@igr.kz.

Considered conduct geodetic monitoring in the area of the estuary area previously conducted an underground explosion, the example of the well site number 104 "Sary-Uzen" the former Semipalatinsk nuclear test site.

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

С момента запрета проведения ядерных испытаний в трех средах в 1963 г., в атмосфере, космическом пространстве и под водой, испытания ядерных устройств начали проводиться только подземные ядерные испытания. На территории Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП) подземные ядерные взрывы (ПЯВ) проводились в горизонтальных горных выработках – штольнях (участок горного массива Дегелен) и вертикальных горных выработках – «боевых» скважинах большого диаметра (участки Балапан и Сары-Узень). Схема основных испытательных участков на СИП показана на рис. 1.

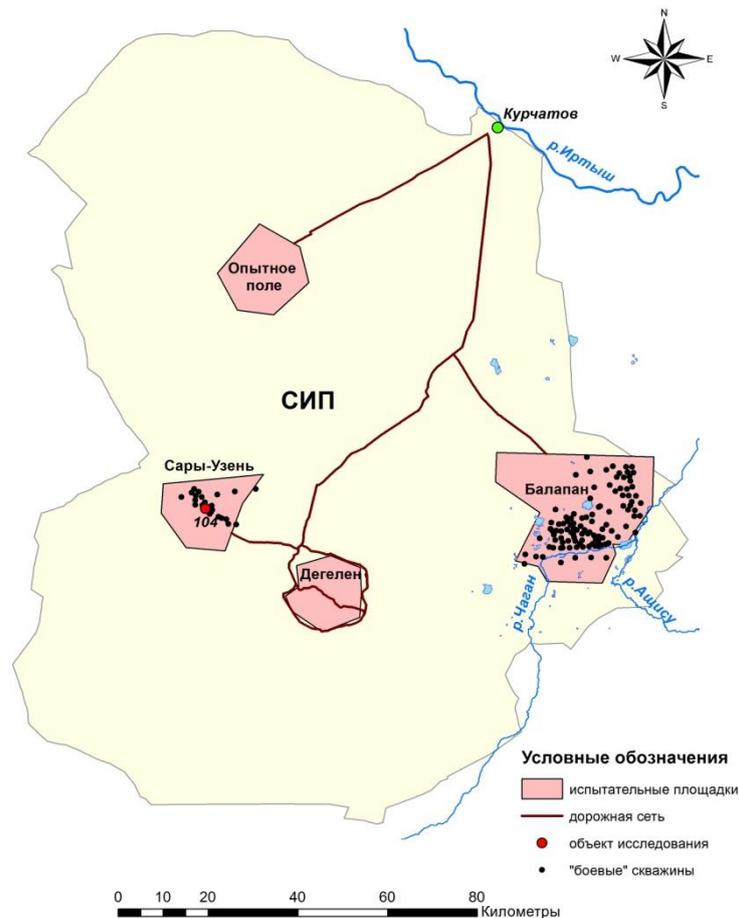


Рис. 1. Схема основных испытательных участков на территории СИП

ПЯВ в «боевых» скважинах проводились в различных геологических условиях и на различной глубине, что привело к разному влиянию последствий на окружающую среду. На настоящее время известно о образовании провальной воронки («боевая» скважина «Глубокая» участок Балапан) [1] и газировании на приустьевых участках отдельных «боевых» скважин, геофизический мониторинг проводимый на некоторых «боевых» скважинах так же подтверждает продолжение процессов в районе гипоцентров проведенных ПЯВ на участках Балапан и Сары-Узень. Для определения влияния процессов происходящих в районе гипоцентров на дневную поверхность и контроля за возможными проявлениями катастрофического характера [2] (образование провальных воронок) проводится геодезический мониторинг на приустьевых площадках 9 «боевых» скважин на территории СИЯП [3].

Площадка скважины 104 представляет собой равнинную местность с пологим понижением рельефа с юго-запада на северо-восток. На приустьевом участке в 2010 году выполнена топографическая съемка масштаба 1:2000 с сечением рельефа 0,5 метра. Схема площадки «боевой» скважины № 104 участка Сары-Узень приведена на рис. 2.

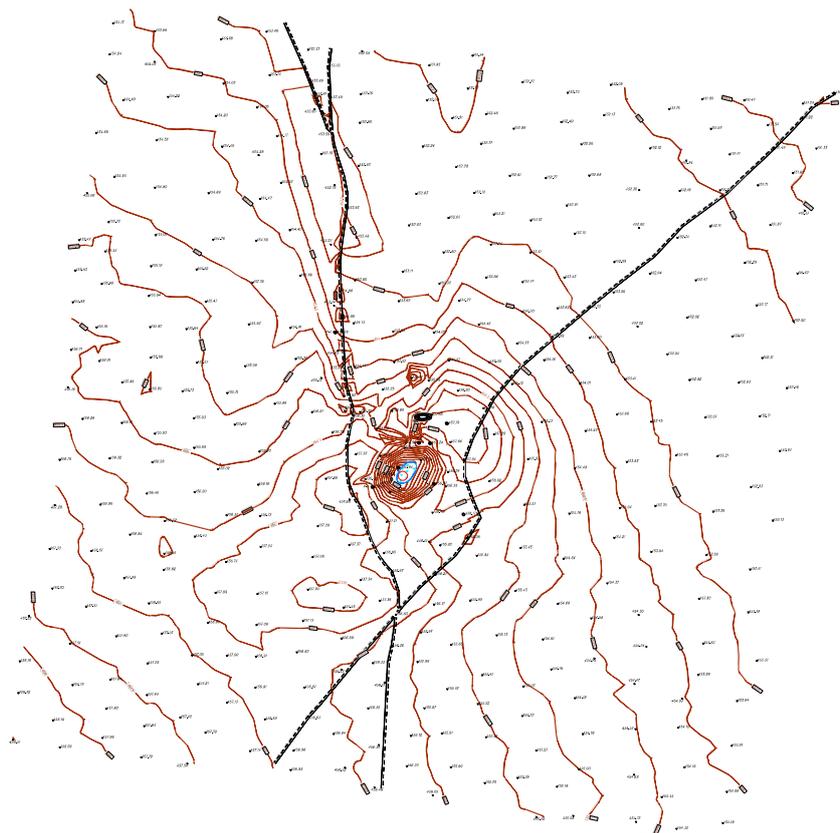


Рис. 2. Схема площадки «боевой» скважины № 104 участка Сары-Узень

Абсолютные отметки на площадке изменяются от 458,5 м на юго-западе до 450,9 м на северо-востоке. По результатам топографической съемки на местности выделены незначительные повышения и пологие понижения. Колебания абсолютных отметок изменяется в пределах 1-7,6 м. В центре площадки располагается эллипсовидная воронка около 103 м в диаметре глубиной 5,3 м., большой осью простирающейся с юго-запада на северо-восток. В 85 м севернее центра воронки расположена насыпь вызванная техногенной деятельностью, размером 12х23 м, высотой 1,4 м, Урез воды в воронке на 8.10.2010 года составил - 450,27м.

Геодезический мониторинг на площадке выполняется нивелированием II класса по локальной наблюдательной сети [3], которая состоит из 5-ти грунтовых реперов. Общая длина хода нивелирования II класса – 695 м., максимальное расстояние между реперами не превышало 242 м., минимальное расстояние составило 61 м.

По линии нивелирования были закреплены деревянные маркеры для установки над ними нивелира (выкрашены в зеленый цвет) и установки реек (выкрашены в красный цвет). На рис. 3 показана схема локальной наблюдательной сети на площадке скважины № 104.

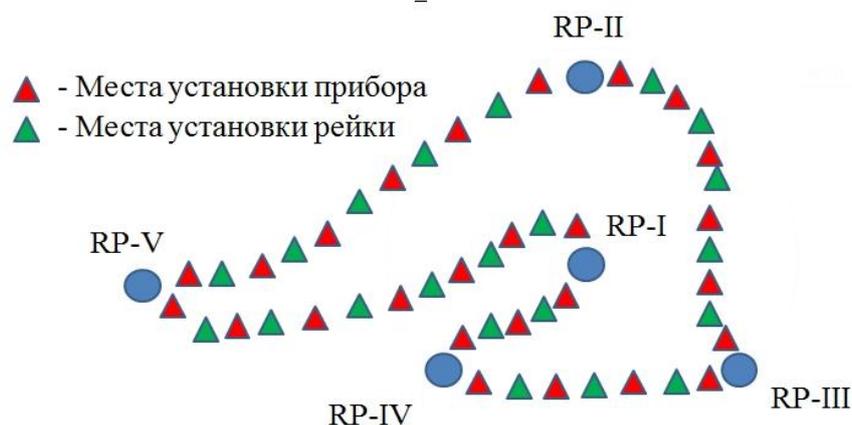


Рис. 3. Схема локальной наблюдательной сети на площадке скважины № 104

Расстояние нивелира до реек измерялось цифровым нивелиром и не превышало 30 м., неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не превышало 1 м., накопление неравенств по секции не превышало 2 м., высота луча визирования не превышала 0.5 м.

При проведении нивелирования II класса использовался цифровой нивелир SOKKIA SDL 30 (Япония), нивелирование проводилось по штрих-кодовым фиброгласовым рейкам с RAB-кодом. Нивелирование выполнялось по замкнутому ходу в прямом и обратном направлении по кольям. Измерения проводились в осенний период года. Результаты нивелирования приведены в таблице.

Таблица

Результаты нивелирования за 2011-2015 гг.

№ скважины, № репера	Координаты WGS-84 в градусах		Н, м 2011 г.	Н, м 2012 г.	ΔН, мм 2012-2011	Н, м 2013 г.	ΔН, мм 2013-2012	ΔН, мм 2013-2011	Н, м 2015 г.	ΔН, мм 2015-2013	ΔН, мм 2015-2011	Примечание
	С.Ш.	В.Д.										
104-I	49.95294	77.67208	296,3362	296,3318	-4,4	296,3376	+5,8	+1,4	296.3595	+21.9	+23.3	дно
II	49.95328	77.67247	301,1248	301,1212	-3,6	301,1194	-1,8	-5,4	301.1216	+2.2	-3.2	борт
III	49.95275	77.67281	301,1954	301,1944	-1,0	301,1948	+0,4	-0,6	301.1954	+0.6	0.0	борт
IV	49.95269	77.67158	301,7000	301,6946	-5,4	301,6992	+4,6	-0,8	301.6992	0.0	-0.8	борт
V	49.95475	77.67078	300,0000	300,0000		300,0000			300.0000			Баз.репер (равнина)

По данным 2011-2012 года грунтовые репера находились в состоянии проседания и величина их составила: Гр.р I -4.4 мм., Гр.р II -3.6 мм., Гр.р III -1.0 мм., Гр.р IV -5.4 мм.;

Результаты 2012-2013 года показали разнонаправленные изменения высотного положения грунтовых реперов: Гр.р I +5.8 мм., Гр.р II -1.8 мм., Гр.р III +0.4 мм., Гр.р IV +4.6 мм.;

По данным на 2013-2015 года можно сказать о сохранившейся тенденции положительного изменения высотного положения на Гр.р I, в этот период произошёл подъём и составил +21.9 мм., на остальных реперах произошли минимальные изменения высотного положения: на Гр.р II +2.2 мм., Гр.р III +0.6 мм., Гр.р IV 0.0 мм.

Сравнивая данные 2015 года и 2011 года, можно говорить о вспучивании дневной поверхности в районе эпицентра ПЯВ, на Гр.р I (дно воронки) его величина составила +23.9 мм., на Гр.р II небольшое проседание -3.2 мм., на Гр.р III высотное положение не изменилось, на Гр.р IV минимальное изменение высотного положения - 0.8 мм.

Таким образом можно говорить о неоднородности и непостоянстве динамики изменения высотного положения наблюдаемых грунтовых реперов что может быть вызвано недостаточным количеством данных. Необходимо продолжить наблюдения на локальной сети мониторинга для получения большего количества данных и установления причин происходящих процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг. / Под рук. С.Н. Лукошенко. – Павлодар: Дом печати, 2010. – 528 с.

2. Яковенко А.М., Субботин С.Б., Уставич Г.А. К использованию комплекса геодезических работ для оценки техногенной опасности испытательных площадок бывшего семипалатинского испытательного полигона // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 105–109.

3. Яковенко А.М., Уставич Г.А. Создание планово-высотного обоснования для топографо-геодезических работ в условиях радиационного загрязнения территорий Семипалатинского испытательного полигона // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 57–62.

4. Яковенко А.М. К проведению геодезического мониторинга в эпицентральных зонах ранее проведенных подземных ядерных взрывов на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 219–222.

© А. М. Яковенко, А. Х. Абишев, 2016

КАРТИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Сергей Юрьевич Малышков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический 10/3, старший научный сотрудник, тел. (382)249-25-91, e-mail: msergey@imces.ru

Василий Федорович Гордеев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический 10/3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (382)249-25-91, e-mail: gordeev@imces.ru

Виталий Игоревич Поливач

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический 10/3, старший научный сотрудник, тел. (382)249-25-91, e-mail: Polivach@imces.ru

В статье дано обоснование применения метода естественных импульсных электромагнитных шумов земли для картирования аномалий напряженно деформированного состояния земной коры. Приведены примеры применения метода для картирования геодинамически опасных участков, представляющих угрозу эксплуатации промышленных объектов.

Ключевые слова: геофизическая разведка, импульсное электромагнитное поле, напряженно-деформированное состояние.

STRESS-DEFORMED STATE OF THE SOILS ANOMALY MAPPING AND FRACTURE HAZARD ASSESSMENT FOR INDUSTRIAL SITES

Sergey Yu. Malyshkov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IMCES SB RAS), 634055, Russia, Tomsk, Senior researcher, tel. (382)249-25-91, e-mail: msergey@imces.ru

Vasily F. Gordeev

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IMCES SB RAS), 634055, Russia, Tomsk, Ph. D., Senior researcher, tel. (382)249-25-91, e-mail: gordeev@imces.ru

Vitaliy I. Polivach

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IMCES SB RAS), 634055, Russia, Tomsk, Research officer, tel. (382)249-25-91, e-mail: Polivach@imces.ru

The paper substantiates Earth natural pulse electromagnetic noises method application for stress-deformed state of the soils anomaly mapping. Examples of method application for the mapping of geodynamically dangerous plots posing threat to industrial sites operation are provided.

Key words: geophysical survey, electromagnetic pulse field, stress-strained state.

Источниками естественных импульсных электромагнитных полей Земли (ЕИЭМПЗ) являются неоднородности структуры земной коры, механически напряженные структуры, трещины и микротрещины. В результате механоэлектрических преобразований под действием деформационных волн из нижней мантии, приливных сил, микросейсмических колебаний, ветровой и техногенной нагрузки возникают импульсные электромагнитные поля, которые и создают естественный электромагнитный фон литосферного происхождения [1]. Импульсные электромагнитные поля могут меняться как при изменении состояния грунтов, так при изменении воздействия на источники полей. Например, типичные суточные хода могут нарушаться в случаях изменения ритмичного движения земной коры в результате объединения отдельных блоков земной коры в консолидированную область при подготовке землетрясений или при изменении напряженно-деформированного состояния грунтов. Таким образом, метод регистрации ЕИЭМПЗ является универсальным инструментом для геофизической разведки, мониторинга геодинамической активности Земной коры и научных исследований в области наук о Земле.

Приведем пример комплексного исследования склона правого берега реки Кама на котором развивается каскад оползней. В этом месте реку пересекает магистральный газопровод Уренгой–Помары–Ужгород. Активный оползень на данном участке магистрали представляет серьезную угрозу эксплуатации сооружения. Вид местности, где проводились работы, представлен на фотографии (рис. 1).



Рис. 1. Фотография перехода магистрального газопровода через р. Кама

Во время профильных измерений один регистратор параметров ЕИЭМПЗ использовался как реперный (вариационный) для регистрации временных вариаций поля. Он устанавливался на удалении порядка 150 метров от склона, на ровном участке местности. Относительно этой вне оползневой точки в дальнейшем оценивалась активность склоновых процессов и напряженно-деформированное состояние оползня. Пространственно-временные вариации поля измерялись аналогичными регистраторами при измерениях по сети профилей с регистрацией на каждом пикете в течении 5 минут. Все регистраторы

работали с временем дискретизации 1 секунда. На каждой точке (пикете) производилось не менее 300 измерений интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ. Привязка регистраторов по времени осуществлялась с использованием внутренних часов регистраторов. В качестве информативного параметра использовалось отношение интенсивности импульсного потока, зарегистрированного маршрутными регистраторами к интенсивности на реперном. В случае если отношение больше 1, горные породы находятся в состоянии растяжения, при отношении меньше 1 – напряжения сжатия. Измерения проведены по одиннадцати профилям, как вдоль, так и поперек склона.

Результаты площадных измерений представлены на рис. 2. Зоны растяжения и сжатия чередуются, расположены в основном в северной (правой на рисунке) и центральной части оползневого склона. Сравнение полученных результатов с результатами геоморфологического анализа, сейсморазведки и бурения показало хорошую информативность метода регистрации ЕИЭМПЗ при низкой себестоимости работ. В настоящее время на этом участке развернута система мониторинга опасных геологических процессов по параметрам ЕИЭМПЗ для прогноза подвижек грунтов [2].

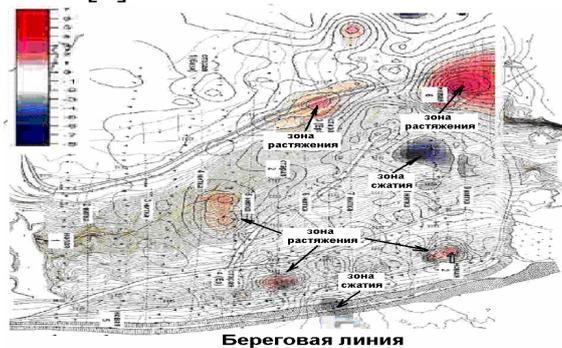


Рис. 2. Карта аномалий ЕИЭМПЗ на активном оползневом склоне.

Приведем результаты полевых измерений по трассе другого магистрального газопровода Чусовой-Березняки-Соликамск. Измерения проводились на территории с известным геологическим строением. На участке от 155 до 159 километра профиль пересекал разлом (155,5 – 157,0 км) и тектоническое нарушение дизъюнктивного и пликативного характера (158,7 км). На рис. 3 представлены результаты изменения интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ по маршруту. Из рисунка видно, что борта разлома и линеаменты проявились повышенной интенсивностью сигнала ЕИЭМПЗ. Отсутствие аномалии по оси разлома обусловлено тем, что он забит малоизлучающей глиной трения и обводнен.

В 2013 году в соответствии с планом мероприятий по обследованию напряженно-деформированного состояния грунтов и картирования опасных геологических процессов (ОГП) площадки строительства атомной электростанции Нинь Тхуан 1 (Вьетнам) проведены натурные полевые

исследования активных геодинамических процессов в земной коре методом ЕИЭМПЗ.

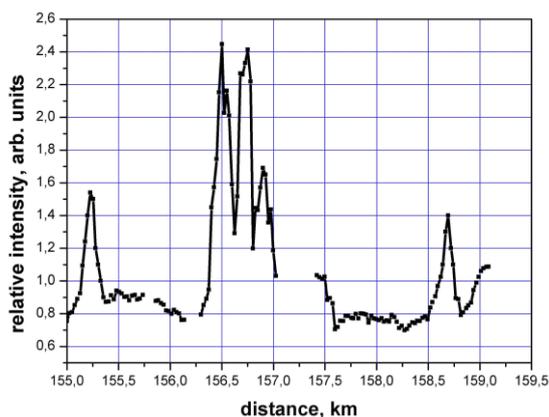


Рис. 3. Пространственные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ по маршруту №2

По результатам профильных измерений построены карты аномалий ЕИЭМПЗ на исследуемой площади. На рис. 4 приведена карта аномального ЕИЭМПЗ обобщенная по данным двух направлений преимущественного приема (результатирующая диаграмма направленности близкая к круговой).

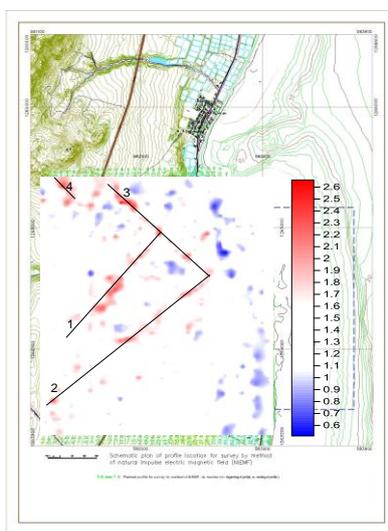


Рис. 4. Карта аномального ЕИЭМПЗ

Красные области на рисунке соответствуют повышенным величинам интенсивности ЕИЭМПЗ относительно фоновых значений. Такие области сопровождают тектонические нарушения и зоны трещиноватости горных пород. Области на рисунке выделенные синим цветом соответствуют пониженным значениям интенсивности ЕИЭМПЗ относительно фоновых. Такие области соответствуют областям сжатия горных пород.

При картировании аномалий ЕИЭМПЗ выявлено несколько линеаментов, которые интерпретированы, как малоактивные разрывные нарушения земной коры. Линеаменты нанесены в виде линий на рис. 4 и проранжированы по степени опасности для инженерных сооружений. Наиболее опасным и требующим комплексного анализа данных с данными, полученными другими геофизическими методами является разрывное нарушение №1. Этот линеамент сечет площадь исследований с северо-востока на юго-запад и проходит недалеко от поймы р. Мия. В структуре ЕИЭМПЗ разрывное нарушение №1 выделяется повышенными значениями интенсивности и подтверждается позднее проведенным мониторингом геодинамической активности.

Установлено, что горные породы вдоль береговой линии находятся в состоянии сжатия. Это проявилось незначительной отрицательной аномалией интенсивности ЕИЭМПЗ. Геодинамических структур с высокой степени активности и представляющих реальную угрозу эксплуатации инженерных сооружений в пределах площади исследований не выявлено. В результате дальнейших исследований наличие выявленных разрывных нарушений подтверждено другими методами геофизической разведки.

В заключение подчеркнем наиболее важную особенность предложенного метода, обеспечивающую преимущества данного способа геофизической разведки по сравнению с другими.

Источниками сигналов в горных породах являются литологические и структурные неоднородности, генерирующие сигнал за счет микродвижения горных пород, вызванных естественными процессами в земной коре. Это обеспечивает экологичность метода, его избирательную чувствительность к границам всевозможных геологических структур.

Предложенный способ геофизической разведки совмещает в себе положительные моменты электроразведочных и сейсморазведочных способов. По сравнению с сейсморазведкой предлагаемый способ не требует специальной подготовки профилей, взрывных работ, значительно снижается трудоемкость, себестоимость и сроки выполнения геофизических работ.

Как показано в наших работах [1] характеристики ЕИЭМПЗ оказываются чрезвычайно чувствительными не только к границам структурных и литологических неоднородностей земной коры, но, что не менее важно в плане практического применения, к напряженно-деформированному состоянию массивов горных пород. Предложены способы выделения как глобальных пространственно-временных вариаций ЕИЭМПЗ, так и региональных и мелкомасштабных вариаций. Выявляя вариации различного масштаба можно прогнозировать время энергии и координаты эпицентров готовящихся землетрясений [3] активизацию опасных оползневых процессов и провалов грунта на территориях бывших шахтных выработок.

Уже на данном этапе, метод получил широкое практическое применение в инженерной геологии для оценки устойчивости оползневых склонов, определении напряженно-деформированного состояния грунтов на подрабатываемых территориях, поиске активных геологических разломов,

инженерно-геокриологическом картировании, разведке рудных месторождений и месторождений углеводородов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли // Геология и геофизика. – 2009. – №2. – С. 152–172.

2. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оползневого склона по параметрам радишумов системой АСК-ГП / В.Ф. Гордеев и др. // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 14–19.

3. Способ прогноза землетрясений / Малышков Ю. П и др. // Патент РФ № 2238575, БИ от 20 октября 2004.

© С. Ю. Малышков, В. Ф. Гордеев, В. И. Поливач, 2016

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГРЕБНЯ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

В статье рассмотрен процесс построения динамической модели на основе геодезических данных для прогнозирования процесса перемещений контролируемых точек гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС с целью изучения наблюдаемых деформационных процессов сооружения на этапе эксплуатации 2007-2009 годов. В качестве основных воздействующих факторов выбраны гидростатическое давление и температура, а остаточная часть процесса представлена моделью шумовой компоненты, т.е. путем расширения вектора состояний.

Ключевые слова: геодезические данные, динамическая модель, прогнозирование, перемещения контролируемых точек, деформации сооружения.

BUILDING A PREDICTIVE MODEL FOR THE STUDY OF MOVEMENTS OF THE CREST OF THE DAM SAYANO-SHUSHENSKAYA HPP ON GEODETIC DATA

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a senior lecturer in physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. of Department of physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

In article process of creation of dynamic model on the basis of geodetic data for forecasting of process of movements of controlled points of a crest of a dam of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station for the purpose of studying of observed deformation processes of a construction at an operational phase of 2007-2009 is considered. As the major influencing factors the hydrostatic pressure and temperature are chosen, and the residual part of process is presented by model noise components, i.e. by expansion of a vector of states.

Key words: geodetic data, dynamic model, forecasting, movements of controlled points, deformations of a construction.

Разработка прогнозных математических моделей является обязательным условием диагностического контроля плотины СШГЭС в соответствии с принятой «Методикой» [1]. Исходные данные были полученные на основании графика из работы [2] и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные значения основных воздействующих факторов для построения математической модели

Дата, месяц	УВБ, м	Перемещение, $x_{вых}$, мм	Температура, град., С	Дата, месяц	УВБ, м	Перемещение, $x_{вых}$, мм	Температура, град., С
1	2	3	4	5	6	7	8
Янв. 2004	526,14	125,74	+0,32	октябрь	538,43	137,54	+10,32
февраль	520,43	113,53	+0,06	ноябрь	534,71	136,67	+7,16
март	510,43	89,70	+0,39	декабрь	530,29	130,58	+2,45
апрель	500,94	67,06	+2,58	Янв. 2006	524,49	121,45	-0,32
май	524,90	102,06	+6,57	февраль	519,00	111,71	-1,42
июнь	534,50	125,59	+10,64	март	507,52	86,28	-0,52
июль	537,71	125,74	+13,39	апрель	500,14	70,14	+1,41
август	538,29	126,57	+14,00	май	510,86	82,32	+4,98
сентябрь	539,00	133,29	+12,84	июнь	534,14	122,90	+9,41
октябрь	537,86	139,12	+10,23	июль	537,21	131,16	+12,52
ноябрь	535,00	136,18	+6,84	август	538,28	135,51	+13,16
декабрь	530,57	131,18	+3,48	сентябрь	538,57	138,70	+11,55
Янв. 2005	525,71	123,82	+0,29	октябрь	537,14	140,86	+9,10
февраль	520,00	112,94	-2,84	ноябрь	534,71	140,80	+7,10
март	508,86	88,82	-1,03	декабрь	529,84	132,32	+4,19
апрель	501,28	67,94	+2,00	Янв. 2007	523,93	119,42	+1,81
май	509,71	74,12	+5,87	февраль	517,57	104,93	+1,23
июнь	527,71	102,06	+9,55	март	507,43	83,77	+0,84
июль	533,04	107,65	+13,48	апрель	500,14	62,75	+4,00
август	538,04	125,65	+14,26	май	510,29	74,35	+7,35
сентябрь	538,71	133,77	+12,58				

Для построения прогнозной модели послужило рекуррентное уравнение 1-го порядка процесса перемещения, происходящего под воздействием двух основных факторов (гидростатического давления и температуры), а остаточная часть процесса представлена моделью шумовой компоненты, т.е. путем расширения вектора состояний. За период основания прогноза принят временной интервал с января 2004 по май 2007 годов.

Динамическую модель, отражающую характер развиваемого процесса, представим в виде выражения:

$$x_k = \phi x_{k-1} + \beta_1 u_k + \beta_2 T_k + \gamma \omega_k. \quad (1)$$

Заменим в выражении (1) значения x_k , u_k и T_k их центрированными по времени значениями $\hat{x}_k = x_k - \bar{x}$, $\hat{u}_k = u_k - \bar{u}$ и $\hat{T}_k = T_k - \bar{T}$ (\bar{x} , \bar{T} и \bar{u} – средние величины перемещения x_k и основные входные параметры: уровень верхнего бьефа и температура бетона $T_{\text{низ}}$ в нижней базовой точке на интервале периода основания прогноза). Это позволит упростить вычисления, повышая тем самым степень обусловленности системы нормальных уравнений решаемых для оценивания параметров [3-16].

На первом этапе построения динамической модели методом МНК оценивались параметры по результатам наблюдений за входом $\{u_k\}$, $\{T_k\}$ и выходом $\{x_k\}$ на периоде основания прогноза $k = 1, 2, \dots, N$. Для этого минимизировался функционал $F_1(\phi, \beta_1, \beta_2) = \sum_{k=2}^N (x_k - \hat{x}_{k/k-1})^2$. Выражение $\hat{x}_{k/k-1}$ представляет собой условное математическое ожидание уравнения (1) определяющееся следующим выражением:

$$M\{x_k / x_{k-1}, u_k, T_k\} = \hat{x}_{k/k-1} = \phi x_{k-1} + \beta_1 u_k + \beta_2 T_k. \quad (2)$$

Оценки параметров ϕ, β_1, β_2 были найдены из решения полученной системы нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\phi} \sum_{k=2}^N \hat{x}_{k-1}^2 + \hat{\beta}_1 \sum_{k=2}^N \hat{x}_{k-1} \hat{u}_k + \hat{\beta}_2 \sum_{k=2}^N \hat{x}_{k-1} T_k &= \sum_{k=2}^N \hat{x}_k \hat{x}_{k-1}, \\ \hat{\phi} \sum_{k=2}^N \hat{x}_{k-1} \hat{u}_k + \hat{\beta}_1 \sum_{k=2}^N \hat{u}_k^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{k=2}^N \hat{u}_k T_k &= \sum_{k=2}^N \hat{x}_k \hat{u}_k, \\ \hat{\phi} \sum_{k=2}^N \hat{x}_{k-1} T_k + \hat{\beta}_1 \sum_{k=2}^N \hat{u}_k T_k + \hat{\beta}_2 \sum_{k=2}^N T_k^2 &= \sum_{k=2}^N \hat{x}_k T_k. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система нормальных уравнений получила следующий вид:

$$22449,8697\hat{\phi} + 7223,2361\hat{\beta}_1 + 219,1580\hat{\beta}_2 = 18065,7000,$$

$$7223,2361\hat{\phi} + 6761,4500\hat{\beta}_1 + 1920,3160\hat{\beta}_2 = 11956,4729,$$

$$219,1580\hat{\phi} + 1920,3160\hat{\beta}_1 + 1062,9270\hat{\beta}_2 = 2396,2380.$$

В результате решения были найдены оценки: $\hat{\phi} = 0,2127$; $\hat{\beta}_1 = 1,8757$; $\hat{\beta}_2 = -1,1782$. После вычисления ϕ, β_1, β_2 было найдено центрированное значение процесса перемещения \hat{x}_0 из выражения $\hat{x}_0 = \bar{x}(1 - \hat{\phi}) - \hat{\beta}_1 \bar{u} - \hat{\beta}_2 \bar{T}$; оно получилось равным: $\hat{x}_0 = -888,616$ мм.

Остаточные ошибки $\varepsilon_k = x_k - \hat{x}_{k/k-1} = \gamma\omega_{k-1}$ характеризуют, с одной стороны – корректность построения модели с точки зрения структурной идентификации, а с другой – это характеристика свойств шумовой компоненты ω_k , т.е. используя остаточные ошибки, можно произвести математическое описание процесса шума ω_k известными моделями авторегрессии 1-го или 2-го порядков [3,10]. Для определения порядка модели авторегрессии вычислялись асимптотически несмещенные оценки корреляционной функции остаточных ошибок по формуле [17]:

$$\hat{K}_\varepsilon[m] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-m} \varepsilon_k \varepsilon_{k+m}, \quad (4)$$

где временной сдвиг $m = 0, 1, 2 \dots M < N$.

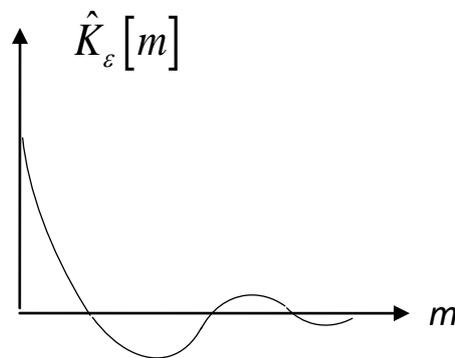


Рис. 1 График корреляционной функции

Построенный по результатам вычислений график корреляционной функции (рис. 1) свидетельствует о том, что описание процесса шума следует производить моделью авторегрессии 2-го порядка (AP2).

Модель шумовой компоненты авторегрессии 2-го порядка можно представить в следующем виде [17]:

$$\omega_k = \mu\omega_{k-1} + \eta\omega_{k-2} + \xi_k, \quad (5)$$

где μ, η – оцениваемые параметры.

Оценка параметров производилась путём минимизации функционала вида:

$F_2(\mu, \eta) = \sum_{m=1}^M \left(\hat{K}_\varepsilon[m] - \mu\hat{K}_\varepsilon[m-1] - \eta\hat{K}_\varepsilon[m-2] \right)^2$, т.е. μ, η находили из решения соответствующей системы нормальных уравнений, а оценка коэффициента γ осуществлялась с использованием выражения [3,10]:

$$\hat{\gamma} = \sqrt{\frac{\hat{K}_\varepsilon[0]}{\hat{K}_\omega[0]}}, \quad (6)$$

$$\text{где } \hat{K}_\omega[0] = \frac{1-\hat{\eta}}{(1+\hat{\eta})\left[(1-\hat{\eta})^2 - \hat{\mu}^2\right]}.$$

Для оценки параметров модели AP2 была получена следующая система нормальных уравнений и далее вычислены оценки параметров $\hat{\mu}; \hat{\eta}; \hat{\gamma}$.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}103,2476 + \hat{\eta}78,5541 - 53,2869 &= 0; \\ \hat{\mu}78,5541 + \hat{\eta}115,0540 - 24,0161 &= 0; \\ \hat{\mu} &= +0,7435; \hat{\eta} = -0,2989; \gamma = 2,1216. \end{aligned}$$

Таким образом, получены все оценки параметров строящейся модели, и она представляется в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,2127x_{k-1} + 1,8757u_k - 1,1782T_k - 888,616 + 2,1216\omega_k, \\ \omega_k &= 0,7435\omega_{k-1} - 0,2989\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (7)$$

Прогнозная модель в соответствие с (7) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= 0,2127\hat{x}_{N+i-1/N} + 1,8757u_{N+i} - 1,1782T_{N+i} - 888,616 + 3,6834\omega_{N+i-1/N}, \\ \hat{\omega}_{N+1/N} &= 0,7435\hat{\omega}_{N+i-1/N} - 0,2989\hat{\omega}_{N+i-2/N}. \end{aligned} \quad (8)$$

Результаты прогнозирования представлены в табл. 2. Ошибки прогноза обозначены в таблице как Δ_k .

Таблица 2

Результаты прогнозирования по математической модели

Дата прогноза, месяц	Перемещение, $x_{\text{был}}$, мм	$X_{\text{прогноз}}$, мм	Ошибка Δ_k , мм
Июнь 2007	101,45	114,48	-13,03
июль	108,12	124,45	-16,33
август	120,00	131,39	-11,39
сентябрь	127,97	135,73	-7,76
октябрь	134,35	137,94	-3,59
ноябрь	133,48	131,95	+1,53
декабрь	126,09	123,25	+2,84
Январь 2008	116,67	113,57	+3,10
февраль	102,86	98,95	+3,91
март	81,55	74,61	+6,94
апрель	66,67	63,43	+3,24

Выводы.

1. Построенная прогнозная математическая модель отслеживает основные закономерности развития процесса деформации гребня плотины.

2. Для периода ветви нагружения (июнь-сентябрь) имеется существенная разница между прогнозными значениями в сравнении с самими перемещениями. Эта разница может быть объяснена тем, что высокая приточность в 2006 году (особенно высокая в июне) внесла свои коррективы в прогнозные модели, а данный год входит в период основания прогноза построения модели. Анализ данных показал [2], что причиной роста максимальных радиальных перемещений явилось существенное изменение температуры бетона вблизи верховой грани, это внесло свои изменения в работу плотины. Представляется, что для корректного прогнозирования построенную модель необходимо дополнить моделью, отражающей колебания температуры $T_{верх}$ при нештатных ситуациях работы плотины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. // РД 153–34.2–21.342–00. – М.: РАО «ЕЭС России». – 2001. – 22 с.

2. Вульфович Н.А., Гордон Л.А., Стефаненко Н.И. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС (Оценка технического состояния по данным натуральных наблюдений) // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – СПб.: 2012. – 204 с.

3. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.

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

5. Хорошилов В. С., Павловская О. Г. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений вертикальных перемещений осадочных реперов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2012. – № 5. – С. 31–34.

6. Хорошилов В. С., Носков М. Ф. Деформационный мониторинг объектов недвижимости для целей кадастрового учета // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. — 2012. – №2/1. – С.30–33.

7. Хорошилов В. С., Квашенко И. Ю., Носков М. Ф. Особенности выбора деформационных марок для построения кинематической модели при изучении деформаций сооружений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013. – № 4/С. – С. 58–61.

8. Хорошилов В. С., Павловская О. Г., Носков М. Ф. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013. – № 4. – С. 19–24.

9. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Лисицкий Д. В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 4/С. – С. 22–30.

10. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным (динамическая модель). – Новосибирск: СГГА, 2014. – 81 с.

11. Хорошилов В. С., Павловская О. Г. Математическое моделирование оползневых процессов по геодезическим данным в условиях проведения взрывных работ и вывоза грунта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф.

«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 156–161.

12. V. Khoroshilov, O. Pavlovskaya. Special Aspects of Mathematical Landslide Processes Modeling by Geodetic Data during Blasting Operations and Transportation of Big Soil Masses// International Workshop (Novosibirsk, Russian Federation 14–15 April 2014.). – Novosibirsk: SSGA. 2014. – p.123–126.

13. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Кобелева Н. Н. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно–Шушенской ГЭС (2004–2007 гг.) // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С.16–20.

14. Прогнозирование процесса перемещений плотины Саяно–Шушенской ГЭС на этапе эксплуатации 2007–2009 годов / Ю. П. Гуляев, В.С. Хорошилов, Д. В. Лисицкий, Н. Н. Кобелева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5. – С. 23–28.

15. Кобелева Н. Н., Хорошилов В. С. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно–Шушенской ГЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 214–220.

16. Мазуров Б. Т., Зарзура Ф. Х., Ахмед С. Х. Алгоритм определения прогнозной модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС–мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 174–178.

17. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – Вып.1. – 405 с. – Вып.2. – 197 с.

© Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов, 2016

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Адольф Георгиевич Малков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

В статье предложена структурная схема наблюдений за деформациями различных видов инженерных сооружений на основе системного подхода и приведены отдельные этапы составления программы, применительно к наблюдениям за осадками промышленных объектов в период их эксплуатации.

Ключевые слова: системный подход, исследование деформаций сооружения, прогнозирование, структурная схема наблюдений за деформациями объектов, программа наблюдений за осадками, идентификация.

THE DEVELOPMENT OF A PROGRAMME FOR MONITORING PRECIPITATION STRUCTURES BASED ON SYSTEM APPROACH SYSTEM STUDY OF DEFORMATIONS OF STRUCTURES

Adolf G. Malkov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc Prof, Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a senior lecturer in physical geodesy and remote sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

In the article the structural scheme of observation of deformations of various kinds of engineering structures on the basis of systematic approach and shows the individual stages of the formulation of the programme, in relation to observations of precipitation of industrial objects during their operation.

Key words: systems approach, study of deformation structures, forecasting, structural deformations monitoring schema objects, program observations of precipitation, identification.

При анализе современного состояния вопроса исследования деформаций различных сооружений следует отметить, что одним из недостатков рассматриваемой литературы и технических руководств по данному вопросу

является отсутствие единой оптимальной программы наблюдений за их деформациями.

Так как оптимизацию процесса наблюдений невозможно производить без системного подхода, то в основу программы положим представление о сооружении в виде единой системы, пригодной для анализа различного класса сооружений в зависимости от точности определения их параметров.

В настоящее время изучение деформаций сооружения производится на всех этапах его службы и, поэтому, ограничимся составлением программы наблюдений лишь в период его эксплуатации.

Представим исследуемый объект в виде структурной схемы, с указанием связей между отдельными его подсистемами (рисунок).

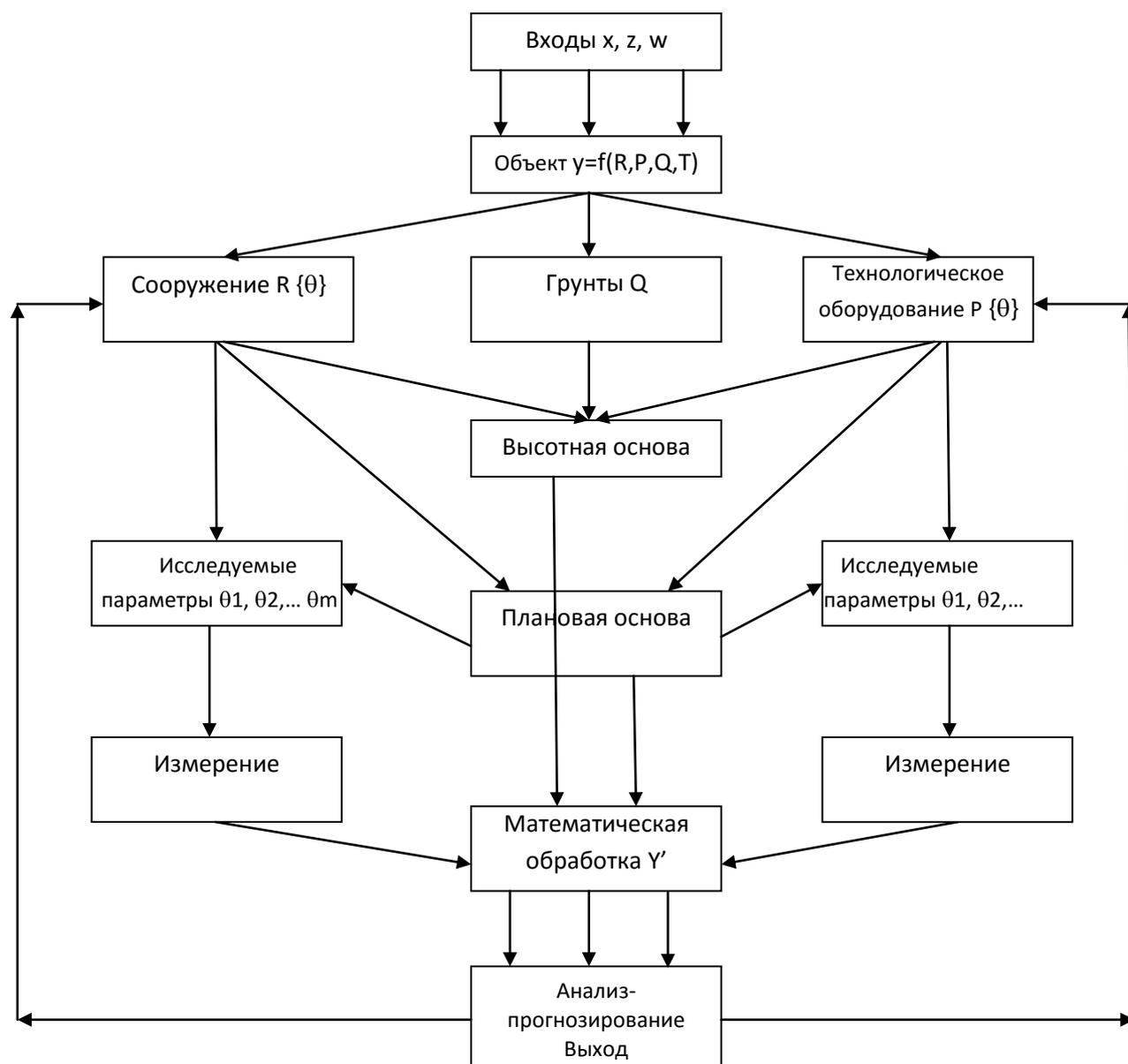


Рис. Структурная схема наблюдений за деформациями сооружения

Рассмотрим данную схему более подробно. Каждый рассматриваемый объект характеризуется классом и типом сооружения, состоянием технологического оборудования и гидрогеологическими характеристиками грунта, на котором установлен исследуемый объект на определенный момент времени t [1-4].

При исследовании деформации сооружения и оборудования (вертикальных и горизонтальных смещений) необходимо создать единую высотную и плановую основу, которая является опорной при определении различных параметров сооружения и оборудования (крены и осадки колонн, плановое и высотное положение подкрановых путей, крены и осадки оборудования и т.д.).

Выбор схемы опорной основы, число ее знаков и типы знаков будут зависеть от состояния и вида грунтов, от точности определения параметров исследуемого объекта, и должен определяться на основе выбранного критерия оптимальности.

Выбор метода и средств измерений будет определяться точностью определения исследуемых параметров, с расчетом и привлечением априорной информации для исследования деформаций подобных сооружений.

Основными факторами, определяющими состояние объекта исследований, являются входные управляемые параметры объекта «X», контролируемые, но управляемые параметры «Z» и не управляемые параметры «W».

Функция $y = f(R, P, Q, T)$ – множество исследуемых параметров, характеризующих состояние объекта на момент времени t [5, 2].

По результатам математической обработки получают значение приращений исследуемых параметров «Y», характеризующих состояние объекта на момент исследований. На выходе после анализа результатов измерений и прогноза ожидаемых деформаций предусматривается принятие мер по предупреждению и устранению недопустимых деформаций, т.е. обратная связь предполагает воздействие не только на объект, но и на его входы [6-8].

Опираясь на предложенную структурную схему, распишем отдельные этапы составления программы применительно к наблюдениям за осадками промышленных сооружений в период их эксплуатации.

1. Составление структурной схемы изучаемого объекта с указанием отдельных подсистем и связей между ними.

2. Изучение инженерно-геологического строения оснований сооружений и грунтов.

3. Определение классификации сооружения и соответствующей ей точности определения геометрических параметров в зависимости от выбора цели и задачи исследования.

4. Выбор конструкций опорных знаков в зависимости от строения грунтов, физико-географических условий и точности определения геометрических параметров.

5. Составление проекта схемы размещения опорных знаков для исследования различных параметров объекта с учетом рекогносцировки расположений сооружений и коммуникаций исследуемого объекта.

6. Выбор метода и разработки методики средств наблюдений за расположением опорной сети и исследуемыми параметрами, а так же определение периодичности наблюдений.

7. Организация и выполнение измерений в соответствии с требуемой точностью определения деформации объекта и установленной периодичностью наблюдений.

8. Математическая обработка результатов измерений с выдачей конечных величин деформаций исследуемых параметров объекта в виде графиков, ведомостей и оценкой точности выполненных работ [9-13].

9. Построение математической модели по экспериментальным данным и прогнозирование деформаций на основании анализа построенной модели.

10. Составление отчета с анализом результатов наблюдений и прогнозом ожидаемых величин деформаций [14,15].

11. Разработка рекомендаций и мер по предупреждению недопустимых деформаций и их устранению в случае появления значений, превышающих их допустимые величины.

12. Производство измерений по определению состояния объекта после профилактических мер в случае измерения некоторых его входных воздействий.

Приведенная программа может быть составлена для исследования деформаций всего объекта так и отдельных его частей и параметров в зависимости от конкретных условий и поставленных задач.

Однако, здесь следует заметить, что со стороны производства часто ставят локальные задачи по исследованию того или иного параметра сооружения или отдельного сооружения на текущий момент в соответствии с нуждами производства, а затем, по мере их решения возникают все новые и новые локальные задачи.

Все это затрудняет осуществлять общий единый подход и изучения деформаций всего объекта, и как указывалось выше, не позволяет выявить полностью причинно-следственные связи появления деформации сооружения и так же давать конкретные рекомендации по предупреждению и устранению их причин.

В то же время локальная постановка задачи увеличивает затраты на производство работ. Схемы размещения опорных знаков (реперов) и исследуемых марок в этом случае далеки от оптимальности.

В связи с этим следует сделать вывод, что при исследовании деформации какого либо объекта необходимо составлять общую единую программу наблюдений, и на ее основе выполнять последовательно определение деформаций интересующих нас сооружений и их параметров.

Для математической обработки результатов измерений использовать современный математический аппарат, позволяющий выполнить их строгую

обработку и на основе моделирования по экспериментальным данным производить прогноз ожидаемых деформаций [11,8].

Предполагаемая программа является общей для исследования деформаций различного класса сооружений, т.к. для каждого из них необходимо предусмотреть указанные этапы программы.

Различие может быть только в разработке конкретных методов и средств для исследуемых сооружений в зависимости от их классификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 343 с.
2. Малков А.Г. Методика оперативной обработки результатов наблюдений и прогнозирование осадок инженерных сооружений на основе их идентификации // Межвузовский сборник. – Новосибирск, НИИГАиК, 1986. – С. 47–57.
3. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям: монография / В. А. Середович [и др.]. – Новосибирск: СГГА. 2004. – 356 с.
4. Мазуров Б.Т., Панкрушин В. К., Середович В. А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9 (32). – С. 30–35.
5. Малков А.Г., Кобелева Н.Н. Системное исследование деформаций сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 221–227.
6. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
7. Хорошилов В.С. Методологические аспекты системного подхода в области исследования технической системы – "Геодезический прибор" // Современные проблемы геодезии и оптики: ЛШ Междунар. научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА, (Новосибирск, 11–21 марта 2003г). – Новосибирск, СГГА, 2003. – Т.С. – С.287.
8. Малков А.Г., Николаев Н.А. Применение регрессионного анализа для исследования осадок инженерных сооружений // Межвузовский сборник. – Новосибирск, НИИГАиК, 1987. – С.9–15.
9. Крамаренко А.А., Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К. Математическое обеспечение идентификации движений и напряженно-деформированного состояния сооружений и объектов инженерной геодинамики по геодезическим наблюдениям // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С. 3–13.
10. Бугакова Т.Ю., Вовк И.Г. Системно-целевой подход к анализу пространственно-временного состояния техногенных систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 224–230.
11. Гуляев Ю.П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
12. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений: Учеб. пособие / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
13. Кобелева Н.Н., Хорошилов В.С. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография,

маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 214–220.

14. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Лисицкий Д.В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С.22–30.

15. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 78 с.

© А. Г. Малков, Н. Н. Кобелева, 2016

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ КАРЬЕРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВТОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Инна Евгеньевна Дорогова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Выполнен анализ горизонтальных движений и деформаций земной коры вокруг карьера «Юбилейный» с учетом основных законов теории упругости и использованием метода конечных элементов. Получено графическое представление векторов смещений, тензоров деформации и полей смещений и деформаций бортов карьера.

Ключевые слова: геодинамический полигон, движения земной коры, повторные геодезические измерения, деформации земной коры

RESEARCH OF PIT WALLS DISPLACEMENT AND DEFORMATION BY RESULTS OF REPEATED GEODETIC MEASUREMENTS

Inna E. Dorogova

Sibirian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Senior lecturer, Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Finite element analysis of the Earth's crust horizontal movements and deformations around «Yubileyny» pit has been conducted taking into account basic laws of the theory of elasticity. Graphical representation of displacement vectors, deformation tensors as well as displacement fields and pit walls deformation has been obtained.

Key words: geodynamic testing area, crust movements, repeated geodetic measurements, crust deformations.

Карьеры, образовавшиеся в результате добычи полезных ископаемых, требуют постоянного наблюдения для своевременного обнаружения нежелательных деформаций земной коры и оползневых процессов [1-4]. Карьеры алмазных месторождений Якутии являются одними из наиболее глубоких рудных карьеров, к их числу относится коренное месторождение алмазов трубки «Юбилейная».

Для наблюдения за деформациями бортов карьера «Юбилейный», расположенного в 15 км к северо-западу от поселка Айхал Республики Саха (Якутия), вокруг карьера были заложены 38 геодезических пунктов. Наиболее широкое распространение при наблюдении за горизонтальными движениями земной коры в последние годы получили спутниковые измерения [5-7]. Схема расположения определяемых пунктов и выполнения спутниковых измерений приведена на рис. 1.

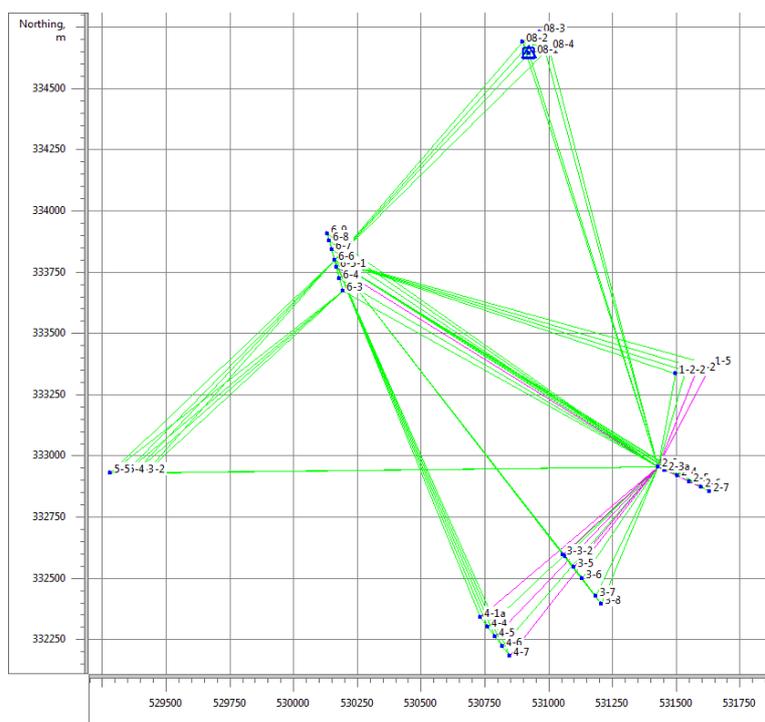


Рис. 1. Схема ГНСС-измерений на пунктах карьера «Юбилейный»

Для контроля спутниковых измерений, выполненных в 2011 г. были проведены контрольные линейные измерения между некоторыми пунктами при помощи электронного тахеометра. Контроль GPS-измерений выполнялся путем сравнения горизонтальных проложений, измеренных электронным тахеометром и вычисленных по декартовым координатам пунктов из спутниковых измерений [8, 9].

Таблица

Результаты контрольных линейных измерений

Название линии	Горизонтальное проложение, м		Разности между горизонтальными проложениями $S_{ИЗМ} - S_{ВЫЧ}$, м
	Вычисленное по декартовым координатам	Измеренное электронным тахеометром	
4-1a – 4-4	49,851	49,850	-0,001
4-4 – 4-5	49,048	49,050	0,002
4-5 – 4-6	49,817	49,816	-0,001
4-6 – 4-7	44,431	44,433	0,002
5-2 – 5-3	40,094	40,093	-0,001
5-2 – 5-3	40,094	40,093	-0,001
5-3 – 5-4	38,472	38,470	-0,002
5-4 – 5-5	55,725	55,726	0,001

Результаты повторных геодезических измерений дают возможность определения величин смещений и значений деформационных характеристик

для некоторого конечного числа точек исследуемой области земной коры. Для получения информации о деформациях, происходящих на всей территории геодинамического полигона, применяются различные интерполяционные и численные методы, например, метод конечных элементов [10]. Полученные результаты удобно представлять визуально в виде полей векторов и полей распределения деформационных характеристик [11].

В качестве характеристик, описывающих горизонтальные деформации земной коры, использовались относительные деформации ε_{xx} , ε_{yy} ; деформация сдвига ε_{xy} и, составленный по их значениям, тензор деформации T_ε . Значения данных характеристик вычислялись для пунктов, горизонтальные смещения которых известны, затем распространялись на заданную территорию, которая в данном случае представляла собой кольцо вокруг карьера (рис. 2).

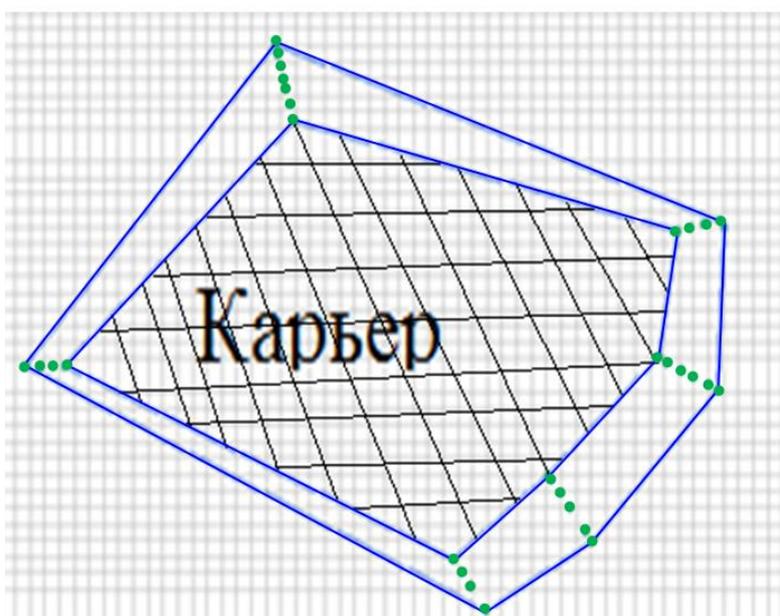


Рис. 2. Границы исследуемого участка земной поверхности

В результате определения горизонтальных смещений и деформаций земной коры между циклами 2007 и 2011 гг. в вершинах конечных элементов, представленных на рис. 3, а, были получены распределения векторов смещений и тензоров деформации, поля деформаций земной коры.

Рисунок 3б иллюстрирует изменение границ и формы тела полигона. Тело полигона на момент первого цикла измерений было разбито на квадраты, на рис. 3, б приведено искажение формы и границ полигона между первым и вторым циклами наблюдений. Искажения представлены в укрупненном масштабе, наблюдается схождение северо-западного и юго-восточного бортов карьера.

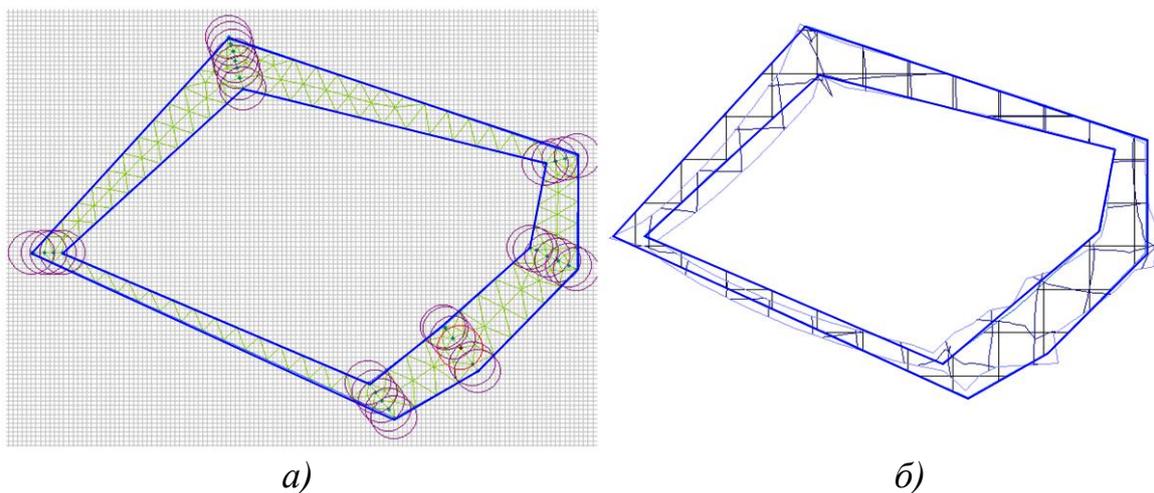


Рис. 3. Изменение формы тела и границ геодинамического полигона

Схождение северо-западного и юго-восточного бортов карьера наблюдается также на поле векторов смещений, представленном на рис. 4, *а*, и поле тензоров деформации, приведенном на рис. 4, *б*.

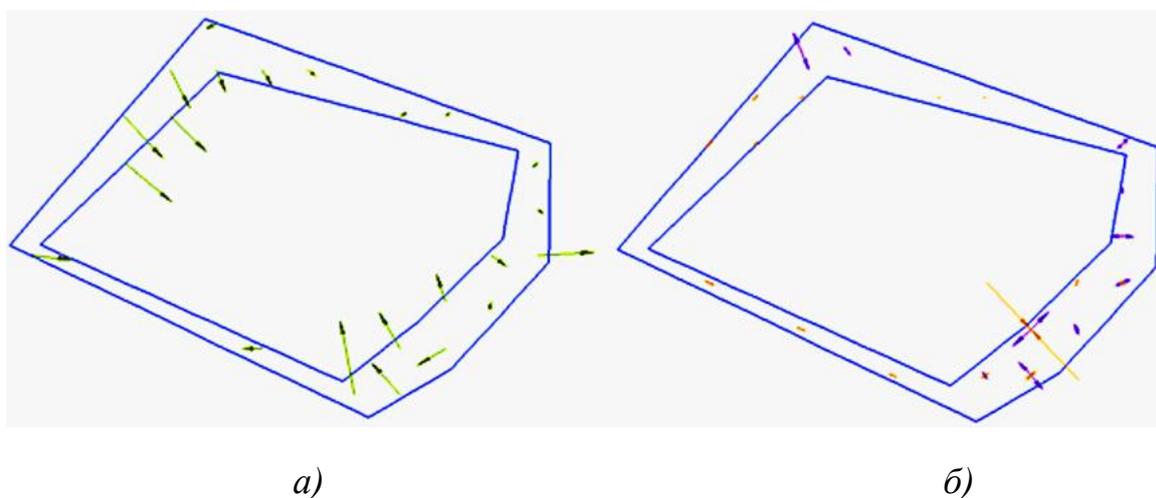


Рис. 4. Распределения векторов смещений и тензоров деформации

Также по результатам наблюдений были получены поля распределения компонент деформаций и главных деформаций земной коры, которые позволяют говорить о том, что границы карьера подвержены равномерным однородным горизонтальным деформациям, за исключением локальной зоны сжатия и зоны растяжения на противоположных бортах карьера – юго-восточном и северо-западном, соответственно.

Кроме спутниковых измерений на геодезических пунктах выполнялось повторное нивелирование, по результатам которого определялись вертикальные смещения земной коры [12-14]. Значительные вертикальные

смещения испытывает северо-западный борт карьера (несколько пунктов опустились на 70 мм, один пункт – на 129 мм), для предотвращения оползневых процессов стоит рассмотреть возможность искусственного укрепления бортов карьера на наиболее деформируемых участках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова И.Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2(13). – С. 9–12.

2. Кобелева Н.Н., Дорогова И.Е. Анализ повторных GPS-наблюдений на Таштагольском железорудном месторождении // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 77–83.

3. Дорогова И.Е. Изучение деформаций земной коры по результатам геодезических данных с использованием метода конечных элементов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 190–193.

4. Хорошилов В.С., Павловская О.Г., Носков М.Ф. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 19–24.

5. Мазуров Б.Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–21.

6. Басманов А. В. Геодезический мониторинг Байкальского геодинамического полигона Росреестра // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 48–54.

7. Мазуров Б.Т., Зарзура Ф.Х., Ахмед С.Х. Алгоритм определения прогнозной модели динамики вантовых мостов по данным ГНСС-мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 174–178.

8. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий / Толстиков А.С., Ащеулов В.А., Антонович К.М., Сурнин Ю.В. // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 2 (18). – С. 3–11.

9. Антонович К.М. Сравнение результатов линейных измерений, выполненных спутниковыми и традиционными методами геодезии // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 3. – С. 38–42.

10. Дорогова И.Е. Интерпретация наблюдений за движениями земной коры на техногенном полигоне // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 191–195.

11. Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К., Середович В.А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.

12. Колмогоров В. Г. К вопросу о возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 9–14.

13. Колмогоров В.Г., Дударев В.И. Состояние проблемы комплексного изучения современной геодинамики Сибири в конце двадцатого столетия// Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 3–12.

14. Кобелева Н.Н., Дорогова И.Е. Изучение горизонтальных и вертикальных движений земной коры по результатам GPS-наблюдений и нивелирования I класса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 186–189.

© И. Е. Дорогова, 2016

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

Анастасия Алексеевна Силаева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: silaeva_91@mail.ru

Вопросы мониторинга деформаций земной коры сегодня вызывают повышенный интерес, особенно на сложных геодинамических объектах, таких как нефтедобывающие предприятия, газопроводы, различного рода электростанции. Геодезические построения на таких объектах должны располагаться с учетом структурных математических моделей и постоянно уточняются, благодаря включению в состав измерений спутниковых определений. С этой точки зрения, в статье рассмотрена геодинамическая сеть, расположенная на угольном разрезе «Коркинский».

Ключевые слова: геодезические измерения, оптимизация, геодинамические полигоны.

TO THE PROBLEM OF OPTIMIZATION GEODETIC OBSERVATIONS ON TECHNOGENIC GEODYNAMIC POLYGONS

Anastasia A. Silaeva

Sibirian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., A post-graduate student, Engineering Geodesy and Surveying Department, tel. (383)343-29-55, e-mail: silaeva_91@mail.ru

The monitoring of crustal deformation associated with increased interest today, especially in the complex geodynamic objects, such as oil and gas companies, gas pipelines, power plants of various kinds. Geodetic build on such facilities should be located, taking into account the structural mathematical models and constantly refined, thanks to the inclusion of the definitions of satellite measurements. From this point of view, in the article the geodynamic network, located in the coal mine «Korkinsky».

Key words: geodetic measurements, optimization, geodynamic polygons.

Геодезические методы имеют большое значение при исследовании геодинамических систем, как природных [1 – 5], так и техногенного происхождения [6 – 9]. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам мониторинга геодинамических процессов на техногенных объектах. С этой целью, на территории таких объектов создаются специальные геодинамические полигоны (ГДП), которые позволяют надежно и оперативно контролировать изменения состояния приповерхностных геологических структур и размещенных на них сооружений, а также изучать развитие этих явлений во времени. Контроль должен базироваться на комплексном подходе, включающем геодезические, геофизические, гидрогеологические и другие методы исследований.

В данной работе рассмотрен геодинамический полигон, расположенный на угольном разрезе «Коркинский», в Челябинской области. Коркинский разрез является самым глубоким в Евразии и вторым в мире угольным разрезом. Он находится рядом с городом Коркино, в 35 км от Челябинска. Глубина разреза в настоящее время составляет более 500 метров. Мониторинг геодинамических процессов на данном объекте ведется не только с целью изучения движений земной коры, но и в связи с необходимостью повышения уровня промышленной безопасности. Известно, что в последние годы на шахте «Коркинская» произошло несколько аварий.

На Коркинском ГДП в настоящее время проводятся систематические наблюдения, в том числе и геодезические измерения координат пунктов, расположенных в пределах месторождения, в результате обработки которых определяются смещения центров реперов геодезической сети. На каждом пункте проводились измерения координат методом спутникового позиционирования, который показал высокую эффективность для решения задач геомеханики, благодаря его применению стали возможными не только дискретные измерения, но и регулярный мониторинг деформаций и напряжений, происходящих в земной коре [6].

Пункты, расположенные на рассматриваемом ГДП, образуют собой один из рекомендуемых типов построения – деформационную сеть. Пункты сети показаны на рис. 1.

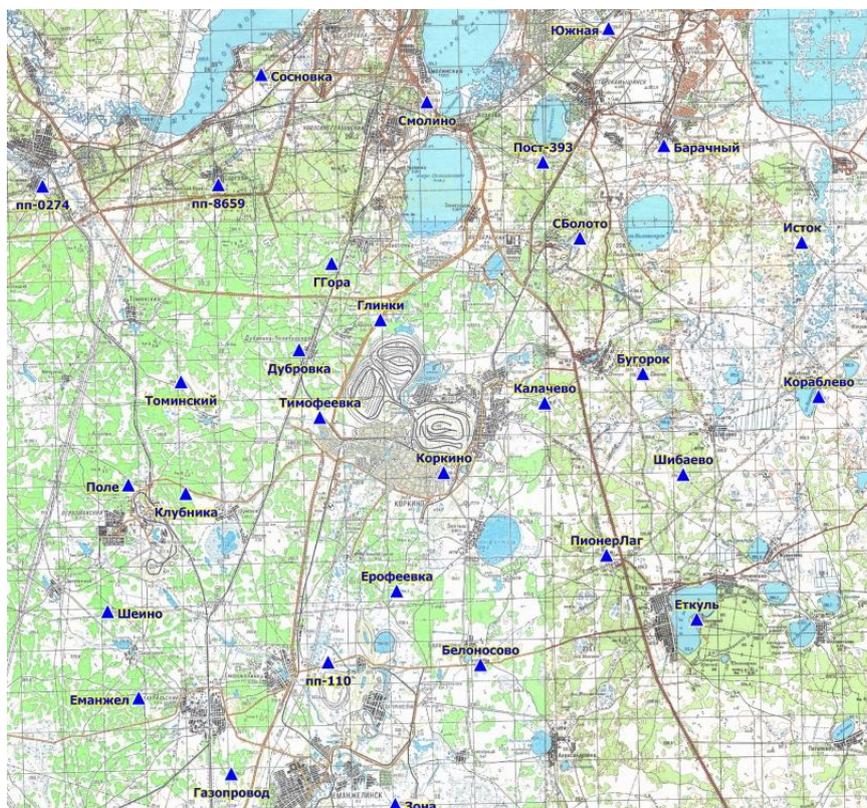


Рис. 1. Схема сети Коркинского ГДП

Известно, что параметры, которые необходимо учитывать при построении модели любого геодинамического объекта, зависят как от времени, так и от пространственных координат пунктов наблюдений. В нашем случае, для построения модели ГДП использовались исходные координаты пунктов сети и смещения, полученные из обработки геодезических измерений 2014 года. Соответственно, результаты наблюдений рассматриваются как многомерные пространственно-временные ряды [10].

По геодезическим данным было выполнено структурное моделирование полученных смещений центров реперов. На рис. 2 показана интерполяционная картина горизонтальных движений территории Коркинского ГДП. Зеленым цветом изображена сеть конечных элементов, использованная для необходимых вычислений, стрелками показаны векторы полученных смещений пунктов сети. Как мы можем судить, движения земной коры на данном участке носят вращательный характер, наблюдается ярко выраженное закручивание векторов по часовой стрелке. В работах [11, 12] подчеркивается необходимость обращения более пристального внимания на этот тип движения земной коры и тщательного изучения его характерных проявлений, а также актуальность исследования роли так называемой «вихревой геодинамики» в подготовке геодинамических процессов.

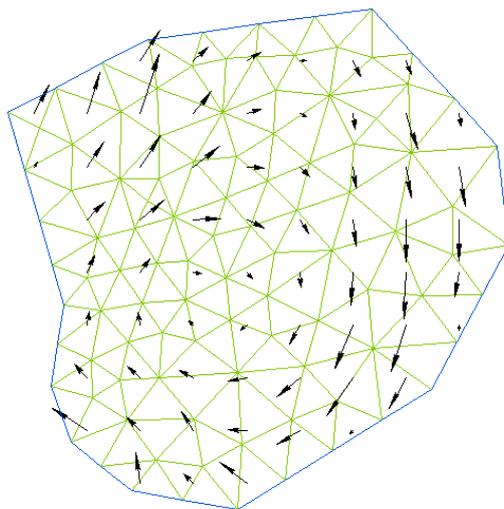


Рис. 2. Горизонтальные движения земной коры

На рис. 3 изображено изменение границы и формы полигона, а на рисунке 4 – тензоры деформации. Как известно, тензоры характеризуют сжатие (растяжение) и изменение формы в каждой точке тела при деформации. На рис.4 сжатие обозначено синими стрелками внутрь, растяжение – красными стрелками наружу.

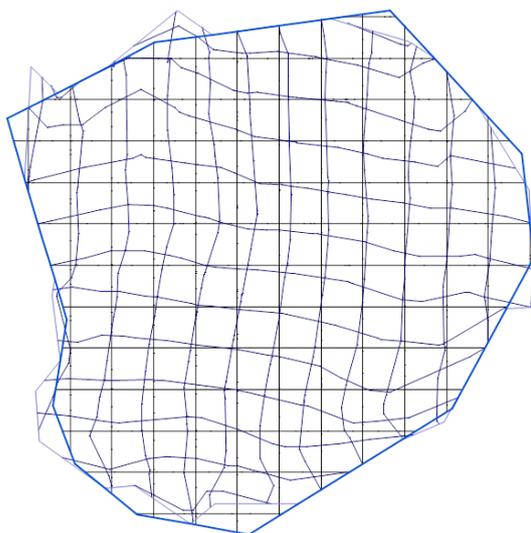


Рис. 3 Изменение формы

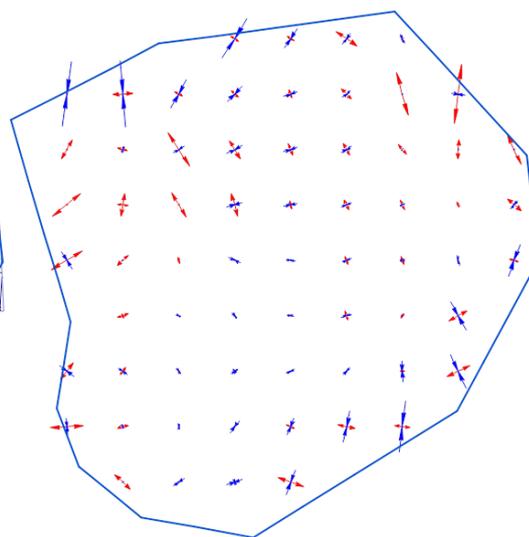


Рис. 4. Тензоры деформации

Также была выполнена визуализация полей смещений и их составляющих, а также характеристик полей деформаций. Визуализация смещений точек земной поверхности дает возможность выделить активные геологические структуры, блоки, тектонические разломы [13 – 15]. Анализ результатов визуализации позволяет спрогнозировать места возможных сейсмических событий и, соответственно, принять меры профилактики для обеспечения безопасности населения и самих объектов.

Итак, на Коркинском ГДП можно выделить один участок (кластер), на котором отчетливо выделяются движения вращательного характера. Пункты внутри полигона расположены с учетом предполагаемой границы этого участка и приблизительно схожи между собой по своим характеристикам. Контролирующие геодезические построения постоянно уточняются благодаря спутниковым измерениям. В целом, стоит отметить, что мониторинг на Коркинском ГДП ведется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.

Здесь рассмотрен пример сложного геодинамического объекта – ГДП, расположенного на угольном разрезе Коркинский. Его изучение ведется с позиции системного подхода и системного анализа. Моделирование этой геодинамической системы рассматривается во взаимосвязи с оптимизацией системы наблюдений (по составу, в пространстве, во времени), которая в свою очередь должна выполняться с учетом структурных математических моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров Б.Т. Геодинамические системы (теоретические основы качественного исследования горизонтальных движений) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33).
2. Мазуров Б.Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и

изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–21.

3. Мазуров, Б.Т. Модель вертикальных движений земной поверхности и изменений гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 2. – С. 97–106.

4. Мазуров Б.Т. Моделирование и идентификация геодинамического объекта в вулканической области по комплексным нивелирным и гравиметрическим наблюдениям // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 84–94.

5. Мазуров Б.Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 93–102.

6. Панжин А.А. Наблюдение за сдвижением земной поверхности на горных предприятиях с использованием GPS // Известия УГГГА. Сер. Горное дело. – 2000. – № 11. – С. 196–203.

7. Силаева А.А. Особенности проектирования геодинамических полигонов на техногенных объектах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 183–187.

8. Мазуров Б.Т., Панжин А.А., Силаева А.А. Организация системы наблюдений за сдвигами на Коркинском техногенном полигоне // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 29–33.

9. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 9–13.

10. Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К., Середович В.А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.

11. Мазуров Б.Т. Некоторые примеры определения вращательного характера движений земных блоков по геодезическим данным // Геодезия и картография. – 2010. – № 10. – С. 58–61.

12. Мазуров Б.Т., Дорогова И.Е., Дербенев К.В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.

13. Панжин А.А., Мазуров Б.Т., Силаева А.А. Визуализация характеристик деформационных полей по данным геодезических наблюдений // Проблемы недропользования. – 2015. – № 3 (6). – С. 13–18.

14. Мазуров Б.Т. Компьютерная визуализация полей смещений и деформаций // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 51–55.

15. Мазуров Б.Т., Панжин А.А., Силаева А.А. Структурное моделирование полученных по геодезическим данным сдвижений путем визуализации // Геодезия и картография. – 2016. – № 3.

© А. А. Силаева, 2016

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Динара Аманбековна Абжапарова

Ошский государственный университет, 714000, Киргизия, г. Ош, ул. Ленина, 331, доцент, тел. (996-03-222)5-46-65, e-mail: 0777859505@mail.ru, моб. тел. (996)777-85-95-05

Центральная Азия является активным геодинамическим регионом. Кроме природных, на геодинамику влияют техногенные причины. Актуальными являются вопросы организации мониторинга геодинамики, математической обработки геодезических наблюдений, а также определения оптимальной геодезической проекции.

Ключевые слова: Центральная Азия, геодинамика, геодезия, оптимальная проекция.

THE STUDY OF CENTRAL ASIA GEODYNAMICS GEODETIC METHODS

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, professor, Ph. D, tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Dinara A. Abjaparova

Osh state university, 714000, Kyrgyzstan, Osh, Lenina, 331, Assistant professor, tel. (996-03-222)5-46-65, e-mail: 0777859505@mail.ru, mob. tel. (996)777-85-95-05

Central Asia is an active geodynamic region. In addition to natural on geodynamics influenced by anthropogenic causes. Matters relating to the organization of monitoring of geodynamics, mathematical processing of geodetic observations, as well as the optimal geodesic projection.

Key words: Central Asia, geodynamics, geodesy, the optimal projection.

Регин Центральная Азия (ЦА) (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан) имеет сложный контрастный рельеф и очень интересен для изучения внутриконтинентальной геодинамики. Активные современные геодинамические процессы, связанные с продолжающимся горообразованием на значительной части территории Азии, обуславливают высокую сейсмичность этого региона.

Следствия повышенной геодинамической активности выражены в частом возникновении в Центральной Азии природных бедствий, таких как землетрясения, наводнения, оползни, прорывы ледниковых озер, сели, засухи и др. Влияние оказывают техногенные причины: инженерная деятельность,

разработка месторождений полезных ископаемых [1-3]. Происходящие природные и природно-техногенные бедствия влекут за собой гибель людей, материальные и экономические потери, создают экологические проблемы, и имеют сильное негативное воздействие на устойчивое развитие и благосостояние общества в Центральной Азии.

Мониторинг геодинамики должен включать сейсмические, геодезические, геоэлектрические и гидрометеорологические наблюдения. Большое значение приобретают дистанционные методы исследований, спутниковые изображения с высоким разрешением [4-6], а так же радарные и интерферометрические данные [7], за счет чего увеличиваются площади, охваченные мониторингом окружающей среды и геодинамических процессов.

Главной целью является создание системы быстрого реагирования и раннего оповещения при возникновении любых типов опасности, таких, как землетрясения, оползни [8, 9], гидрометеорологические опасности, или вызванные антропогенным воздействием на окружающую среду. Важным моментом в проведении данных работ будет разработка методик математического моделирования и идентификации напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф [10, 11].

Отметим регион бассейна реки Сары-Джаз, включающий крупнейший ледник Энилчек, являющийся одним из крупных источников пресной воды и потенциальным источником для гидроэнергетики в регионе. Кроме того, бассейн реки Сары-Джаз представляют собой обширную базу для развития цветной и полиметаллической металлургии. Сконцентрированные здесь крупные месторождения олова, вольфрама, меди, свинца, молибдена, полиметаллов, тантала представляют значительную промышленную ценность. Необходимо продолжить исследования по оценке развития опасных природных процессов и явлений, как в целом по бассейну реки Сары-Джаз, так и на потенциальных участках размещения створов будущих плотин ГЭС. Регион Чуйской и Иссыккульской впадин, где расположены наиболее крупный город Бишкек и курортно-туристическая зона международного значения, требует особого подхода при разработке мер по снижению сейсмического риска, антропогенной нагрузки.

Территория горного обрамления Ферганского бассейна и внутреннего Тянь-Шаня, представляет собой наиболее густонаселенную область в Центральной Азии, подверженную многочисленным рискам природных катастроф (землетрясения, оползни, паводки и сели). Оползневые процессы на территории Кыргызстана и соседних Центрально-Азиатских стран имеют широкое распространение из-за преобладания горного рельефа. Оползневые явления представляют собой значительную часть зарегистрированных природных катастроф на территории Кыргызской Республики.

Перечисленные регионы представляют особую важность для изучения вероятности возникновения как природных, так и природно-техногенных стихийных бедствий, и имеют большое значение для рационального

водоснабжения в Кыргызстане и на прилегающих территориях в Узбекистане, Казахстане, и Синьцзянском автономном районе Китая, для планирования крупномасштабных технических проектов в регионе таких, как каскады гидроэлектрических станций, высоковольтные линии электропередач, водохранилища, транспортные железнодорожные и автодорожные системы и другие перспективные планы, которые влияют на социально-экономическое развитие и благосостояние населения стран Центральной Азии.

В Кыргызстане геодинамические исследования ведутся в Центрально-Азиатском институте прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ). Накапливаются сведения о поверхностных деформациях по данным космической геодезии и дистанционного зондирования. Обнадеживающие предварительные результаты получены при сопоставлении данных GNSS и сейсмологии в районе бассейна реки Сарыджаз). Применение методов космической геодезии [12] позволяет оценить деформационный процесс земной коры. Научная станция Российской академии наук в г. Бишкек (НС РАН) проводит регулярные измерения GPS сети Центральной Азии [13].

Остается актуальной тема преобразований координат с необходимой точностью для любых расстояний на поверхности эллипсоида. Продолжаются исследования математических преобразований и реализаций алгоритмов с учетом возможностей современных компьютеров. В этом аспекте выделяются фундаментальные исследования Lee L.P., Karney C.F.F. [14]. Этими авторами заявлено, что реализации алгоритмов для поперечной проекции Меркатора позволит достичь точности близкой к машинной точности. Первый алгоритм основывается на точных уравнениях Томпсона и Ли, а другой использует метод Крюгера для проекции более высокого порядка. Точный метод обеспечивает точность 9 нм на весь эллипсоид, в то время как ошибки при использовании второго метода менее 5 нм в 3900 км от центрального меридиана. Скорость алгоритмов является конкурентоспособной с другими менее точными алгоритмами. В [15] предложен вариант повышения точности формулы масштаба в проекции Гаусса – Крюгера для двенадцатиградусных зон путем выделения в ней сферических членов. После упрощения этой формулы результаты определяются с точностью по десятым долям миллиметра.

В Кыргызстане, как и в других республиках СНГ (Казахстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан) введена новая система координат СК-95. Система координат 1942 г. (СК-42) по точности, качеству, однородности координат значительно уступает новой системе координат СК-95. В отличие от СК-42, СК-95 пригодна для мобильного использования в спутниковой технологии и технике систем измерений GPS, ГЛОНАСС [15].

Путей распространения координат много, но с учетом сложившихся обстоятельств дефицита времени, кадров, компьютеров придется выбирать какой-то компромиссный вариант на весь «переходный период». Точность геодезических сетей городов и республики в целом предопределяют качество и надежность многих других проектов, задач, связанных с земельным кадастром, навигацией, устойчивым развитием территорий.

Одномоментный переход на новую систему координат СК-95-затруднен по многим причинам. Одна из причин – необходимо перевычисление всех каталогов координат высоты на всю территорию КР. Подготовка каталогов координат – ответственная и трудоемкая работа. Для ее выполнения нужно знать нормальные высоты пунктов АГС. Ранее нормальные высоты были получены в большей части из результатов геодезического нивелирования. Так как 80% территории Кыргызской Республики – горы, геодезическое нивелирование осуществлялось «пообъектно» [16].

Сегодня появилась возможность улучшить результаты геодезического нивелирования как за счет новых непосредственных GPS – определений (X, Y, Z, H), новых нивелирных работ с привязкой пунктов АГС, так и за счет большего использования: пунктов АГС, имеющих отметки из геометрического нивелирования, используя «межобъектовый» принцип уравнивания геодезического нивелирования. В этой проекции Кыргызстан изображается на одном месте масштаба 1:1000000. Но, для решения инженерно-геодезических задач на данную территорию потребуется подготовить и издать 3072000 планшетов масштаба 1:500 с графической точностью 0,05м, такую точность геодезические сети республики обеспечивают. Однако, проекция Гаусса-Крюгера дает больше линейных и угловых искажений, особенно на краях 6° и 3° зон, порядка 0,20 мм на 1 км. Поэтому, предлагается использовать вторую проекцию с пренебрегаемо малыми искажениями для решения инженерно-геодезических задач в народном хозяйстве, с точной математической связью с государственной проекцией Гаусса-Крюгера [17].

По нашему мнению, такой проекцией может стать конформная стереографическая проекция в определении Гаусса. Она может в двое меньше исказить, чем государственная проекция Гаусса-Крюгера. Тогда все инженерно-геодезические сети сгущения могут использоваться без редуцирования их на плоскость и наоборот, что дает значительный экономический эффект. Связь с GPS и ГЛОНАСС устанавливаются рабочими формулами и программами по современным параметрам Земли ПЗ-90 как по прямоугольным, так и по геодезическим координатам с необходимой точностью.

Мониторинг геодинамики обязательным образом включает прогнозирование. Собственно, именно прогнозирование является главной целью всех мониторинговых инструментальных исследований. И, конечно же, важным является корректная математическая обработка пространственно-временных рядов геодезических измерений [10]. Создание новых и усовершенствование имеющихся алгоритмов обработки также необходимы для обеспечения надежного исследования геодинамики Центральной Азии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панжин А.А., Мазуров Б.Т., Силаева А.А. Визуализация характеристик деформационных полей по данным геодезических наблюдений // Проблемы недропользования, ИГД УрАН. – Екатеринбург, 2015. – № 3.– С. 13–18.

2. Мазуров Б.Т., Панжин А.А., Силаева А.А. Организация системы наблюдений за сдвигениями на Коркинском техногенном полигоне // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 29–33.
3. Мазуров Б.Т., Дорогова И.Е., Дербенев К.В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.
4. Мазуров Б.Т., Хамедов В.А., Князьков А.С. Опыт использования космических снимков с космических аппаратов типа "Канопус-В" и "БКА" для обнаружения участков нефтяных загрязнений на месторождениях Западной Сибири // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 179–183.
5. Хамедов В.А., Мазуров Б.Т. Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории Западной Сибири // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 16–31.
6. Хамедов В.А., Мазуров Б.Т. Оценка точности определения площадей лесных рубок с использованием снимков с российского космического аппарата "Ресурс-П" №1 // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 42–50.
7. Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна / Ф.К. Низаметдинов, Д.В. Мозер, Н.И. Гей, А.С. Туякбай, А.Д.Каранеева // Геоматика. – 2014. – №4. – С. 70–78.
8. Хорошилов В.С., Павловская О.Г. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений вертикальных перемещений осадочных реперов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 31–34.
9. Хорошилов В.С., Павловская О.Г., Носков М.Ф. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 19–24.
10. Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К., Середович В.А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.
11. Мазуров Б.Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
12. Mozer D.V., Nizametdinov F.K., Toleubekova Zh.S., Development of methodology for reducing errors of GPS measurements and its approbation in the open pits of Kazakhstan Life Science Journal. –2014. – 11(12s). – P.814-820.
13. Зубович А.В., Макаров В.И., Кузиков С.И., Мосиенко О.И., Щелочков Г.Г. Внутриконтинентальное горообразование в Центральной Азии по данным спутниковой геодезии. // Геотектоника. – 2007. – № 1. – С.16–29.
14. Karney, C.F.F. 'Transverse Mercator projection with an accuracy of a few nanometres', Journal of Geodesy August 2011. – Volume 85. – P. 475-485.
15. Макаров А.П., Исследование формулы масштаба в проекции Гаусса – Крюгера для 12-градусных координатных зон // Геодезия и картография. – 2014. – № 9. – С. 2–4.
16. Абжапарова Д. А. Математическая обработка инженерных геодезических сетей в стереографической проекции Гаусса // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 27–32.
17. Абжапарова Д. А. Разработка оптимальной проекции и системы координат для инженерно-геодезических работ Кыргызстана // Вестник ОшГУ. – 2012. – С. 209–213.

© Б. Т. Мазуров, Д. А. Абжапарова, 2016

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Природные процессы преимущественно являются нелинейными, для их исследования должна быть использована соответствующая математическая основа. Здесь описаны некоторые возможности использования систем дифференциальных уравнений для качественного исследования геодинимических систем в фазовом пространстве.

Ключевые слова: геодинимические системы, качественное исследование, дифференциальные уравнения, фазовое пространство.

PERFORMANCE OF GEODYNAMIC SYSTEMS IN PHASE SPACE

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, professor, Ph. D., tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Natural processes are mostly nonlinear, their study should be used appropriate mathematical basis. Here are some of the possibilities of using systems of differential equations for the qualitative study of geodynamic systems in the phase space.

Key words: geodynamic systems, qualitative research, differential equations, phase space.

Геодезическими методами возможна точная и оперативная фиксация и изменение во времени координат точек земной поверхности, элементов различных инженерных сооружений. Традиционно представления изменений координат точек земной поверхности во времени выполняются в виде векторов. Для горизонтальных движений некоторые интегральные характеристики деформационных полей возможно получать, используя модель локально-однородной деформации [1]. Вычисляются тензоры деформаций, по элементам которых определяется дилатация (сжатие/растяжение), сдвиговые компоненты и угол вращения. Для геодинимических систем глобального и регионального масштаба процесс их идентификации усложняется ввиду кривизны земной поверхности [2]. В связи с принятием гипотезы движения литосферных плит как главенствующую, востребованы модели их относительных движений на основе теоремы Леонарда Эйлера [3]. Примером такой модели является NUVEL1A [4].

Изучение горизонтальных движений земной поверхности (ГДЗК) получило активное развитие с появлением спутниковых технологий. В настоящее время непрерывные и повторные GPS измерения проводятся на территории многих стран и регионов, появляется все больше работ, посвященных наблюдениям и

анализу горизонтальных движений и деформаций на геодинамических полигонах (ГДП).

Локальная геодинамика кроме не очень больших (до 100 км) сейсмоопасных территорий, включает также техногенные регионы. Например, месторождения полезных ископаемых [5-8], крупные гидроузлы (ГЭС), мегаполисы, инженерные сооружения, здания и др.

При изучении вертикальных движений земной коры (ВДЗК) наиболее точные результаты дает геометрическое нивелирование. По ним создают карты вертикальных движений, совместно с гравиметрическими данными создают некоторые модели глубинных процессов, например подготовку вулканического извержения [9-11]. То есть, делается попытка по геодезическим и гравиметрическим данным решать некорректные обратные задачи геофизики.

Характер горизонтальных смещений земной коры принципиально отличается от вертикальных, поэтому и подходы к их изучению должны быть различными. Одним из примеров характерных горизонтальных движений земной поверхности являются вращательные движения. В последнее время получило развитие направление в тектонике и геодинамике названное «вихревой геодинамикой» [12-14]. Некоторые примеры распределений векторов горизонтальных смещений земной коры, полученных по геодезическим измерениям на некоторых ГДП Евразии и указывающих на вращательный характер земной поверхности даны в [1, 2, 5, 6]. Природные процессы имеют преимущественно нелинейный характер [13, 14]. Нелинейные процессы присутствуют при движениях тектонических блоков. И, в частности, при разнонаправленном движении соседних блоков, когда возникает опасность сейсмического события – землетрясения. Геодезические данные и их последующий статистический анализ в совокупности с геофизическими наблюдениями позволяет выполнять математическое моделирование и идентификацию напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф [15].

Имеется объективная потребность использования методов и приемов качественного исследования динамических систем и одновременно естественность использования этой теории при рассмотрении математических моделей реальных систем, в том числе геодинамических.

Одним из основных математических понятий является дифференциальное уравнение. Дифференциальное уравнение – способ нахождения функций, производные которых соответствуют некоторым наперед заданным условиям. Исследование какого-либо реального, природного в том числе, явления или процесса может иметь одним из результатов дифференциальную модель этого явления или процесса. Конечно же, дифференциальные модели являются частным случаем множества моделей, которые могут быть построены при изучении окружающего мира. Существуют различные типы дифференциальных моделей. Для таких уравнений особенностью является то, что неизвестные функции в этих уравнениях зависят только от одной переменной.

Здесь рассматриваются вопросы приложения к интерпретации пространственно-временных рядов геодезических наблюдений обыкновенных дифференциальных уравнений [16, 17]. Конечно же, в процессе построения обыкновенных дифференциальных моделей для геодинамических исследований геодезическими методами важно учитывать законы, объясняющие геодинамические процессы и явления и даже гипотезы, как элементы развития науки. И, если результаты исследования полученного дифференциального уравнения как математической модели согласуются с опытными данными, то это весомый аргумент правильности (адекватности) проверяемой гипотезы.

Осложняет процесс исследования большая сложность решения дифференциальных уравнений в замкнутой форме – аналитической формулы, использующей конечное число простейших операций над элементарными функциями. Примером таких решений есть, например законы Кеплера движения планет. Основываясь на законе всемирного тяготения, все три закона Кеплера получаются как решения дифференциальных уравнений. Другой пример касается получения уравнения упругой линии, используемой для определения максимального прогиба, например балки конструкции мостов.

Если для представления решений дифференциальных уравнений использовать бесконечные ряды того или иного вида, выявить наиболее существенные и интересные свойства решений очень затруднительно. Необходимы приемы и методы, которые позволяли бы, не решая самих дифференциальных уравнений, получать необходимые сведения о тех или иных свойствах решений. Такие методы существуют – они составляют содержание качественной теории дифференциальных уравнений [16, 17]. В ее основе лежат общие теоремы о существовании и единственности решений, о непрерывной зависимости решений от начальных данных и параметров.

Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{d^2x}{dt^2} = f\left(x, \frac{dx}{dt}\right). \quad (1)$$

Пусть динамическая система, состоит из частицы единичной массы, которая движется по оси x (рис. 1) и на которую действует сила $f\left(x, \frac{dx}{dt}\right)$. Тогда уравнение движения частицы может быть описано нелинейным дифференциальным уравнением (1). Значениям x и $\frac{dx}{dt}$, в любой момент времени характеризующим состояние системы, соответствует точка на плоскости $\left(x, \frac{dx}{dt}\right)$ (рис. 2).

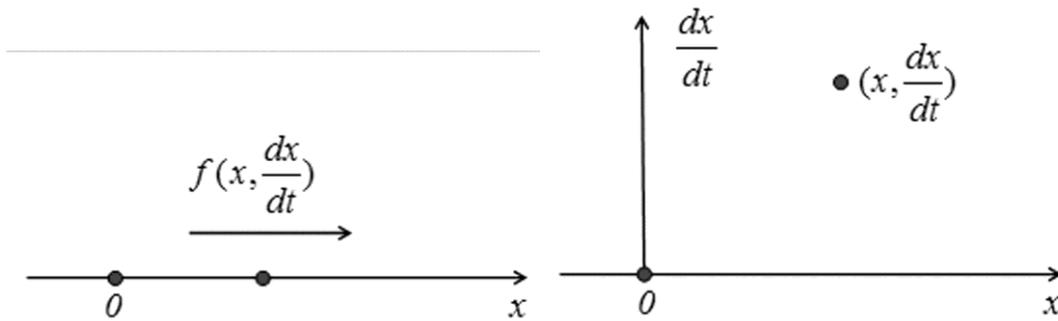


Рис. 1. Движение частицы по оси x

Рис. 2. Точка на фазовой плоскости

Данная плоскость называется плоскостью состояний или фазовой плоскостью. Данная плоскость является изображением совокупности всех возможных состояний динамической системы. Различные точки (изображающие) фазовой плоскости отражают каждое новое состояние системы. Траектория изображающей точки называется фазовой траекторией, а скорость этой точки – фазовой скоростью.

После введения переменной $y = \frac{dx}{dt}$ уравнение (1) сводится к системе двух дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad \frac{dy}{dt} = f(x, y). \quad (2)$$

Если считать t параметром, решением системы (2) является пара функций $x(t)$ и $y(t)$. Они определяют в фазовой плоскости (x, y) упомянутую выше фазовую траекторию.

Из многих качеств, присущим подобным системам выделим случай, когда траектория вырождается в точку. В данном случае используются термин особая точка. Если особая точка не устойчива, применяют понятие точка бифуркации. Термин "точка бифуркации" пришел из теории хаоса и описывает такое состояние системы, при котором любое, сколь угодно малое воздействие способно привести к любому, сколь угодно большому изменению состояния системы. Теория бифуркаций направлена на объяснение целого ряда нелинейных эффектов в реальных системах. Это может быть перенесено на исследование геодинамических систем, как поиск возможного предвестника (места) резкого изменения состояния (землетрясение, оползни и др.).

Современные геодезические методы координатизации предоставляют данные, анализ которых может быть использован для качественного оценивания геодинамических систем локального и регионального масштабов. В том числе, с использованием методов отображения поведения геодинамических систем в фазовом пространстве. Как для исследования ВДЗК, так и ГДЗК, и даже в пространстве, что актуально в предгорных и горных территориях.

Именно они являются зонами максимального риска возникновения сейсмических событий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров Б. Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
2. Дорогова И.Е. Изучение горизонтальных движений земной коры вращательного характера по данным геодезических наблюдений // Геодезия и картография. – 2013. – № 4. – С.37–40.
3. Мазуров Б.Т., Медведев П.А. Леонард Эйлер – вклад для астрономии, небесной механики, геодезии, картографии, геодинамики // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 186–192.
4. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: В 2 т. Т.2. монография – М.: ФГУП «Картгеоцентр». 2006. – 360 с.
5. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2. – С. 9–12.
6. Мазуров Б.Т., Дорогова И.Е., Дербенев К.В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.
7. Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна / Ф.К.Низаметдинов, Д.В.Мозер, Н.И.Гей, А.С.Туякбай, А.Д.Каранеева // Геоматика. – 2014. – №4. – С. 70-78.
8. Мониторинг деформаций земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна / Д.В.Мозер, Е.Л.Левин, Н.И.Гей, А.Д.Каранеева, А.А.Нагибин // Геодезия и картография. – 2015. – №3. – С.21-26.
9. Мазуров, Б.Т. Модель вертикальных движений земной поверхности и изменений гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 2. – С. 97 – 106.
10. Мазуров Б.Т. Моделирование и идентификация геодинамического объекта в вулканической области по комплексным нивелирным и гравиметрическим наблюдениям // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 84–94.
11. Мазуров Б. Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана //Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 93–102.
12. Мазуров Б.Т. Некоторые примеры определения вращательного характера движений земных блоков по геодезическим данным // Геодезия и картография. – 2010. – №10. – С. 58–61.
13. Кузнецов Ю.И., Мазуров Б.Т., Никитина Ю.В. Математическая модель волноводов в земной коре // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 3, ч. 1. – С. 86–90.
14. Кузнецов Ю.И., Мазуров Б.Т., Тихонов В.И. Математическая модель вращательных кольцевых структур Земли // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 3. – С. 61–66.
15. Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К., Середович В.А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в

аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.

16. Derrick W.R., Grossman S.I. Elementary differential equations with applications. – 2–nd. ed. – Reading, Mass.: Addison–Wesley, 1981. – 532 p.

17. Differential equation models / Ed.: Braun M. – New York etc.: Springer, 1983. – 380 p.

© *Б. Т. Мазуров, 2016*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Геодезические данные об изменении координат точек земной поверхности являются экспериментальной основой понимания картин деформационных полей и причин происходящих в них изменений. Здесь описаны некоторые возможности использования систем дифференциальных уравнений для качественного исследования горизонтальных движений земной поверхности.

Ключевые слова: геодинамические системы, горизонтальные движения, качественное исследование, дифференциальные уравнения.

THEORETICAL BASIS A QUALITATIVE STUDY OF HORIZONTAL MOVEMENTS OF THE GEODYNAMIC SYSTEMS

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, professor, Ph. D., tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Geodetic data on changes of coordinates of ground points are the experimental basis of our understanding of the paintings of the strain fields and the causes of their variation. Here are some of the possibilities of using systems of differential equations for the qualitative study of horizontal movements of the earth's surface.

Key words: geodynamic systems, horizontal motion, qualitative research, differential equations.

Несмотря на многочисленные работы и исследования, посвященные изучению движений земной поверхности по данным GPS-наблюдений, горизонтальные движения земной коры на сегодняшний день остаются менее изученными, чем вертикальные. Степень изученности горизонтальных движений проявляется в частности в том, что при наличии значительных объемов результатов геодезических измерений анализ многих из них выполняется в сжатом малоинформативном виде или с помощью методов, аналогичных применяемым для интерпретации вертикальных движений.

Математическое обеспечение исследования горизонтальных движений ввиду их двухмерного описания объективно должно быть значительно расширено за счет использования самых различных методов моделирования.

Например, идет развитие направления в тектонике и геодинамике названное «вихревой геодинамикой» [1-3]. Некоторые примеры распределений

векторов горизонтальных смещений земной коры, полученных по геодезическим измерениям на некоторых ГДП Евразии и указывающих на вращательный характер земной поверхности даны в [1, 4-6]. Природные процессы имеют нелинейный характер. Геодезические данные и их последующий статистический анализ в совокупности с геофизическими наблюдениями позволяет выполнять математическое моделирование и идентификацию напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф [7-9]. Результаты исследований могут быть перенесены на геодезический мониторинг различных инженерных сооружений [10, 11].

Здесь описаны теоретические основы некоторых возможностей использования дифференциальных уравнений для качественного оценивания природных процессов, проявляющихся в виде сложных картин горизонтальных движений земной поверхности. Если для представления решений дифференциальных уравнений использовать бесконечные ряды того или иного вида, выявить наиболее существенные и интересные свойства решений очень затруднительно. Существуют приемы и методы, которые позволяли бы, не решая самих дифференциальных уравнений, получать необходимые сведения о тех или иных свойствах решений. Такие методы – они составляют содержание качественной теории дифференциальных уравнений [12].

Рассмотрим автономную динамическую систему на плоскости. Многие задачи механики и физики при упрощающих предположениях приводят к рассмотрению одного дифференциального уравнения второго порядка

$$\ddot{x} = f(x, \dot{x}, t) = 0. \quad (1)$$

В элементах формулы (1) точки над символами обозначают скорость (одна точка) и ускорение (две точки). Вводится новое обозначение $\dot{x} = y$. Соответственно, $\ddot{x} = \dot{y}$. И уравнение (3) тогда запишется в виде системы двух дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = y, \quad \dot{y} = f(x, y, t). \quad (2)$$

Представление (1) в виде (2) является значительно удобнее для выполнения исследования динамических систем на плоскости. В том числе для исследования геодинамических систем на плоскости, а конкретно на плоскости конформной проекции некоторого участка поверхности Земли. Геодинамические объекты регионального и локального масштаба имеют соответствующее координатное обеспечение геодезических пунктов при исследовании горизонтальных движений земной поверхности.

Более общий вид системы двух дифференциальных уравнений для решения задач написания уравнений движения следующий

$$\dot{x} = P(x, y, t), \quad \dot{y} = Q(x, y, t). \quad (3)$$

Также интересен для практических приложений случай, если исключить в (3) из списка переменных t

$$\dot{x} = N(x, y), \quad \dot{y} = M(x, y). \quad (4)$$

Система (4) является автономной динамической системой второго порядка. Она определяет векторное поле и имеет также название динамическая система на плоскости. И вопрос в том, как найти решение динамической системы.

Если математической моделью реальной физической системы является динамическая система вида (4), то с помощью этой системы возможно проследить изменение состояний рассматриваемой реальной системы при изменении времени t . Задание начальных значений x_0, y_0, t_0 однозначно определяет решение для всех значений t – описывает «прошлое» и «будущее» (экстраполяция, прогноз). Для этого нужно найти решение (проинтегрировать) (4). В большинстве случаев выразить решение системы (4) через элементарные функции или через интегралы от элементарных возможно лишь в случае частных типов этой системы. Например, в случае линейных систем. Но, не каждая физическая система может быть хотя бы приближенно описана линейной системой. Это относится к природным и природно-техническим системам в большинстве случаев. В том числе к геодинамическим системам различных пространственно-временных масштабов.

В случае же нелинейных систем к вопросу нахождения решения можно подойти так: отказаться от отыскания аналитических выражений для решений и, задавая с той или иной степенью точности некоторые начальные значения, приближенно вычислять решения на заданном промежутке значений. При наличии современных информационных технологий такое приближенное вычисление решений для некоторых задач может дать в некоторых случаях необходимый ответ.

Важно также понимать, для многих задач иногда представляет интерес не аналитический вид решения и не приближенное вычисление решений, а, учет состояния равновесия у конкретной динамической системы, и насколько оно устойчиво. В [12] приведены примеры качественного исследования динамической системы. Они могут быть перенесены на исследование геодинамических систем, например горизонтальных движений земной поверхности, техногенных объектов.

Пример 1.

$$\frac{dx}{dt} = 1, \quad \frac{dy}{dt} = 0.$$

Траектории – прямые, параллельные оси x

$$y = c_1, \quad x = t + c_2.$$

Пример 2.

$$\frac{dx}{dt} = ax, \quad \frac{dy}{dt} = by. \quad (5)$$

При этом a и b одного знака. Решение системы (5) для начальных значений t_0, x_0, y_0 имеет вид

$$x = x_0 e^{a(t-t_0)}, \quad y = y_0 e^{b(t-t_0)}. \quad (6)$$

Отмечаем, что аргументом уравнений системы (6) является $t - t_0$, то есть интервал времени в приложении к геодинамическим системам также.

Если исключить $t - t_0$ в (6), траектории системы (5) возможно получить переходя к декартовым координатам. Траектории будут представлять собой семейство парабол

$$y = y_0 \frac{x^{b/a}}{x_0^{b/a}}.$$

Для случая, когда полагаем $x_0 \neq 0$ и $c = \frac{y_0}{x_0^{b/a}}$ получаются параболы $y = cx^{b/a}$ и система (5) записывается в виде одного уравнения

$$\frac{dx}{dy} = \frac{ax}{by}.$$

Интегральными кривыми системы (5) в пространстве (x, y, t) могут быть не только параболы, например:

1) ось t , т. е. $x = 0, y = 0$ (эти уравнения получаются из уравнений (6) при $x_0 = y_0 = 0$);

2) показательные кривые
 $x = x_0 e^{a(t-t_0)}, \quad y = 0;$

3) показательные кривые
 $x = 0, \quad y = y_0 e^{b(t-t_0)}.$

Для дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = -x, \quad \frac{dy}{dt} = y \quad (7)$$

и при начальных значениях t_0, x_0, y_0 решение системы (7) имеет вид

$$x = x_0 e^{-(t-t_0)}, \quad y = y_0 e^{(t-t_0)}.$$

Система имеет аналитический интеграл $xy = C$, которому соответствуют интегральные кривые в виде гипербол.

Приведенные выше примеры интегральных кривых могут быть качественными характеристиками геодинамических систем. Во многих случаях подобные траектории соответствуют горизонтальным движениям земной поверхности в местах активных тектонических разломов, сочленений блоков земной коры. Именно эти места наиболее вероятны в аспекте возникновения сейсмических событий – землетрясений, например. Современные геодезические методы координатизации предоставляют данные, анализ которых может быть использован для качественного оценивания геодинамических систем локального и регионального масштабов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров Б. Т. Некоторые примеры определения вращательного характера движений земных блоков по геодезическим данным // Геодезия и картография. – 2010. – № 10. – С. 58–61.
2. Кузнецов Ю.И., Мазуров Б.Т., Никитина Ю.В. Математическая модель волноводов в земной коре // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 3, ч. 1. – С. 86–90.
3. Кузнецов Ю.И., Мазуров Б.Т., Тихонов В.И. Математическая модель вращательных кольцевых структур Земли // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 3. – С. 61–66.
4. Мазуров Б.Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
5. Дорогова И. Е. Изучение движений и деформаций земной коры на геодинамическом полигоне Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2. – С. 9–12.
6. Мазуров Б.Т., Дорогова И.Е., Дербенев К.В. Горизонтальные движения земной коры вращательного характера, наблюдаемые на геодинамических полигонах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 232–236.
7. Мазуров Б.Т., Панкрушин В.К., Середович В.А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – № 9. – С. 30–35.
8. Мазуров Б.Т. Моделирование и идентификация геодинамического объекта в вулканической области по комплексным нивелирным и гравиметрическим наблюдениям // Вестник СГГА. – 2006. – № 11. – С. 84–94.
9. Мазуров Б.Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // Изв. вузов. Горный журнал. – 2007. – № 3. – С. 93–102.
10. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Кобелева Н.Н. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС (2004–2007 годы) // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №4. – С.16–20.

11. Прогнозирование процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС на этапе эксплуатации 2007-2009 годов / Ю.П. Гуляев и др. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №5/С. – С. 23–28.

12. Баутин Н.Н., Леонтович Е.А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. – М.: Наука, 1990. – 486 с.

© *Б. Т. Мазуров, 2016*

АЛГОРИТМ ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ПО ПРЯМОУГОЛЬНЫМ КООРДИНАТАМ

Павел Александрович Медведев

Омский государственный аграрный университет, 644008, Россия, г. Омск, Институтская пл., 2, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики, тел. (3912)65-11-46, e-mail: omgau-math@rambler.ru

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

В статье предлагаются высокоточные неитеративные алгоритмы для прямого вычисления геодезической широты и высоты по исходным данным - пространственным прямоугольным координатам.

Ключевые слова: математика, астрономия, картография, геодезия, геодинамика.

THE ALGORITHM OF DIRECT CALCULATION OF THE SPATIAL GEODETIC COORDINATES AT THE RECTANGULAR COORDINATES

Pavel A. Medvedev

OmGAU, 644008, Russia, Omsk, Department of Higher mathematics, professor, Ph. D., tel. (3912)65-11-46, e-mail:omgau-math@rambler.ru/

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, professor, Ph. D., tel. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

The article proposes a high-precision non-iterative algorithms for the direct computation of geodetic latitude and altitude from the initial data - three-dimensional rectangular coordinates.

Key words: mathematics, astronomy, cartography, geodesy, geodynamics.

При построении глобальных геодезических сетей, связанных с обработкой спутниковых наблюдений, и решении геодезических задач по определению положения точек земной поверхности применяются пространственные прямоугольные координаты X, Y, Z и геодезические координаты B, L, H .

В связи с этим возникает задача по преобразованию этих систем координат. Вычисление пространственных прямоугольных координат по заданным геодезическим координатам выполняют по соотношениям [1, с. 191]:

$$\begin{cases} X = (N + H)\cos B \cdot \cos L, \\ H = (N + H)\cos B \cdot \sin L, \\ Z = \left(N(1 - e^2) + H\right)\sin B, \end{cases} \quad (1)$$

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

a – большая полуось;

e – первый эксцентриситет земного эллипсоида.

Выражения (1) относительно простые и позволяют легко определить искомые величины X, Y, Z . На поверхности конкретного эллипсоида равенства (1) представляют собой функции, выраженные только через исходные данные, т.е. $X = X(B, L, H)$, $Y = Y(B, L, H)$, $Z = Z(B, L, H)$.

Естественно, в такой же форме: $B = B(X, Y, Z)$, $L = L(X, Y, Z)$, $H = H(X, Y, Z)$ желательно получить и алгоритмы для обратного перехода. Однако эта задача относится к разряду сложных и ее решению и анализу [2-15] посвящено большое количество публикаций, которые продолжаются до настоящего времени.

Для вычисления геодезической долготы L по исходным данным в [8] предложен следующий алгоритм:

$$\text{а) } L_0 = 2\arctg(Y/(X + R)), \quad R = \sqrt{X^2 + Y^2} \neq 0.$$

$$\text{б) } L = \begin{cases} L_0, & \text{если } Y > 0, \\ L_0 + 2\pi, & \text{если } Y < 0; \end{cases}$$

$$\text{в) } L = \begin{cases} 0, & \text{при } X \geq 0, \\ \pi, & \text{при } X < 0, \text{ если } Y = 0. \end{cases}$$

Наибольшие трудности возникают при определении геодезической широты B путем решения трансцендентного уравнения [1]:

$$\operatorname{tg} B = \left(Z + e^2 N \sin B\right) / R. \quad (2)$$

Разные подходы и методы решения уравнения (2) приведены в работах [2], [8]. Уравнение (2) с помощью подстановки

$$\operatorname{tg} u = \sqrt{1 - e^2} \cdot \operatorname{tg} B \quad (3)$$

преобразуется к приведенной широте u и принимает более простой вид [8]:

$$\operatorname{tg} u = \left(Z\sqrt{1-e^2} + ae^2 \sin u \right) / R. \quad (4)$$

Из итерационных методов решения уравнения (4) более быструю сходимость обеспечивает метод касательных [2, с. 47]:

$$\operatorname{tg} u = \frac{Z \cdot \sqrt{1-e^2} + ae^2 \sin^3 u_0}{R - ae^2 \cos^3 u_0} = \frac{\Pi_1}{\Pi_2}. \quad (5)$$

Такая закономерность позволяет на основе (5) построить неитеративный высокоточный алгоритм, выраженный только через исходные данные. Для этого воспользуемся начальным приближением [2, с. 59]:

$$\operatorname{tg} u_0 = \frac{Z\sqrt{1-e^2}}{R(1-ae^2/a_0)}; \quad a_0 = \sqrt{R^2 + Z^2/(1-e^2)}. \quad (6)$$

С помощью этой зависимости (6) исключим содержащиеся в (5) величины $\sin u_0$, $\cos u_0$. Для удобства преобразований введем вспомогательные величины:

$$P = 1 - ae^2/a_0; \quad D_1 = \sqrt{(RP)^2 + (1-e^2) \cdot Z^2}; \quad R_1 = R/D_1; \quad Z_1 = Z/D_1 \quad (7)$$

тогда $\operatorname{tg} u_0 = Z\sqrt{1-e^2}/RP$; $\cos u_0 = PR_1$; $\sin u_0 = Z_1\sqrt{1-e^2}$, и выражения формулы (5) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= R - ae^2 \cos^3 u_0 = R_1(D_1 - ae^2 P^3 R_1^2); \\ \Pi_1 &= Z_1 \sqrt{1-e^2} (D_1 + ae^2 - ae^2 P^2 R_1^2). \end{aligned}$$

После выделения в полученной дроби $\operatorname{tg} u = \Pi_1/\Pi_2$ целой части с учетом зависимости (3) получаем формулу для вычисления тангенса геодезической широты

$$\operatorname{tg} B = \frac{Z}{R} \left(1 + \frac{1 - (1-P) \cdot (PR_1)^2}{D_1/(ae^2) - P \cdot (PR_1)^2} \right). \quad (8)$$

Погрешность этой формулы определяется по выражению [2, с. 60]:

$$\Delta B'' = \frac{3}{2} \rho'' \cdot \frac{a^3 H^2 e^{10}}{(a+H)^5} \sin^7 B \cos^3 B. \quad (9)$$

Исследованиями на экстремум функции (9) устанавливаем, что наибольшая погрешность широты достигается при $B = 56^{\circ}47'$ и $H = \frac{2}{3}a \approx 4250\text{км}$ и составляет $\Delta B'' = 6,8'' \cdot 10^{-9}$. Для точек земной поверхности при $H \approx 10\text{км}$ и $B \approx 57^{\circ}$ максимальная погрешность $\Delta B'' = 4,8'' \cdot 10^{-13}$.

При вычислениях высоты H используют формулу

$$H = R \cos B + Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}, \quad (10)$$

для применения которой нужно знать не только исходные данные, но и определяемую в процессе решения геодезическую широту B .

Погрешность формулы (10), обусловленная неточной величиной широты, связана зависимостью [3]:

$$\Delta H = -\frac{1}{2}(a + H) \cdot \Delta B^2. \quad (11)$$

Выведем теперь формулу для прямого вычисления высоты H путем исключения в равенстве (10) функций широты с помощью начального приближения (6) и введенных величин (7). В этом случае, с учетом соотношения (3), получаем:

$$\operatorname{tg} B = \frac{Z}{RP}; \quad \cos B = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 B}} = \frac{RP}{\sqrt{P^2 R^2 + Z^2}} = \frac{RP}{\sqrt{D_1^2 + e^2 Z^2}} = \frac{R_1 P}{\sqrt{1 + e^2 Z_1^2}};$$

$$\sin B = Z_1 / \sqrt{1 + e^2 Z_1^2}; \quad a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} = a / \sqrt{1 + e^2 Z_1^2}$$

и формула (10) принимает вид

$$H = \frac{D_1 (P R_1^2 + Z_1^2) - a}{\sqrt{1 + e^2 Z_1^2}}. \quad (12)$$

На основе зависимости (11) с учетом погрешности начального приближения (6)

$$\Delta B = \frac{a H e^4}{(a + H)^2} \sin^3 B \cos B,$$

получаем выражение для оценки точности формулы (12):

$$\Delta H = -\frac{1}{2} \cdot \frac{a^2 H^2 e^8}{(a + H)^3} (\sin^3 B \cos B)^2.$$

Методами дифференциального исчисления устанавливаем, что наибольшая погрешность формулы (12) получается при $H = 2a$ и $B = 60^0$ и составляет $|\Delta H| = 0,1\text{мм}$.

Для точек земной поверхности при $|H| \leq 10\text{км}$ ее погрешность не превосходит $|\Delta H| \leq 2 \cdot 10^{-6}\text{мм}$, что обеспечивает высокоточный результат. Даже при $H = 1000\text{км}$ $\Delta H = 0,01\text{мм}$.

Итак, по результатам исследований нами предлагаются высокоточные неитеративные алгоритмы (8), (12) для прямого вычисления геодезической широты B и высоты H по исходным данным X, Y, Z .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
2. Медведев П.А. Анализ преобразований пространственных прямоугольных координат в геодезические. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2000. – 104 с.
3. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография. В 2 т. Т.1. – М.: Картгеоцентр, 2005. — 334 с.
4. К вопросу вычисления геодезической широты по пространственным прямоугольным координатам / В.Н. Баландин, М.Я. Брынть, И.В. Меньшиков, Ю.Г.Фирсов // Геодезия и картография. – 2012. – № 2. – С. 9–11.
5. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 16 с.
6. Изотов А.А. Преобразование пространственных прямоугольных координат в геодезические координаты // Геодезия и картография. – 1969. – № 5. – С. 6–7.
7. Медведев П.А. Вычисление широты методом касательных при переходе от пространственных прямоугольных координат к геодезическим // Геодезия и картография. – 1995. – № 12. – С. 4–6.
8. Медведев П.А. Анализ преобразований пространственных координат точек земной поверхности // Геодезия и картография. – 2014. – № 4. – С. 2–8.
9. Машимов М.М. Геодезия: Теоретическая геодезия. – М.: Недра, 1991. – 268 с. 3.
10. Медведев П.А. Исследование рекуррентных формул для вычисления широты при переходе от пространственных прямоугольных координат к геодезическим // Геодезия и картография. – 1994. – № 6. – С. 8–14.
11. Медведев П.А. Определение погрешностей геодезической высоты, широты и долготы аналитическими методами // Геодезия и картография. – 2009. – № 1. – С. 25–27.
12. Медведев П.А. Вычисление широты методом хорд при преобразованиях пространственных прямоугольных координат к геодезическим // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1994. – № 5. – С. 25–34.
13. Пенев П., Пенева Е. Преобразование прямоугольных геоцентрических координат в геодезические без применения итераций // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 34–38.
14. Огородова Л.В. Высшая геодезия: Ч.III. Теоретическая геодезия. – М.: Геодезкартиздат, 2006. – 384 с.
15. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия. – М.: Недра, 1989. – 279 с.

© П. А. Медведев, Б. Т. Мазуров, 2016

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ТЕРРИТОРИЙ В НОВОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ГСК-2011

Константин Федорович Афонин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-11

Рассмотрены возможные различия в геодезических пространственных, прямоугольных пространственных, плоских прямоугольных координатах Гаусса – Крюгера, вычисленных в СК-95 и ГСК-2011, для различных регионов Российской Федерации. Вычислены площади объектов в новой и старой системах координат. Сделан анализ полученных разностей координат и площадей.

Ключевые слова: системы координат, СК-95, ГСК-2011.

CALCULATION OF AREAS OF TERRITORIES IN NEW STATE SYSTEM OF COORDINATES OF GSK-2011

Konstantin F. Afonin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Associate Professor of Department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (383)343-29-11

Possible distinctions are considered in the geodesic spatial, rectangular spatial, flat rectangular coordinates of Gauss – Kryugera, calculated in SK-95 and GSK-2011, for the different regions of Russian Federation. The areas of objects are calculated in the new and old systems of coordinates. The analysis of the got differences of coordinates and areas is done.

Key words: systems of coordinates, SK-95, GSK-2011.

С 1 января 2017 года в Российской Федерации вводится новая государственная геоцентрическая система координат ГСК-2011. Координаты всех точек на территории России будут меняться по сравнению с координатами в старой государственной системе СК-95. А так как площади всех объектов вычисляются по координатам, то должны изменяться и площади территорий.

Для определения величин изменения координат был выполнен следующий вычислительный эксперимент. Для шести точек, расположенных в разных регионах России, по географической карте были определены геодезические пространственные координаты (широта, долгота, высота). Эти координаты считались в дальнейшем координатами в системе СК-95. По геодезическим координатам были определены пространственные прямоугольные и плоские прямоугольные координаты Гаусса – Крюгера. Вычисления выполнялись на эллипсоиде Красовского по известным формулам высшей геодезии [4].

Трансформирование пространственных прямоугольных координат из СК-95 в ГСК-2011 также выполнено по формулам высшей геодезии [4]. При этом

были использованы числовые значения семи параметров трансформирования, опубликованные в работах [14, 15]. По полученным координатам были вычислены сначала геодезические пространственные, а затем и плоские прямоугольные координаты Гаусса – Крюгера в системе ГСК-2011. Последний этап вычислений выполнялся на эллипсоиде ГСК-2011.

В результате проведенного эксперимента был получен каталог координат шести точек в шести системах (табл. 1). Анализ разностей одноименных координат позволяет сделать следующие выводы:

Таблица 1

Каталог координат точек в разных системах. Разности координат

	Номер точки	1	2	3	4	5	6
	B	55,00000000	55,00000000	55,00000000	55,00000000	65,00000000	66,00000000
	L	20,00000000	40,00000000	83,00000000	119,00000000	149,00000000	182,00000000
	H(геод)	190,000	200,000	195,000	1500,000	500,000	170,000
СК-95	X	3445630,511	2808908,122	446866,397	1778046,453	2317107,362	2600026,683
	Y	1254106,945	2356953,770	3639434,751	3207680,708	1392258,562	-90794,934
	Z	5201630,576	5201638,767	5201634,671	5202703,665	5758263,767	5804204,404
	x	6097794,671	6097794,671	6099167,241	6099167,241	7212957,218	7323328,638
	y	4436005,917	7563994,083	14627981,509	20627981,509	25594340,308	31454596,062
	B	54,59591482	55,00003027	55,00019319	55,00019160	65,00015408	65,59595821
	L	19,59527454	39,59536093	82,59578678	119,00024935	149,00077241	182,00105617
	H(геод)	219,644	204,644	164,367	1469,703	498,102	196,794
ГСК-2011	X	3445653,396	2808930,456	446888,458	1778023,614	2317083,257	2600001,578
	Y	1253978,034	2356824,207	3639303,408	3207548,062	1392125,988	-90927,350
	Z	5201547,865	5201556,056	5201551,961	5202620,954	5758180,930	5804121,557
	x	6097662,742	6097694,975	6099118,429	6099120,288	7212881,85	7323185,453
	y	4435877,655	7563879,285	14627939,77	20628021,99	25594438,41	31454729,8
	ΔB	0,8518	-0,3027	-1,9319	-1,9160	-1,5408	0,4179
	ΔL	7,2546	6,3907	2,1322	-2,4935	-7,7241	-10,5617
	$\Delta H(\text{геод})$	-29,644	-4,644	30,633	30,297	1,898	-26,794
Разности	ΔX	-22,884	-22,334	-22,062	-22,839	-24,106	-25,104
	ΔY	128,911	129,563	131,343	132,647	132,574	132,416
	ΔZ	82,711	82,711	82,711	82,711	82,837	82,848
	Δx	131,929	99,696	48,812	46,953	75,368	143,185
	Δy	128,262	114,799	41,739	-40,484	-98,099	-133,741

1. Разности прямоугольных пространственных координат (СК-95 – ГСК-2011) зависят от разной ориентировки этих систем в теле Земли. По оси абсцисс эти разности отрицательные, а по осям ординат и аппликат – отрицательные.

2. Различия по оси ординат максимальные. Они достигают 130 и более метров.

3. Колебания разностей координат для территории России незначительные. По осям абсцисс и ординат они достигают 3 метров, по оси аппликат – 14 сантиметров.

4. Разности геодезических широт, долгот и высот, а также координат Гаусса – Крюгера, кроме первой причины (см. пункт 1), зависят еще от различий в параметрах двух эллипсоидов (Красовского и ГСК-2011).

5. Разности широт, долгот и высот на территории России меняют свой знак. Разности широт изменяются от -1.9 до 0.9, долгот от -10.6 до 7.3 секунд, а геодезических высот от -29.6 до 30.6 метров.

6. Колебание разностей абсцисс Гаусса – Крюгера происходит в интервале от 47 до 143.2 метра. Для сибирского региона они составляют 40-50 метров.

7. Изменения разностей ординат более значительные. Они меняются от -133.7 до 128.3 метра. Для Западной Сибири эти разности достигают 40 метров.

Второй вычислительный эксперимент заключался в определении площадей объектов, расположенных в различных регионах России от ее западных до восточных границ. В качестве объектов выступали трапеции масштаба 1:100000 (табл. 2). Геодезические широты и долготы вершин этих трапеций в СК-95 считались известными. Геодезические координаты вершин в ГСК-2011, а также координаты Гаусса – Крюгера в системах СК-95 и ГСК-2011 вычислялись с использованием технологии, описанной для решения первой задачи.

Таблица 2

Площадь объектов, вычисленная в системах координат СК-95 и ГСК-2011

Номер объекта	Номенклатура	СК-95		ГСК-2011	Разности площадей		СК-95/ГСК-2011
		Рэлл(кв. км)	Рху(кв. км)	Рху(кв. км)	ΔРху(кв. км)	ΔРдоп(кв. км)	
1	N-34-12	1162,804203	1163,642094	1163,631422	0,010672	0,011939	1,000009171
2	N-37-12	1162,804203	1163,642094	1163,639466	0,002627	0,011939	1,000002258
3	N-44-12	1162,804203	1163,642094	1163,652191	-0,010097	0,011939	0,999991323
4	N-50-12	1162,804203	1163,642094	1163,652687	-0,010594	0,011939	0,999990896
5	P-55-12	914,5491673	914,949611	914,972805	-0,023194	0,010587	0,999974651
6	Q-60-12	783,0297995	783,277413	783,271654	0,005759	0,009795	1,000007353

Определение площадей этих объектов выполнялось три раза. Во-первых, площади вычислялись на поверхности эллипсоида Красовского по геодезическим координатам. Для этого была использована формула сфероидической геодезии

$$P_{элл} = b^2 \frac{(L_2 - L_1)}{\rho} \left\{ (\sin B_2 - \sin B_1) + \frac{2}{3} e^2 (\sin^3 B_2 - \sin^3 B_1) + \frac{3}{5} e^4 (\sin^5 B_2 - \sin^5 B_1) + \frac{4}{7} e^6 (\sin^7 B_2 - \sin^7 B_1) + \dots \right\},$$

(1)

в которой

b – малая полуось эллипсоида вращения;

e^2 – квадрат первого эксцентриситета эллипсоида вращения;

B_1, B_2 – геодезические широты южной и северной граничных параллелей;

L_1, L_2 – геодезические долготы западного и восточного граничных меридианов.

Во-вторых, площади были вычислены по координатам Гаусса – Крюгера вершин объектов, заданным в СК-95. В третий раз площади были определены по координатам Гаусса – Крюгера в системе ГСК-2011. Во второй и третий раз была использована формула (2)

$$P_{xy} = \frac{1}{2} \{x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + \dots + x_n(y_1 - y_{n-1})\}. \quad (2)$$

Здесь 1, 2, ..., n – номера вершин объекта (нумерация должна выполняться по ходу часовой стрелки).

Результаты эксперимента, приведенные в таблице 2, позволяют говорить о том, что различия площадей территорий, вычисленные по плоским прямоугольным координатам небольшие. Однако они не пренебрегаемо малые и для регионов могут иметь систематический характер и накапливаться. Поэтому при переходе к новой государственной системе координат в ранее полученные значения площадей объектов необходимо, на наш взгляд, вносить корректировки. Для разных регионов разности площадей объектов (СК-95 – ГСК-2011) имеют разные знаки. Для Западной Сибири площади объектов будут увеличиваться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51794-2001. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Государственный стандарт Российской Федерации. – М.: Госстандарт России, 2001. – 10 с.

2. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.

3. ГОСТ 32453-2013. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек / Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

4. Афонин К.Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск, СГГА, 2011. – 56 с.

5. Афонин К.Ф. Сравнение способов вычисления геодезической высоты по прямоугольным пространственным координатам // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1, ч. 1. – С. 107–109.

6. Система региональных плоских прямоугольных координат Новосибирской области / А.П. Карпик, К.Ф. Афонин, Н.А. Телеганов, П.К. Шитиков, Д.Н. Ветошкин, С.В. Кужелев, В.А. Тимонов // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 1, ч. 1. – С. 20–31.

7. Афонин К.Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса – Крюгера // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 155–159.

8. Афонин К.Ф. Преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера из МСК-54 в СК НСО // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 57–62.

9. Афонин К.Ф. Оптимизация выбора опорных пунктов при определении локальных параметров связи общеземных и референчных систем прямоугольных пространственных координат. Постановка задачи оптимизации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 32–35.

10. Афонин К.Ф., Афонин Ф.К. Технологии преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера в СК НСО // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 7–11.

11. Афонин К.Ф., Афонин Ф.К. Вычисление площадей земельных участков на поверхности эллипсоида вращения по плоским прямоугольным координатам Гаусса – Крюгера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 106–109.

12. Афонин К.Ф. Технология преобразования плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из системы координат субъекта Федерации в единую государственную геодезическую систему координат ГСК-2011 // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 154–159.

13. Афонин К.Ф. Преобразование координат Гаусса – Крюгера из СК-42/95 в ГСК-2011 // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 149–153.

14. Андреев В.К. Роль и место в исследованиях по геодезическому обеспечению системы ГЛОНАСС в рамках НИР «Развитие» государственных единых систем координат ГСК-2011 и ПЗ-90, высокоточного определения координат и гравитационного поля Земли // Доклад на заседании секции №3 НТС ФГУП ЦНИИмаш по вопросу «Общий замысел геодезических направлений исследований в рамках НИР «Развитие» от 28 мая 2013 года. – М.: ЦНИИГАиК, 2013. – 14 с.

15. Вдовин В.С. Роль систем координат в современной геодезии и маркшейдерии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: vdo-vladimir @ yandex.ru.

© К. Ф. Афонин, 2016

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПРОГРАММ ПОСТОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ГНСС В РЕЖИМЕ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Станислав Олегович Шевчук

АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, кандидат технических наук, зав. лабораторией геодезического обеспечения геолого-геофизических работ, тел. (383)222-45-86, e-mail: staspp@211.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, младший научный сотрудник, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

В статье приведен сравнительный анализ различного коммерческого программного обеспечения для постобработки ГНСС-измерений в режиме кинематики относительным методом на примере измерений, проведенных при выполнении аэроэлектромагнитных геофизических работ.

Ключевые слова: ГНСС, кинематика, постобработка, аэрогеофизика.

COMPARING RESULTS OF GNSS KINEMATIC POSTPROCESSING BY COMMERCIAL PROGRAM PRODUCTS FOR GEODETIC SUPPORT OF AERIAL GEOPHYSICAL WORKS. THE FIRST CONCLUSIONS

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials, 630091, Russia, Novosibirsk, 67 Krasniy Prospekt, Ph. D., head of the geodetic support of geophysical works laboratory, tel. (383)222-45-86, e-mail: staspp@211.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., junior research, tel. (913)706-9195, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

In the article the comparing of different program products for GNSS Post Processing in differential kinematic mode is given. The data for the test that's used in the article were taken from aerial geophysical works.

Key words: GNSS, kinematic, postprocessing, aerial geophysics.

Геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ, в частности аэрогеофизических исследований, зачастую включает в себя задачу определения координат и высот точек движущихся систем с заданной точностью. В настоящее время глобальные геодезические спутниковые системы (ГНСС) являются наиболее эффективным инструментом для решения поставленной задачи.

В настоящее время, на рынке аппаратуры пользовательского сегмента ГНСС имеет место большое разнообразие как приемной аппаратуры, так и программного обеспечения (ПО) для обработки её измерений. Конкуренция на данном рынке привела к тому, что алгоритмы, заложенные в ПО различных производителей оказались закрыты от конечного пользователя.

С появлением в современном ПО поддержки универсальных форматов данных измерений ГНСС (типа RINEX), в нем стала возможна обработка измерений приемников, изготовленных различными конкурирующими фирмами,

а пользователь получил возможность выбора ПО вне зависимости от аппаратуры ГНСС, имеющейся у него в наличии.

В данной статье кратко изложены первые результаты сравнения различного ПО на примере обработки кинематических измерений, выполнявшихся при геодезическом обеспечении аэрогеофизических работ с использованием аэроэлектромагнитного комплекса «Импульс-Аэро», подробно описанного в [1-3].

Задача геодезического обеспечения работ с использованием данной системы включает в себя определение пространственных координат и высот её отдельных элементов (вертолета, магнитометра и платформы), а также их превышений над земной поверхностью [4-9]. Для корректной обработки геофизических измерений, определение координат и высот вертолёта и платформы должно обеспечиваться с погрешностями (СКП) не грубее 1 м.

В качестве примера для сравнения использованы измерения приемника, устанавливавшегося на выносной платформе, положение антенны которого обеспечивало наилучший приём спутниковых сигналов, углы крена и тангажа не превышали 10-15°, а путевая скорость выдерживалась на уровне 100-140 км/ч.

Работы выполнялись в Курагинском районе Красноярского края летом 2013 г, съёмка выполнялась с обтеканием рельефа в предгорной пересеченной местности. Измерения выполнялись двухчастотной фазовой ГЛОНАСС/GPS аппаратурой Javad SigmaQ-G3T (мобильный приемник) и Javad Triumph-1 (базовая станция).

Обработка выполнялась в четырех программах различного времени выпуска от различных производителей. Характеристики приведены в табл. 1 [10-14]. При обработке в соответствии с требованиями закона [15] обязательно использовались сигналы ГЛОНАСС.

Для наиболее объективных условий сравнения ПО, по возможности устанавливались идентичными: маска угла горизонта 10°, режим кинематики для мобильного приёмника. Исходные данные подгружались из формата RINEX 2.11; тропосферные модели задавались по умолчанию.

Результаты обработки с оценкой внутренней точности по величинам, выдаваемым исследуемыми программами (и не вызывающим доверия в силу закрытости алгоритмов их вычисления) и статистика типов решений фазовой многозначности обрабатываемых моментов измерений (эпох) приведены в табл. 2.

Координаты и высоты для соответственных эпох (моментов измерений, совпадающих по времени UTC) сравнивались между собой. СКП взаимных отклонений решений, полученных различным ПО приведены в табл. 3.

Таблица 1

Исследуемое ПО и его характеристики

Наименования характеристик	Программное обеспечение			
	Topcon Tools 8.2	Waypoint GrafNav 8.3	Magnet Office Tools	Justin
Разработчик	Topcon Position Systems, Inc	NovAtel, Inc	Topcon Position Systems, Inc	Javad GNSS
Версия	8.2.3	8.3	2.5	2.121
Год выхода версии	2006	2010	2013	2015
Обработка L1/L2	+	+	+	+
Обработка кинематики	+	+	+	+
Поддержка ГЛОНАСС	+	+	+	+
Ограничение величины базовой линии (для двухчастотных измерений), км	Фикс. решение	не указано	30	30
	Предельная величина	не указано	не указано	1500
Ограничение по частоте измерений	не указано	не указано	не указано	до 100 Гц
Возможность сетевого решения	+	+	+	+

Таблица 2

Анализ каталогов полученных координат и оценок их точности

Наименования характеристик	Программное обеспечение			
	Topcon Tools	GrafNav	Magnet OT	Justin
Время обработки полета, мин	> 180	10	> 60	15
Общее количество обработанных эпох (на промежутке времени полета)	68 500 (100 %)	68 500 (100 %)	68 500 (100 %)	68 500 (100 %)
Качество разрешения многозначности, %	Фиксированные	54,9	99,91	65,5
	Плавающие	45,1	0,09	34,46
	Кодовые	0,01	-	0,04
Средняя погрешность (СКП или StDev) в плане, м	0,05	0,02	0,04	0,02
Средняя погрешность (СКП или StDev) по высоте, м	0,05	0,04	0,06	0,02

Таблица 3

Результаты сравнения координат соответственных точек кинематических траекторий, полученных обработкой в различном ПО

ПО	Topcon Tools		GrafNav		Magnet Tools		Justin	
	m_{XY} , М	m_H , М						
Topcon Tools			0,02	0,09	0,02	0,09	0,03	0,03
GrafNav	0,02	0,09			0,03	0,05	0,02	0,09
Magnet OT	0,02	0,09	0,03	0,05			0,03	0,11
Justin	0,03	0,03	0,02	0,09	0,03	0,11		

В рамках кинематических траекторий взаимные отклонения (и в плане, и по высоте) почти всегда имели систематический характер, рис. 1.

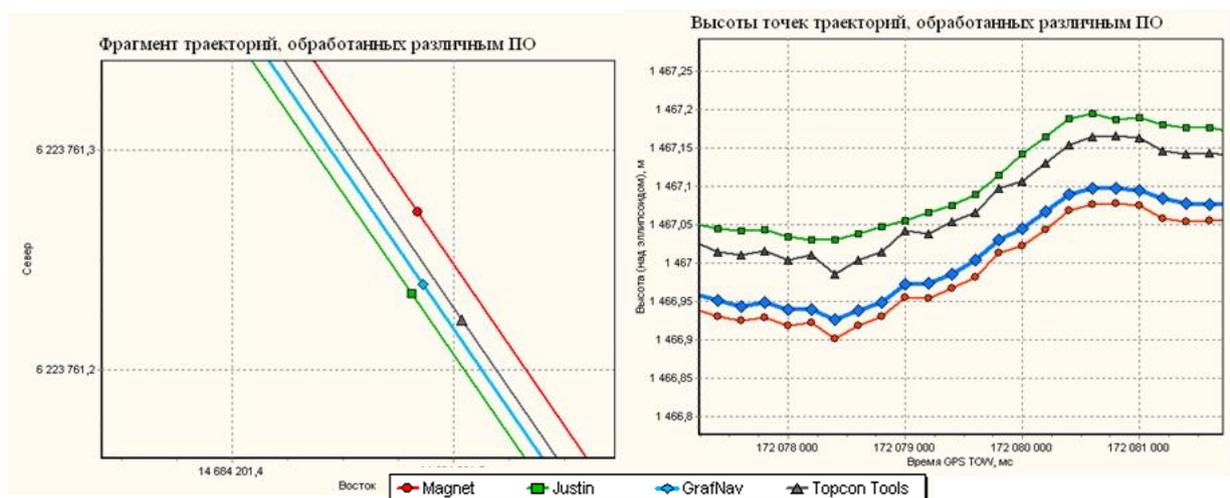


Рис. 1. Фрагменты плановых схем и высотных профилей траекторий, обработанных различным ПО (пунсонами отмечены эпохи)

Величины данных отклонений находились в пределах 0,05 м в плане и 0,15 м по высоте для 97-99 % эпох, что наглядно представлено на гистограммах распределения отклонений, показанных на рис. 2 и 3. Особенно явно на гистограммах прослеживается систематическая составляющая в разностях высот. На рис. 4 приведены фрагменты графиков разностей плановых координат и высот, наглядно демонстрирующие случайную составляющую в данных разностях.

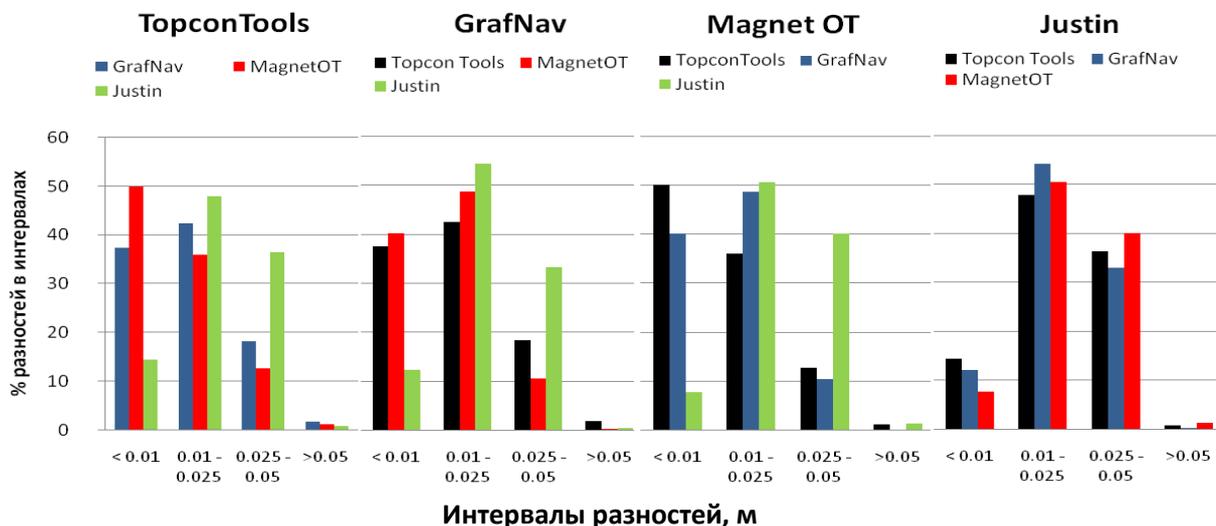


Рис. 2. Статистическое распределение величин разностей в плановых координатах точек траектории, обработанной в различном ПО

Таким образом, можно констатировать факт, что решения, полученные различными коммерческими программными продуктами для одного и того же сеанса кинематических измерений могут отличаться между собой – на уровне сантиметров в плане и около дециметра по высоте.

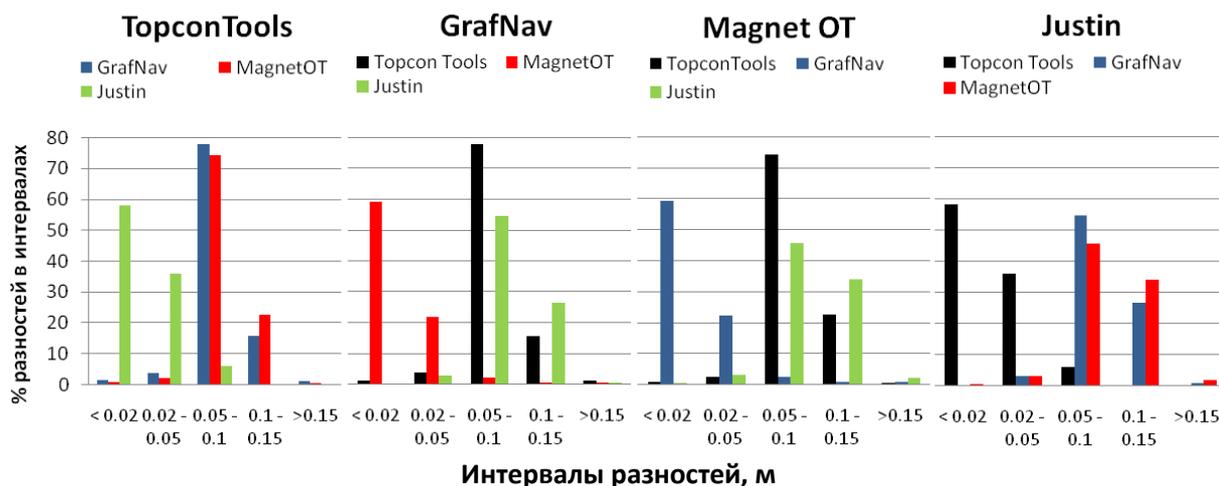


Рис. 3. Статистическое распределение величин разностей высот точек траектории, обработанной в различном ПО

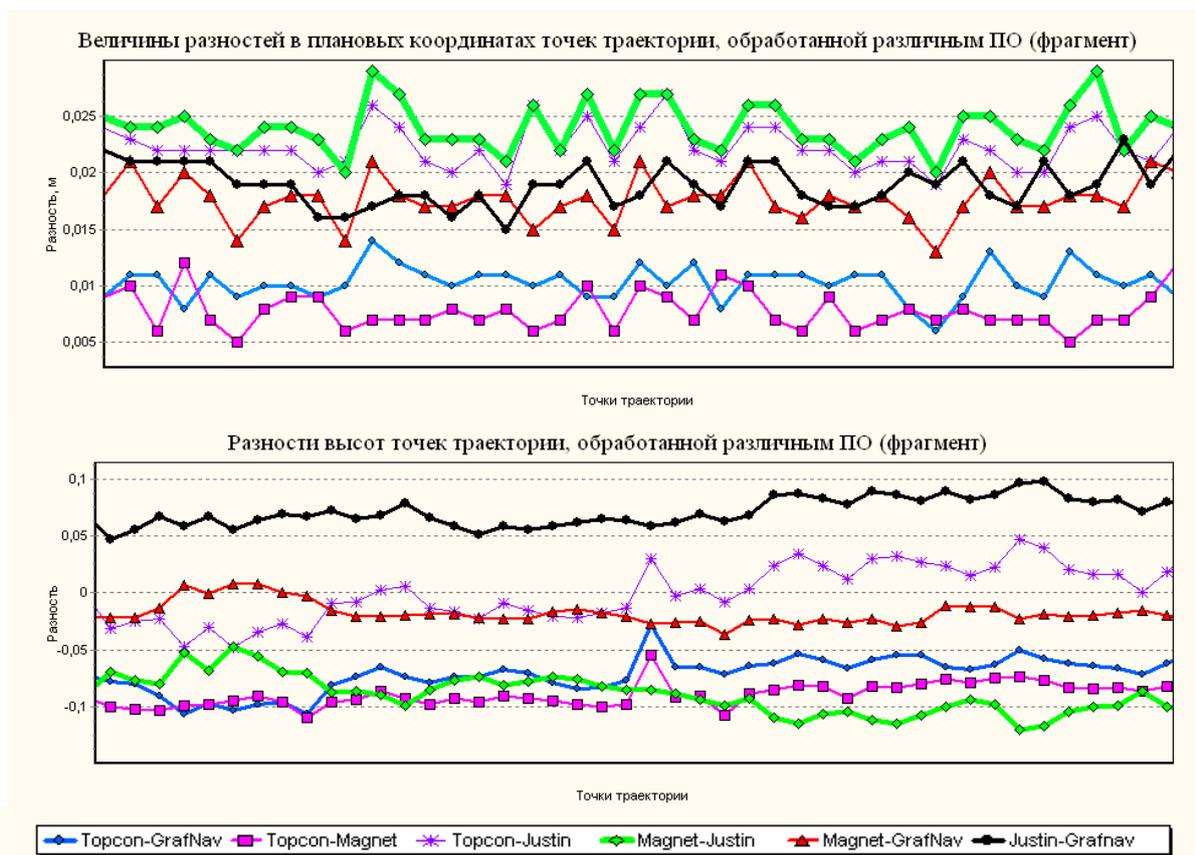


Рис. 4. Фрагменты графиков разностей плановых координат и высот точек траектории, обработанной в различном ПО

Гистограммы и графики, показанные на рисунках 1-4 и СКП, представленные в таблице 3 позволяют сделать вывод, что для кинематических траекторий, полученных обработкой в различном ПО, разности в высотах и плановом положении точек могут в значительной мере отличаться между собой и не зависеть друг от друга.

Так, пара Topcon Tools – Magnet Office Tools имеют наименьшие отклонения в плане (СКП 0,02 м), но значительно различаются по высоте (0,09 м).

Наименьшие отклонения в полученных высотах наблюдались между результатами обработки программами Magnet Office Tools – GrafNav и Topcon Tools – Justin, однако, между собой высоты данных пар отличались до 0,1 м и более.

Разности в решениях могут объясняться некоторыми из следующих факторов:

- различные алгоритмы обработки и фильтрации данных, применяемых в исследуемом ПО;
- различный уровень адаптации под применение измерений сигналов ГЛОНАСС;
- отличия в алгоритмах выявления и восстановления потерь счета циклов;

- различные модели тропосферы (например, в Magnet OT и Topcon Tools по умолчанию используется Goad and Goodman, в GrafNav – Saastamoinen, а в Justin – собственная одноименная модель).

В целом по выполненным исследованиям сделаны следующие выводы:

- ПО Topcon Tools слабо адаптировано под большие объемы кинематических данных, типичные для аэрогеофизической разведки, при которой измерения фиксируются с большой частотой в процессе многочасовых полетов. Обработка таких данных невозможна без их искусственного разбиения, и, как следствие, значительной потерей точности;

- в Magnet OT обработка кинематических траекторий может длиться несколько часов и сопровождаться сбоями программы («зависаниями», случаями несанкционированного завершения работы программы, невозможностью получения подробного отчета), однако возможна без дополнительных рискованных операций и с достаточной надежностью;

- всё исследуемое ПО позволило получить решение для каждой точки кинематической траектории, записанной с частотой измерений 5 Гц;

- наибольшую скорость обработки продемонстрировал программный продукт WayPoint GrafNav (менее 10 минут), наилучшее качество решений – Justin и WayPoint GrafNav (100% и 99% фиксированных решений соответственно), что позволяет говорить о высокой эффективности перечисленных программ для решения поставленной задачи;

- решения, полученные различными коммерческими программными продуктами для одного и того же сеанса кинематических измерений могут иметь систематические различия на уровне единиц сантиметров в плане и до полутора-двух дециметров по высоте, причем разности по высоте и в плане могут между собой существенно различаться;

- величины отклонений между решениями различными программами не являются критическими в масштабе требований к точности определения координат и высот точек кинематической траектории для аэрогеофизической съемки с использованием электромагнитного комплекса «Импульс-Аэро».

Обработанный кинематический сеанс выполнялся в благоприятных условиях приема спутниковых сигналов, что при проведении аэрогеофизических работ выдерживается не всегда, что предполагает продолжение исследований на примере обработки траектории, полученной в иных условиях, не исключающих увеличение углов горизонта (и, как следствие, величины геометрического фактора), менее стабильное угловое положение и наличие срывов фазовых наблюдений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kamenetsky, F.M. Transient Geo-Electromagnetics [Text] / F.M. Kamenetsky, E.H. Stettler, G.M. Trigubovich – Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. - Munich, 2010. - 296 p.

2. Тригубович, Г.М. Аэрогеофизические вертолетные платформы серии «Импульс» для поисково-оценочных исследований [Текст] / Г.М. Тригубович, М.Г. Персова, С.Д. Саленко // Приборы и системы разведочной геофизики – 2006. – № 2(16) – С. 18-21.
3. Барсуков, С.В. Особенности построения высокоточной аэрогеофизической системы серии «Импульс-Аэро» [Текст] / С. В. Барсуков, А. А. Белая, Ю. Ю. Дмитриев, А. С. Сверкунов, Е. Н. Махнач, Г. М. Тригубович // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. . – С. 199-204.
4. Навигационно-геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, С. О. Шевчук, Г. И. Мальцев // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 174–180.
5. Шевчук, С.О. Навигационное и геодезическое обеспечение аэроэлектромагнитных исследований с подвесной вертолётной платформой [Текст] // Геология и Минерально-сырьевые ресурсы Сибири – 2012. - № 2, - с. 72-75.
6. Тригубович, Г.М. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований [Текст] / Г.М. Тригубович, С.О. Шевчук, А.А. Белая и др. // Геология и Минерально-сырьевые ресурсы Сибири – 2013. - № 2, - С. 61-69.
7. Шевчук С. О., Никитин В. Н. Способы определения истинной высоты аэрогеофизической вертолётной электроразведочной платформы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 74–82.
8. Шевчук С. О., Косарев Н. С. Алгоритм определения пространственных углов аэроаэрозондировочной платформы по измерениям трехантенного ГНСС-комплекса // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 37–47.
9. Косарев Н. С., Шевчук С. О. Проблема срывов фазовых наблюдений в методе точного точечного позиционирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 128–134.
10. GrafNav/GrafNet User Guide [Electronic Resource] / NovAtel OEM GPS & GNSS Navigation systems. – Режим доступа: http://www.novatel.com/assets/Document/Downloads/NavNet780_Manual.pdf. – Англ.
11. Justin. Руководство по использованию ПО [Электронный ресурс] / Javad GNSS – Режим доступа: http://www.javadgnss.ru/doc/justin/Justin_Software_Manual_RUS.pdf.
12. Magnet Tools. Справочное руководство. Серийный номер 1002090-01.
13. Topcon Tools. Краткое руководство пользователя.
14. Техническое описание Trimble Business Center [Электронный ресурс] / Trimble – Режим доступа: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-342301/022543-256I-RUS_TrimBusCenter_TN_0614_LR.pdf.
15. Российская Федерация. Законы. О навигационной деятельности [Текст]: федер. закон N 22-ФЗ [принят Гос. Думой 30 янв. 2009 г.]. – М., 2009. – 4 с.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО ДАННЫМ НАТУРНОЙ СЪЕМКИ АПК «ПРОФИЛЬ»

Ангелина Александровна Земерова

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, тел. (923)223-52-33, e-mail: angelina_406@mail.ru

В статье приведены проблемы применения ГИС-технологий при создании проектов ремонта, строительстве (ремонте) и эксплуатационных работах, в частности, отсутствие электронных проектов для САУ на базе ГНСС, приведена методика, позволяющая использовать данные ЦМП и традиционные проекты на ремонт, создавать электронные проекты для САУ на базе ГНСС.

Ключевые слова: ГИС-технологии, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), система автоматизированного управления (САУ), АПК «Профиль».

THE TECHNIQUE OF CREATING ELECTRONIC PROJECTS ACCORDING TO THE FULL-SCALE SURVEY OF HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM «PROFILE»

Angelina A. Zemerova

Siberian Transport University, 630049, Russia, Novosibirsk, 191 Dusi Kovalchuk st., Ph. D. student, tel. (923)223-52-33, e-mail: angelina_406@mail.ru

The paper presents the problem of the use of technologies based on geoinformation system in creating repair projects, construction (repairs) and operational work, particularly the lack of electronic projects for the automated control systems based on global navigation satellite systems, shows a technique which allows to use the data of digital model of the way and traditional designs for repairs, to create electronic projects for the automated control systems based on global navigation satellite systems.

Key words: technologies based on geoinformation system, global satellite navigation systems, automatic control systems, hardware-software system «Profile».

Одним из сдерживающих факторов развития ГИС на железных дорогах России является нормативно-правовая база регламентирующая использование пространственных данных и соответственно применение ГИС-технологий при создании проектов ремонта, строительстве (ремонте) и эксплуатационных работах. В 2010 году президентом компании ОАО «РЖД» В.И. Якуниным подписано распоряжение «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» №2511 от 03.12.2010 г. Это распоряжение позволило принципиально улучшить систему информационного обеспечения железных дорог для целей проектирования, ремонтов, эксплуатации, мониторинга ИССО, земляного полотна, рельсовой колеи и безопасности движения.

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС) для реализации координатных методов разработал систему управления выправкой

пути САУ на базе ГНСС для основных путеизмерительных машин ЭЛБ, ВПО, ЩОМ, РМ, Доумат [1].

САУ на базе ГНСС, имеют широкий функционал и автономность. Объем геодезических работ при подготовке к строительству и затраты на создание опорной геодезической сети с использованием ГНСС значительно сокращаются, особенно при использовании спутниковой референц-сети [2-4]. Специфика геодезического обеспечения железных дорог обусловлена высокой точностью взаимного положения смежных точек [5]. Например, положение рельсовой нити в плане на хорде в 20 м составляет 1 мм. Регламентируется и пространственное положение рельсовых нитей, включая требования к проектно-изыскатель-

ным работам. При ремонтах и модернизации выполняется поэтапное обеспечение нормативных требований: на этапе балластировки погрешность постановки пути в проектное положение допускается до 3 см, а на этапе чистовой выправки взаимное положение смежных точек отличается на 1-2 мм.

Система автоматизированного управления (САУ) выправкой пути на основе сравнения пространственного положения измерительной тележки путеремонтной машины (ПРУ) с проектным пространственным положением оси пути и возвышением рельса, построена аналогично САУ грейдера, бульдозера, экскаватора. Устройство САУ включает в себя спутниковую аппаратуру геодезического класса точности, систему редуцирования координат на измерительную ось, систему позиционирования положения измерительной тележки относительно фазового центра антенны, промышленный компьютер, блок управления гидро- электроприводом [6-7].

Испытания САУ на базе ГНСС выполнены в 2008 году впервые в России, которые показали принципиальную возможность использования ГНСС для автоматизации процесса постановки железнодорожного пути по пространственным координатам в проектное положение в автоматическом режиме.

Основной проблемой в настоящее время является отсутствие электронных проектов для САУ на базе ГНСС. Проектные институты не создают электронные проекты для САУ. Строители, выполняющие ремонт (ПМС) получают от проектных институтов проекты в традиционных форматах, поэтому они, не могут быть использованы САУ на базе ГНСС. Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС) разработал методику в соответствии, с которой выполняются натурная съемка АПК «Профиль» ремонтируемого участка железной дороги. Результаты натурной съемки позволяет создавать цифровые модели пути (ЦМП).

Съемка производится по оси ремонтного пути с опор контактной сети (ОКС), пикетных отметок и других объектов инфраструктуры.

Каждая снятая точка обязательно должна быть точно идентифицирована (указывается имя/тип объекта). В качестве идентификации может быть использована запись информации об объекте не только на управляющем компьютере АПК «Профиль», но и в журнале с указанием информации о

топокоде, например, для ОКС необходимо записывать номер ОКС в журнале и указывать рядом с топокодом её номер (ОКС №55 это 33-55, где 33 топокод ОКС, 55 номер ОКС).

АПК «Профиль» осуществляет определение фактического положения оси пути и его геометрических параметров с высокой точностью (точность местоопределения 1 см).

Структура определения геометрических параметров рельсовой колеи (см. рис. 1), включает пространственно-временные данные (координаты и время получения информации) по которым вычисляются линейные координаты (путь) и геометрические параметры.

Путь, м	Х, м	У, м	Н, м	Время, с	Уровень, мм	Рихтовка пр, мм	Рихтовка лев, мм	Шаблон, мм	Просадка пр, мм	Просадка лев, мм
23.0	6113677.654	14630445.336	250.897	561.473	-29.14	9.53	5.63	1519.86	0.50	-0.92
23.5	6113677.582	14630445.183	250.897	561.473	-30.45	8.82	5.28	1519.80	2.69	1.09
24.0	6113677.509	14630445.031	250.897	561.491	-31.63	8.55	7.61	1520.60	4.39	3.06
24.5	6113677.437	14630444.879	250.893	561.509	-32.26	9.19	10.59	1521.49	5.65	4.50
25.0	6113677.365	14630444.727	250.892	561.527	-32.79	10.00	11.40	1521.86	5.84	4.80
25.5	6113677.292	14630444.575	250.891	561.545	-33.32	10.83	12.55	1522.38	4.39	3.89
26.0	6113677.220	14630444.423	250.890	561.563	-33.85	11.94	14.85	1522.40	3.19	2.85
26.5	6113677.148	14630444.270	250.889	561.581	-34.38	13.02	14.98	1522.50	2.29	2.13
27.0	6113677.075	14630444.118	250.888	561.600	-34.91	13.85	17.69	1522.60	1.34	1.27
27.5	6113677.003	14630443.966	250.889	561.618	-35.44	15.25	19.69	1522.80	0.40	0.43
28.0	6113676.931	14630443.814	250.885	561.637	-35.97	16.11	18.60	1523.20	-0.31	-0.39
28.5	6113676.859	14630443.662	250.884	561.655	-36.50	16.49	17.78	1523.20	-0.62	-0.64
29.0	6113676.787	14630443.510	250.883	561.673	-37.03	16.49	16.71	1523.20	-1.05	-0.94
29.5	6113676.715	14630443.357	250.882	561.691	-37.56	16.16	15.62	1523.00	-1.01	-1.12
30.0	6113676.642	14630443.205	250.881	561.709	-38.09	16.90	16.26	1522.80	-1.70	-1.11
30.5	6113676.569	14630443.053	250.879	561.727	-38.62	16.48	18.04	1523.00	-0.57	-0.96
31.0	6113676.497	14630442.901	250.878	561.745	-39.15	16.97	17.47	1523.20	-0.55	-0.81
31.5	6113676.425	14630442.749	250.877	561.763	-39.68	16.88	16.63	1523.00	-0.46	-0.87
32.0	6113676.352	14630442.597	250.876	561.781	-40.21	16.68	15.66	1522.80	-0.21	-0.66
32.5	6113676.280	14630442.444	250.875	561.800	-40.74	16.20	14.94	1522.60	-0.03	-0.59
33.0	6113676.208	14630442.292	250.874	561.818	-41.27	15.90	15.54	1522.60	0.44	-0.13
33.5	6113676.136	14630442.140	250.873	561.836	-41.80	16.16	16.74	1522.60	0.63	-0.13
34.0	6113676.063	14630441.988	250.871	561.855	-42.33	16.31	16.31	1522.60	0.74	0.13
34.5	6113675.991	14630441.836	250.870	561.873	-42.86	16.31	15.75	1523.00	0.54	0.24
35.0	6113675.919	14630441.683	250.869	561.891	-43.39	16.02	15.84	1523.20	0.11	0.40
35.5	6113675.847	14630441.531	250.868	561.909	-43.92	15.79	15.67	1523.40	-0.69	-0.01
36.0	6113675.774	14630441.379	250.867	561.927	-44.45	15.83	17.64	1523.90	-1.43	-0.44
36.5	6113675.702	14630441.227	250.866	561.945	-44.98	16.63	19.34	1524.00	-1.88	-0.81
37.0	6113675.629	14630441.075	250.865	561.964	-45.51	17.46	19.07	1524.00	-2.10	-1.03
37.5	6113675.557	14630440.922	250.863	561.982	-46.04	17.96	18.34	1524.00	-1.81	-1.03
38.0	6113675.485	14630440.770	250.862	562.000	-46.57	17.90	17.90	1524.00	-2.07	-1.17
38.5	6113675.413	14630440.617	250.861	562.018	-47.10	17.97	18.34	1524.00	-1.92	-1.17
39.0	6113675.341	14630440.465	250.860	562.036	-47.63	18.18	18.18	1524.00	-1.89	-1.17
39.5	6113675.269	14630440.312	250.859	562.054	-48.16	18.85	18.85	1524.00	-1.90	-1.17
40.0	6113675.197	14630440.160	250.858	562.072	-48.69	19.53	19.53	1524.00	-1.64	-1.17
40.5	6113675.125	14630440.007	250.857	562.090	-49.22	19.56	19.56	1524.00	-1.17	-1.17
41.0	6113675.053	14630439.855	250.856	562.108	-49.75	19.36	19.36	1524.00	-0.77	-1.17
41.5	6113675.002	14630439.771	250.864	562.121	-50.76	19.06	19.06	1524.00	-0.05	-1.17

Рис. 1. Структура данных АПК «Профиль»

Координаты и время получения информации являются данными поступающими с подключенного и синхронизированного по времени спутникового приемника позиционирования ГНСС.

Фрагмент данных полученных в результате съемки участка пути с помощью АПК «Профиль»:

```

Operator=New
Date=12062012
Begin track=1497.00000000000000
Begin cross=-11.6000003814697
Begin distance=0.00000000000000
K1_azimut=0.0000000030147
K2_long=-0.0000000030750
K3_cross=0.0000003465970
K4_track=0.0000122121000
K5_distance=0.0310366004705
    
```

```

Q_accumul=10
Coord.X      Coord.Y      Coord.H      Track      Gamma      Gradient
Distance     Contr_Sum
$GPGGA,104323.00,5506.41744166,N,08300.00337530,E,4,15,0.
7,208.034,M,-36.005,M,1.0,0011*6D
0.00000 ;0.00000 ;0.00000 ;1499.82472;-11.34788;0.000
;0.000 ;1
0.00000 ;0.00000 ;0.00000 ;1502.64944;-11.09325;0.000
;0.000 ;2
0.00000 ;0.00000 ;0.00000 ;1505.47416;-10.83766;0.000
;0.000 ;3
0.00000 ;0.00000 ;0.00000 ;1508.29889;-10.58425;0.000
;0.000 ;4
0.00000 ;0.00000 ;0.00000 ;1511.12361;-10.32048;0.000
;0.000 ;5

```

Отчетные данные формируются из измерений участка пути с использованием АПК «Профиль».

При формировании данных по эпюрам рихтовок (междупутьям) и по продольному профилю необходимо учитывать начальный и конечный пикеты должны быть одинаковы. Внутренний шаг данных может быть любым и указывается при формировании проекта на ремонт.

Измеренные пространственные данные и геометрические параметры (рис. 2), использующиеся для формирования электронного проекта.

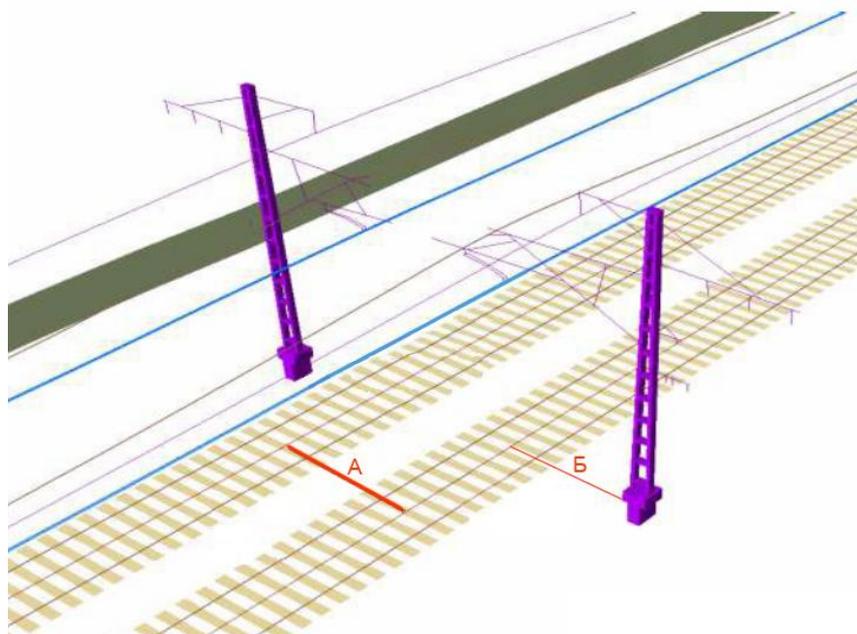


Рис. 2. Схематичное представление используемых данных

Главным достоинством данной структуры является однозначное определение местоположения любой точки пути при многократных проходах

выправочно-рихтовочных машин при использовании различных систем координат, включая принятые на железной дороге линейные системы координат (Км + ПК + м).

Таким образом, приведенная методика позволяет использовать данные ЦМП и традиционные проекты на ремонт, создавать электронные проекты для САУ на базе ГНСС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система для управления выправкой железнодорожного пути: пат. на полезную модель 2454498 Российская Федерация, МПК 51 E01B29/04/ В.В. Щербаков [и др.]; заявитель и патентообладатель СГУПС. - №2011104400/11; заявл. 08.02.2011, опубл. 27.06.2012.

2. Карпик А. П., Дюбанов А. В., Твердовский О. В. Обзор состояния, использования и развития сетей референчных станций на основе инфраструктуры ГЛОНАСС в России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 176–182.

3. Карпик А. П., Сапожников Г. А., Дюбанов А. В. Реализация проекта наземной инфраструктуры глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС» на территории Новосибирской области // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. – С. 54–59.

4. О надёжности сетей постоянно-действующих базовых станций / К. М. Антонович, И. Г. Ганагина, Н. С. Косарев, А. М. Косарева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 4/С. – С. 30–36.

5. Способ определения пространственных параметров рельсового пути и устройство для его осуществления: пат. на изобретение 2261302 Российская Федерация, МПК 51 E01B35/00/В.В. Щербаков [и др.]; заявитель и патентообладатель СГУПС. - №2003111110/11; заявл. 17.04.2004, опубл. 27.09.2005.

6. Ковалева О. В. Использование ГИС-технологии при определении пространственного положения геометрических параметров железной дороги // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 101–107.

7. Щербаков В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС // // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 14–20.

© А. А. Земерова, 2016

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЩЕБНЕОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Степан Андреевич Третьяков

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, инженер кафедры «Инженерная геодезия», тел. (923)129-10-10, e-mail: tretyakov.stepan91@mail.ru

В статье описана технология подготовки исходных данных и методика создания электронного проекта для систем автоматизированного управления щебнеочистительных машин на базе глобальных навигационных спутниковых систем.

Ключевые слова: электронный проект, цифровая модель пути, АПК «Профиль», щебнеочистительная машина.

CREATING PROJECTS FOR ELECTRONIC SYSTEMS MANAGEMENT BALLAST CLEANER

Stepan A. Tretyakov

Siberian Transport University, 630049, Russia, Novosibirsk, 191 Dusi Kovalchuk st., Ph. D. student, engineer department «Engineering Geodesy», tel. (923)129-10-10, e-mail: tretyakov.stepan91@mail.ru

The article describes the technology of preparation of raw data and the method of creating an electronic design for the automated control systems ballast cleaner based on global navigation satellite systems.

Key words: electronic design, digital model of the way, the AIC «Profile», ballast cleaner.

В ОАО «РЖД» одним из направлений повышения эффективности работы компании является повышение уровня автоматизации и сокращения затрат. Наиболее трудоемкими и затратными являются работы по ремонту и модернизации железнодорожного пути. В соответствии с распоряжением №3214 от 31.12.2015г. «Инструкция и методика применения геодезического обеспечения ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе» для очистки балласта должны применяться системы автоматизированного управления (САУ) на базе ГНСС щебнеочистительных машин ЦОМ-1200, RM-2002 и других. Основной проблемой в настоящее время является создание электронных проектов для этих машин. САУ разрабатывает СГУПС, изготавливает ООО «Сибдорпроект», а электронные проекты должны создавать ОАО «Росжелдорпроект» и другие организации, выполняющие проектно-изыскательские работы [1-3]. В силу различных причин электронные проекты не создаются, и заказчик вынужден искать возможности их создания [4].

Научно-исследовательской лабораторией «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» научно-инженерного дорожного центра СГУПС разработываются и внедряются в эксплуатацию САУ вырезки балласта щебнеочистительными машинами на базе ГНСС. Важной составляющей САУ является электронный проект, выполняемый на основании проектных решений по реконструкции (модернизации) пути на перегоне. Для создания электронного проекта используются проект реконструкции (модернизации) подготовленный проектной организацией и цифровая модель существующего пути.

Проект реконструкции (модернизации) предоставляется проектной организацией в виде исполнительного продольного профиля с данными толщины чистого балласта под шпалой по пикетам и плюсовым точкам (рис. 1), проектные отметки головки рельса. Проект создается на основании съемки пути, выполненной проектной организацией. В случае, если проект ремонта выполнен в местной системе координат, необходимо при помощи спутникового оборудования определить координаты минимум 4-х опорных точек МСК для трансформации координат в систему WGS-84 [5].

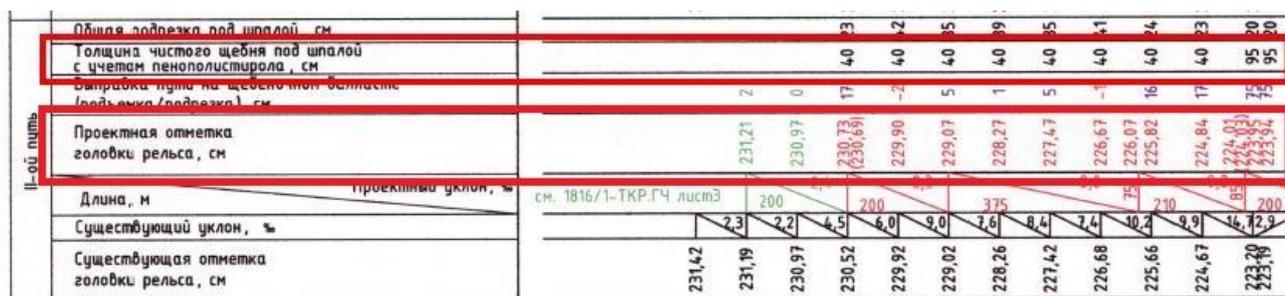


Рис. 1. Фрагмент исполнительного профиля с данными толщины слоя чистого балласта

Цифровая модель пути создается с использованием АПК «Профиль» с измерением междупутного расстояния и габаритов опор контактной сети. В процессе съемки необходимо также фиксировать характерные точки, указанные в исполнительном продольном профиле. Координаты оси пути и проекции характерных точек на ось пути записываются в системе координат WGS-84. Данные съемки выгружаются в программу ArcView, в которой полученные точки формируются в единой системе координат.

Исходные данные загружаются в программный продукт, разработанный в лаборатории «ДДОиЗП», для создания электронного проекта. В процессе работы программы на ЦМП накладываются значения глубины вырезки на пикетах и характерных точках. На выходе получается готовый электронный проект, который имеет вид таблицы (рис. 2).

```

Проф_Тайга-Сурач_6_7_окно.txt - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
пикет;отметка;толщина щебня, см
14309.852;257.00;40.00
14400.00;255.96;40.00
14500.00;254.92;40.00
14600.00;253.88;40.00
14700.00;252.64;40.00
14800.00;251.40;40.00
14900.00;250.31;40.00
14925.00;249.85;40.00
15000.00;249.85;40.00
15100.00;249.85;40.00
15125.00;249.85;40.00
15200.00;250.43;40.00
15300.00;251.21;40.00
15400.00;251.98;40.00
15500.00;252.49;40.00
15600.00;253.00;40.00

```

Рис. 2. Фрагмент электронного проекта

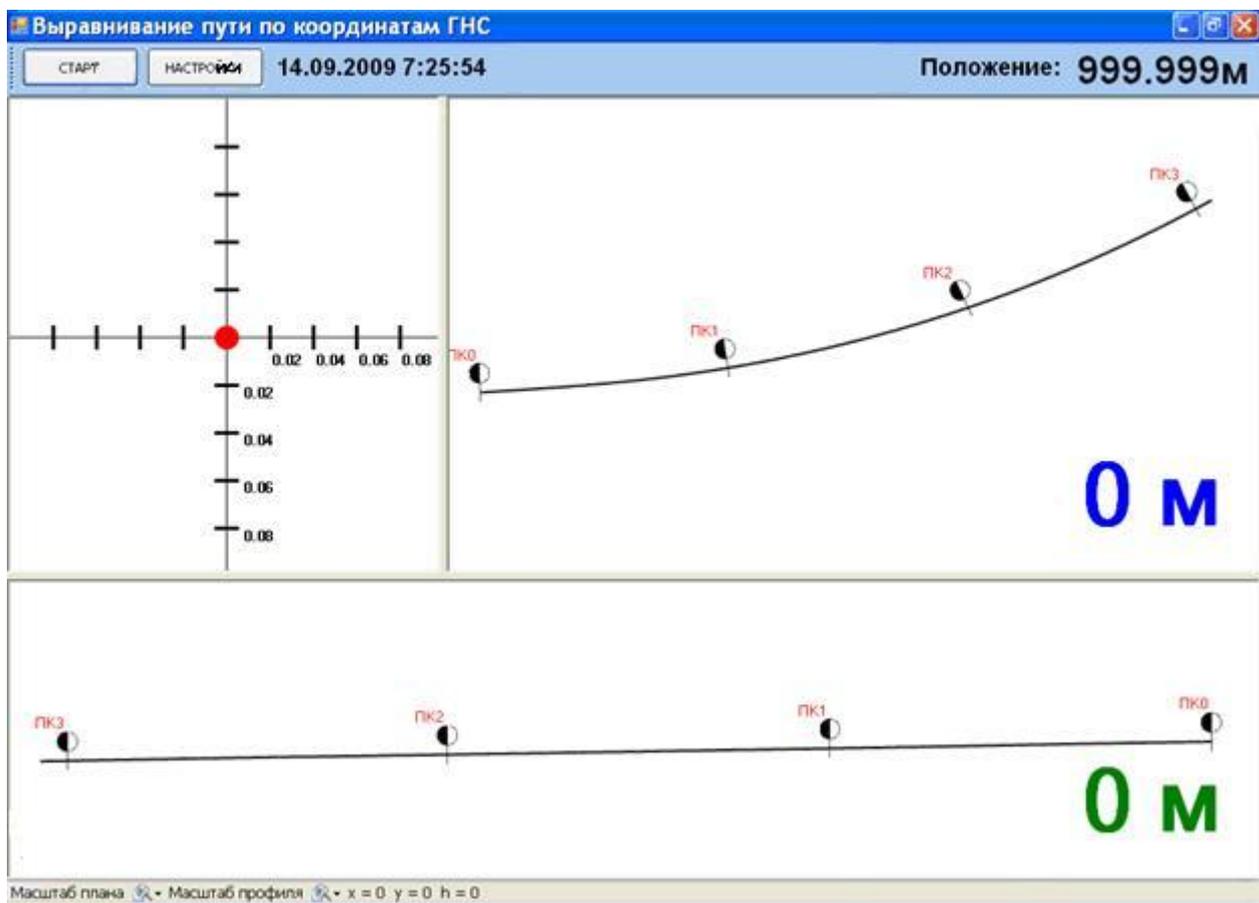


Рис. 3. Визуализация электронного проекта

Если при тестировании проекта выявляются недопустимые отклонения – определяются причины их возникновения и принимаются меры по их устранению. Если проект проходит тестирование без замечаний, то его загружают в бортовой компьютер САУ щебнеочистительной машины и в

соответствии в заданными параметрами происходит автоматизированная вырезка загрязненного балласта.

Ведется работа по оптимизации алгоритма создания электронных проектов для выполнения их силами технических отделов ПМС.

Главным достоинством на данном этапе внедрения САУ на базе ГНСС является возможность создания электронных проектов для щебнеочистительных и землеройных машин, используя традиционные проекты на ремонт и натурную съемку пути АПК «Профиль».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система для управления выправкой железнодорожного пути: пат. на полезную модель 2454498 Российская Федерация, МПК 51 E01B29/04/ В.В. Щербаков [и др.]; заявитель и патентообладатель СГУПС. - №2011104400/11; заявл. 08.02.2011, опубл. 27.06.2012.

2. Способ определения пространственных параметров рельсового пути и устройство для его осуществления: пат. на изобретение 2261302 Российская Федерация, МПК 51 E01B35/00/В.В. Щербаков [и др.]; заявитель и патентообладатель СГУПС. - №2003111110/11; заявл. 17.04.2004, опубл. 27.09.2005.

3. Щербаков В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 14–20.

4. Ковалева О. В. Использование ГИС-технологии при определении пространственного положения геометрических параметров железной дороги // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 101–107.

5. Карпик А. П., Гиенко Е. Г., Косарев Н. С. Анализ источников погрешностей преобразования координат пунктов спутниковых геодезических сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 55–62.

© С. А. Третьяков, 2016

ПРОВЕРКА ОПУБЛИКОВАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТЕЙ ПУНКТОВ ФАГС В НОВОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ГСК-2011

Леонид Алексеевич Липатников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, тел. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_1@mail.ru

Представлены результаты предварительного сравнения опубликованных значений скоростей движения пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) в системе ГСК-2011 со значениями скоростей в ITRF2008 и WGS84. Показано, что для четырёх из девяти пунктов ФАГС, скорости которых были опубликованы, наблюдаются значительные расхождения. Наибольшее расхождение выявлено для пункта Владивосток (VLDV) – более 5 см/год.

Ключевые слова: ГСК-2011, координатная основа, система координат, движение тектонических плит, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

VALIDATION OF THE PUBLISHED VELOCITIES OF FAGS REFERENCE POINTS IN THE NEW REFERENCE FRAME GSC-2011

Leonid A. Lipatnikov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., junior researcher, tel. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_1@mail.ru

Results of preliminary comparison of published velocity values of fundamental astro-geodetic network in GSC-2011 reference frame relative to velocity values in ITRF2008 and WGS84 are presented. At 4 of 9 investigated reference points significant inconsistencies were detected. The largest velocity deviation was estimated for Vladivostok (VLDV) reference point. It exceeds 5 cm/year.

Key words: GSC-2011, reference frame, reference system, tectonic plate motion, Global Navigation Satellite Systems (GNSS).

К началу 2017 года в России должен быть осуществлён переход к использованию новой координатной основы ГСК-2011, которая должна заменить СК-95 и СК-42 [1]. ГСК-2011 согласована с ITRF 2008 на эпоху 1 января 2011 года на уровне сантиметра, что подтверждено оценками координат пунктов IGS на территории России, которые были опубликованы разработчиками ГСК-2011 – Федеральным центром геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных [2]. К настоящему моменту частично опубликован каталог координат и фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС).

ГСК-2011 физически представлена государственной геодезической сетью (ГГС), включающей более 288 тысяч «пассивных» пунктов. Наивысший уровень в структуре ГГС – ФАГС включает 46 постоянно действующий базовых станций (ПДБС) [3]. Координаты и скорости 9 пунктов опубликованы

на сайте ФГБУ "Центр геодезии, картографии и ИПД" [4]. Ни одна из этих станций не относится к геодезической сети Международной ГНСС-службы (МГС) и не входит в каталог ITRF2008. Доступ к данным ГНСС-измерений на этих пунктах получить не удалось. Совместимость скоростей геодезических пунктов

в ГСК-2011 и международной координатной основе была проверена по доступным данным.

На первом этапе скорости пунктов ФАГС в ГСК-2011 сравнивались со скоростями ближайших пунктов геодезической сети IGS на эпоху 1 января 2011 года из каталога ITRF2008. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения скоростей ГСК-2011 и ITRF2008

Регион	ГСК-2011 Пункт	ITRF2008		Расстояние, км	Разность скоростей ГСК-2011 - ITRF2008			Модуль разности скоростей, мм/у
		Пункт	Решение №		ΔV_E , мм/год	ΔV_N , мм/год	ΔV_U , мм/год	
Европа	RSTZ	POLV	1	1901	0,7	-1,8	-1,1	2,2
		KHAR	1	1777	-0,4	-0,9	-0,3	1,0
		CRAO	1	2305	-0,9	-1,3	-1,6	2,2
		ZECK	1	1972	-2,4	-0,7	-2,4	3,5
		MIKL	1	2226	-0,3	-1,7	-1,4	2,2
	CNG1	MDVJ	1	26	-0,4	-0,3	-9,5	9,5
		MOBN	1	102	-0,8	-0,5	-10,3	10,3
		ZWEN	1	51	-0,7	-0,9	-6,7	6,8
	AST2	KHAR	1	967	1,9	-3,4	3,1	5,0
		ARTU	1	1336	0,4	2,0	1,4	2,5
		ZWEN	1	1305	2,4	-4,1	4,4	6,5
		ZECK	1	583	-0,1	-3,2	1,1	3,4
	SAMR	KHAR	1	1030	1,8	-3,4	-3,2	5,0
		ARTU	1	642	0,3	2,0	-4,9	5,3
		ZWEN	1	914	2,3	-4,1	-1,9	5,0
		ZECK	1	1226	-0,2	-3,2	-5,2	6,1
Урал и Сибирь	NSK1	NVSK	1	25	1,5	1,4	1,2	2,4
	NOYA	ARTU	1	1202	1,3	-4,1	-1,0	4,4
		NVSK	1	1029	-0,7	3,2	-1,6	3,7
		NRIL	1	896	4,3	4,2	-1,7	6,2
	CHI2	IRKT	1	627	10,0	-6,6	3,4	12,4
		ULAB	1	656	7,1	-4,8	2,9	9,0
	EKTR	ARTU	1	139	-10,6	-7,8	-40,2	42,3
Дальний Восток	VLDV	KHAJ	1	614	47,4	-24,6	9,1	54,2
		YSSK	1	920	57,3	-25,6	9,2	63,4
		DAEJ	1	875	43,0	-25,9	9,0	51,0
		ULAB	1	2006	41,7	-29,9	9,3	52,2

		STK2	2	780	56,3	-23,3	12,8	62,2
--	--	------	---	-----	------	-------	------	------

Плотность станций IGS на территории России мала, поэтому для сравнения использовались станции, находящиеся от рассматриваемых пунктов ФАГС на расстояниях до 2000 км и более. Кроме того, в отдельных случаях пункты IGS и ФАГС находились на разных тектонических плитах. Таким образом, проведённое сопоставление нельзя признать строгим. Однако на последующих этапах полученные результаты были подтверждены.

На втором этапе скорости из каталога ГСК-2011 сравнивались с результатами моделирования, полученными с помощью калькулятора скоростей тектонических плит UNAVCO [5]. Использовались модели GEODVEL 2010, APKIM2005-DGFI, APKIM2005-IGN, CGPS2004, GSRM v1.2, APKIM2000.0, HS2-NUVEL1A, HS3-NUVEL1A, ITRF2000 (2002), ITRF2000 (2001), MORVEL 2010, NUVEL 1, NUVEL 1A, REVEL 2000.

Для каждого рассмотренного пункта ФАГС разности значения его скорости в ГСК-2011 и скоростей ближайших к нему пунктов IGS в ITRF2008 были усреднены и сопоставлены со средней горизонтальной скоростью, вычисленной по моделям движения литосферных плит. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Отклонения горизонтальных и вертикальных составляющих скоростей

Пункт	Модуль разности векторов скоростей в горизонтальной плоскости, мм/год		Средняя разность вертикальных скоростей ГСК-2011 - ITRF2008, мм/год
	ГСК-2011 - средний вектор скорости по всем моделям	ГСК-2011 - средний вектор скорости по ближайшим пунктам ITRF2008	
RSTZ	2,0	1,4	-1,3
CNG1	1,6	0,8	-8,8
AST2	0,8	2,5	2,5
SAMR	1,3	2,4	-3,8
NSK1	3,4	2,0	1,2
NOYA	2,7	2,0	-1,4
CHI2	10,9	10,3	3,1
EKTR	12,3	13,2	-40,2
VLDV	52,4	55,5	9,9

Горизонтальные скорости (AST2, CNG1, NOYZ, NSK1, RSTZ, SAMR) согласуются с моделями движения тектонических плит примерно на уровне расхождений между значениями скоростей, полученными с помощью различных моделей. Горизонтальные скорости движения пунктов EKTR (Екатеринбург), CHI2 (Чита) в ГСК-2011 значительно отличаются от результатов моделирования. Для пункта VLDV (Владивосток) отклонение аномальное. Из табл. 2 также видно, что результаты моделирования

подтверждают результаты сравнения скоростей пунктов ФАГС в ГСК-2011 со скоростями ближайших пунктов IGS в ITRF2008: совпадение на уровне 1 мм/год (для VLDV - около 3 мм/год). Таким образом, результаты можно считать достаточно надёжными.

На третьем этапе скорости двух пунктов VLDV и ЕКТР сравнивались со скоростями ближайших к ним пунктов региональных сетей постоянно действующих базовых станций, входящих в сеть SmartNet Russia: VLAD (37 км от пункта VLDV) и ЕКАТ (4 км от пункта ЕКТР). Координаты пунктов VLAD и ЕКАТ были оценены по данным 29 суточных сеансов ГЛОНАСС/GPS-измерений, выполненных через приблизительно равные промежутки времени в течение полугода (период, в течение которого SmartNet хранит данные) - с августа 2015 по февраль 2016. Оценивание выполнялось с помощью онлайн-службы PPP-CSRS [6], реализующей методику Precise Point Positioning (PPP). Затем скорости и их среднеквадратические погрешности были оценены методом линейной регрессии. Результаты, полученные на всех трёх этапах исследования для пунктов, расположенных вблизи Владивостока и Екатеринбурга, представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Скорости геодезических пунктов, расположенных вблизи Екатеринбурга

Пункт	Источник	Скорость в горизонтальной системе координат, мм/год		
		V_E	V_N	V_U
ЕКТР	ГСК-2011	14	-2	-39
ЕКАТ	PPP-решение	18	11	-44
ЕКТР	GEODVEL 2010	25	5	-
ARTU	ITRF2008	25	6	1

Среднеквадратические погрешности оценок компонент скорости пункта ЕКАТ в горизонтальной системе координат составили: в направлении на восток (V_E) 2 мм/год, на север (V_N) 3 мм/год, вверх (V_U) 8 мм/год. На основе результатов в таблице 3 можно предположить, что отклонения скоростей пунктов ЕКТР и ЕКАТ вызваны локальными геодинамическими явлениями, влияющими на движение обеих станций и не затрагивающими пункт ARTU, находящийся на расстоянии более 130 км от них.

Таблица 4

Скорости геодезических пунктов, расположенных вблизи Владивостока

Пункт	Источник	Скорость в горизонтальной системе координат, мм/год		
		V_E	V_N	V_U
VLDV	ГСК-2011	70	-38	10

VLAD	PPP-решение	22	-1	-32
VLDV	GEODVEL 2010	23	-13	-
Среднее (КНАЖ, YSSK, DAEJ, ULAB, STK2)	ITRF2008	21	-13	0

Среднеквадратические погрешности оценок компонент скорости пункта VLAD в горизонтальной системе координат составили: в направлении на восток (V_E) 3 мм/год, на север (V_N) 3 мм/год, вверх (V_U) 6 мм/год. Полученных результатов для пункта VLDV недостаточно, чтобы объяснить отклонение скорости в ГСК-2011 от ITRF2008 и моделей движения литосферных плит.

Данная работа была выполнена с целью оценки точности и надёжности поля скоростей точек земной поверхности в ГСК-2011. Было установлено, что для пяти пунктов из девяти скорости в ГСК-2011 могут считаться совместимыми

с ITRF2008. В частности, в европейской части России, предположительно общедоступные модели движения тектонических плит, такие как GEODVEL 2010 [7], предположительно, могут быть использованы для определения вековых горизонтальных скоростей точек земной поверхности и геодезических пунктов

в ГСК-2011 с погрешностями на уровне первых миллиметров в год.

Для четырёх пунктов (CNG1, EKTR, VLDV, CHI2) из девяти выявлены значительные расхождения между векторами скоростей векового движения в ГСК-2011 и ITRF2008. Наибольшее расхождение, выявленное для пункта Владивосток (VLDV), превышает 5 см/год.

Если наблюдаемые отклонения значений скоростей в ГСК-2011 вызваны ошибками при уравнивании ГГС, это поставит под вопрос точность определения координат пунктов на опорную эпоху. Кроме того, если учитывать, что начиная с опорной эпохи новой координатной основы до момента её окончательного введения пройдёт шесть лет, погрешности скоростей на уровне 4–5 см/год приведут к тому, что накопленное расхождение координат на текущую эпоху относительно ITRF2008 достигнет трёх дециметров. В этом случае модель движения пунктов в ГСК-2011, опирающаяся на скорости ФАГС окажется непригодной для использования, а сама координатная основа будет иметь значительные деформации, будет несовместима с международной координатной основой ITRF.

Результаты, полученные в ходе исследования, не позволяют установить причину наблюдаемых расхождений. Однако они достаточны для того, чтобы сделать однозначный вывод о необходимости проверки каталога ГСК-2011 до её окончательного введения. В ходе проверки должны использоваться данные геодезических измерений, выполненных непосредственно на пунктах ГГС.

Представленное исследование финансируется Российским научным фондом (проект 14-27-00068), выполнено Сибирским государственным университетом геосистем и технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Правительство. О единых государственных системах координат [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 28 дек. 2012 г № 1463. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Горобец В. П. Результаты построения государственной геоцентрической системы координат Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «ГЛОНАСС» / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геодезия и картография. – 2012. – № 2. – С. 53–57.
3. Горобец, В. П., Ефимов Г. Н., Столяров И. А. Опыт Российской Федерации по установлению государственной системы координат 2011 года // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 24–37.
4. Список координат и скоростей пунктов ФАГС// Управление геодезических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geod.ru/data/fags/>
5. UNAVCO Plate Motion Calculator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html>.
6. Natural Resources Canada. Precise Point Positioning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>.
7. Argus D. F. The angular velocities of the plates and the velocity of Earth's centre from space geodesy / D. F. Argus, R. G. Gordon, M. B. Heflin, C. Ma, R. J. Eanes, P. Willis, W. R. Peltier, S. E. Owen // Geophys. J. Int. – 2010. – Т. 180. – № 3. – С. 913–960.

© Л. А. Липатников, 2016

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕРАВЕНСТВА ВЫСОЧАНСКОГО – ПЕТУНИНА ДЛЯ НАДЕЖНОЙ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Леонид Алексеевич Липатников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, тел. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_1@mail.ru

В работе рассмотрены возможности оценки точности результатов геодезических измерений на основе гипотезы об одномодальности распределения погрешностей. Предложено использовать данную гипотезу в качестве альтернативной при проверке гипотезы о нормальном законе распределения остаточных невязок. Такой подход, теоретически, позволяет сделать оценку точности по внутренней сходимости результатов более надёжной и избежать отбраковки полезной измерительной информации.

Ключевые слова: оценка точности, фазовые измерения, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

APPLICABILITY OF VISOCHANSKY AND PETUNIN INEQUALITY FOR RELIABLE ASSESSMENT OF GEODETIC MEASUREMENTS ACCURACY

Leonid A. Lipatnikov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., junior researcher, tel. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_1@mail.ru

Applicability of a hypothesis about unimodal error distribution for geodetic measurements accuracy evaluation is discussed. It is proposed to use the hypothesis as an alternative to presumed normality of residuals' distribution. Theoretically, the proposed approach enables more reliable accuracy evaluation and reduction of measurements data loss.

Key words: accuracy assessment, phase observations, Global Navigation Satellite Systems (GNSS).

В качестве основной характеристики точности в геодезии принято использовать среднеквадратическую погрешность (СКП). При этом вероятность выхода ошибки за некоторые пределы оценивается на основе предположения о том, что погрешности измерений и оценок координат и других параметров распределены по нормальному закону. Гипотеза о нормальном распределении погрешностей зачастую проверяется при помощи широко известных статистических тестов (χ^2 , t -тест и другие), и если в результате этих тестов основная гипотеза о законе распределения погрешностей отвергается, делается вывод о ненадёжности результатов решения задачи [1].

Проблема надёжности оперативной оценки точности, в частности в таких методах математической обработки спутниковых геодезических измерений, как Precise Point Positioning (PPP) и Real Time Kinematic (RTK), заключается в том,

что в отсутствие внешней контрольной информации она выполняется по внутренней сходимости результатов решения задачи (по остаточным невязкам). Как правило, такая оценка точности является чрезмерно оптимистичной, так как учитывает лишь наблюдаемую составляющую погрешности. На практике это зачастую приводит к невозможности гарантировать нахождение истинной погрешности в установленных пределах с некоторой вероятностью. Это в значительной мере обесценивает получаемые результаты, уменьшает область применения соответствующих технологий позиционирования [2].

Ещё одним аспектом проблемы является то, что предположение о нормальном законе распределения случайных погрешностей ГНСС-измерений во многих случаях не подтверждается. С одной стороны, это может приводить к отбраковке результатов измерений приемлемого качества и потере ценной измерительной информации, с другой – к неадекватному, чрезмерно оптимистичному определению границ доверительного интервала, то есть к завышенной оценке точности. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос об использовании альтернативных, более общих, гипотез о распределении случайных погрешностей, которые позволяли бы более надёжно гарантировать то, что истинное значение определяемого параметра накрывается доверительным интервалом.

До недавнего времени стохастическая модель случайных погрешностей ГНСС-измерений была разработана недостаточно хорошо. При математической обработке ГНСС-измерений по умолчанию выдвигалась гипотеза о том, что их случайные погрешности имеют распределение Гаусса (нормальное распределение). В работе [3] было показано, что поскольку фазовые ГНСС-измерения по сути являются угловыми и непосредственно измеряемое значение принимает значения от $-\pi$ до π , то случайные погрешности этих измерений должны подчиняться распределению фон Мизеса. В той же работе это положение было подтверждено экспериментально при благоприятных условиях наблюдений

и малой длине базовых линий (3–4 км). При малой величине погрешностей по сравнению с длиной волны распределение фон Мизеса будет близко к распределению Гаусса. Однако чем больше погрешности фазовых ГНСС-измерений, чем ближе они к длине волны радионавигационного сигнала, тем более практически важным для адекватной оценки точности становится принятие верной гипотезы о законе их распределения. В работе [4] была проанализирована репрезентативная выборка GPS-измерений и рассмотрено влияние атмосферных явлений и многолучёвости на закон распределения остаточных невязок уравнений измерений. Применённый авторами композитный статистический тест показал, что гипотеза о нормальном распределении остаточных невязок отвергалась в 80 % случаев на уровне значимости 1 %.

В условиях применения малобюджетной аппаратуры, не обладающей надёжной защитой от многолучёвости, тем более в сложных условиях,

например городских, можно ожидать усиления эффектов, приводящих к возникновению случайных погрешностей с ненормальным распределением. Это приводит к неадекватности оценки точности результатов позиционирования по стандартным алгоритмам и невозможности гарантировать, что погрешность полученных значений координат и других параметров не превышает некоторого значения.

В качестве основной характеристики точности на практике принято использовать среднеквадратическую погрешность, либо величины, кратные ей с постоянным коэффициентом, например 1,96 СКП, что соответствует доверительной вероятности $\gamma = 95\%$ – при условии, что погрешности подчиняются нормальному распределению. Последнее условие зачастую опускается в документации к программному обеспечению (например, в Trimble Business Center [5]), несмотря на то, что оно является ключевым и далеко не всегда выполняется.

С практической точки зрения важно не значение СКП само по себе, а возможность гарантировать с вероятностью *не менее* заданного значения γ_T , что погрешность находится в границах доверительного интервала. Оценить величину этого интервала при заданном уровне значимости $\alpha_T = 1 - \gamma_T$ при одном

и том же значении СКП можно по-разному – в зависимости от принятой гипотезы о распределении случайных погрешностей.

В тех случаях, когда предположение о нормальном распределении не надёжно, следует применять неравенство Чебышёва или обобщённое неравенство Гаусса (неравенство Высочанского-Петунина). При этом не требуется конкретно определять закон распределения случайной величины. Требуется лишь выполнение некоторых условий. В частности, если стандартное отклонение σ случайной величины x конечно, то справедливо неравенство Чебышёва [6]:

$$\alpha = P(|x - E(x)| \geq k\sigma) \leq \frac{1}{k^2}, \quad (1)$$

Для одномодальных распределений справедливо неравенство Высочанского-Петунина [7]:

$$\alpha = P(|x - \hat{x}| \geq k\theta) \leq \frac{4}{9k^2}, k \geq 2, \quad (2)$$

где \hat{x} – произвольная величина (в нашем случае – оценка величины x); θ – второй момент распределения $F(x)$ относительно \hat{x} :

$$\theta^2 = \sigma^2 + (E(x) - \hat{x})^2 > 0, \quad (3)$$

Размеры доверительных интервалов при заданных вероятностях выхода погрешности за пределы этих интервалов приведены в таблице.

Условие применимости неравенства Чебышёва (конечность дисперсии) на практике выполняется всегда. Условие применимости неравенства Высочанского-Петунина (одноmodalность распределения остаточных невязок) может быть проверено с помощью статистического теста, описанного в работе [8].

Таблица

Доверительные интервалы при различных статистических гипотезах

Гипотеза о распределении случайных погрешностей	Значение k при вероятности α не более			Основание
	5 %	1 %	0,1 %	
Нормальное распределение	1,96	2,58	3,29	Нормальный закон распределения
Любое одноmodalное распределение	2,98	6,67	21,08	Неравенство Высочанского – Петунина
Любое распределение с конечной дисперсией	4,47	10,00	31,62	Неравенство Чебышёва

Если гипотеза о нормальном законе распределения погрешностей отвергается по результатам статистических тестов, предпочтительно использовать неравенство Высочанского-Петунина, так как применение неравенства Чебышёва будет приводить к чрезмерно пессимистичной оценке точности.

Принципиальным отличием рассмотренного подхода от общепринятого является возможность применения альтернативных, более общих, более надёжных, гипотез о законе распределения остаточных невязок, если основная гипотеза о нормальном законе отвергнута. Показано, что в качестве альтернативной может быть выдвинута гипотеза об одноmodalности распределения остаточных невязок, которая также может быть проверена в результате статистического тестирования и позволяет оценить размер доверительной области с помощью обобщённого неравенства Гаусса (неравенства Высочанского-Петунина). Например, в этом случае для доверительной вероятности 95 % радиус доверительного интервала будет равен 3,0 СКП, что позволит более надёжно оценить разброс оценок, если гипотеза о нормальном распределении отвергнута (при нормальном распределении – 2,0 СКП). В то же время такая оценка разброса является более информативной в сравнении с чрезмерно пессимистичной оценкой, которую даёт неравенство Чебышёва, применимое для всех распределений с конечной дисперсией (радиус доверительного интервала 4,5 СКП при доверительной вероятности 95 %). Предложенный подход, теоретически, позволяет обойтись без предположения о конкретном законе распределения

погрешностей и избежать отбраковки ценной измерительной информации в случае, если гипотеза о нормальном распределении невязок отвергнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. – Т. 2. – М.: Картгеоцентр, 2006. – 359 с.
2. О надёжности сетей постоянно-действующих базовых станций / К. М. Антонович, И. Г. Ганагина, Н. С. Косарев, А. М. Косарева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 4/С. – С. 30–36.
3. Cai J. The statistical property of the GNSS carrier phase observations and its effects on the hypothesis testing of the related estimators [Электронный ресурс] / J. Cai, E. W. Grafarend, H. Congwei // Proceedings of ION GNSS, 2007. – С. 25–28. –Режим доступа: http://www.uni-stuttgart.de/gi/research/paper/2007/ION_GNSS_2007_Proc_Published_2_VM_Cai.pdf.
4. Luo X. On the probability distribution of GNSS carrier phase observations / X. Luo, M. Mayer, V. Heck // GPS Solut. – 2011. – Т. 15. – № 4. – С. 369–379.
5. Trimble Business Center 2.50. Help [Электронный ресурс].
6. Королюк В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Трубин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. Вып. 2, перераб. и доп. – 640 с.
7. Высочанский Д. Ф. Об одном неравенстве Гаусса для одновершинных распределений / Д. Ф. Высочанский, Ю. И. Петунин // Теория вероятностей и её применения. – 1982. – Т. 27. – № 2. – С. 339–341.
8. Hartigan J. A. The dip test of unimodality / J. A. Hartigan, P. M. Hartigan // Ann. Stat. – 1985. – Т. 13. – № 1. – С. 70–84.

© Л. А. Липатников, 2016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОРИЕНТИРОВКИ ОБЩЕЗЕМНОГО ЭЛЛИПСОИДА WGS-84 ДЛЯ ПУНКТА «КИТАБ»

Дилбархон Шамурадовна Фазилова

Астрономический институт им. Улугбека Академии наук Республики Узбекистан, 100052, Узбекистан, Ташкент, ул. Астрономическая, 33, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела прикладных космических исследований, тел. (998-91)227-69-00, e-mail: kitab@intal.uz, dil_faz@yahoo.com

В работе выполнена аналитическая оценка значения составляющих уклонения отвесной линии для исходного пункта геодезической сети Узбекистана «Китаб» по временным рядам классических и спутниковых измерений на станции.

Ключевые слова: геоид, уклонения отвесной линии, локальный эллипсоид.

DEFINITION OF ORIENTATION WGS-84 ELLIPSOID ELEMENTS FOR THE “KITAB” STATION

Dilbarkhon Sh. Fazilova

Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, 100052, Uzbekistan, Tashkent, 33 Astronomicheskaya str., Ph. D., research scientist of Department of Applied Space Researches, tel. (998-91)227-69-00, e-mail: kitab@intal.uz, dil_faz@yahoo.com

In the article the analytical assessment of plumb line deflection components for geodetic network of Uzbekistan reference point «Kitab» on base the classical and satellite measurements time series of station is considered.

Key words: geoid, plumb line deflection, and local ellipsoid.

Для решения практических задач многих отраслей экономики Республики (УзГеодезКадастра, МЧС, строительные, транспортные организации и др.) требуется координатная основа, представленная геодезическими широтами, долготами и ортометрическими высотами. К сожалению, на сегодняшний день в Республике отсутствует единая глобальная координатно-временная система отсчета наземного базирования, подобно системе космического базирования GNSS. С другой стороны связь земной опорной системы координат с физической поверхностью геоида не определена с достаточной точностью. В настоящее время топогеодезические и геофизические службы Узбекистана используют опорную геодезическую сеть, базированную на эллипсоиде Красовского, а система GNSS использует Всемирную высотную систему WGS-84. Поэтому, с началом массового применения приемников спутникового определения координат и высот обострилась проблема разногласий высотных систем [1].

Для того чтобы выбранный эллипсоид относимости наилучшим образом представлял Землю, надо не только построить эллипсоид с наилучшими значениями большой полуоси и сжатия, но и суметь наилучшим образом

ориентировать этот эллипсоид в теле Земли. Если говорить более точно, надо не совместить выбранный исходный пункт эллипсоида относимости с исходным пунктом на геоиде, а расположить его относительно исходного пункта на геоиде на некоторой высоте или глубине так, чтобы поверхности геоида и эллипсоида относимости проходили, возможно, ближе одна от другой на всем их течении, т.е. определить исходные геодезические даты, геодезические координаты B_0 , L_0 и высоту геоида над эллипсоидом ζ_0 . При установлении ориентировки эллипсоида в теле Земли в исходном пункте определяют отклонения отвесных линий ξ_0 и η_0 и устанавливают некоторую высоту ζ_0 . Условия ориентировки эллипсоида в общем случае можно записать в виде [2]:

$$\begin{cases} B_0 = \phi_0 - \xi_0 \\ L_0 = \lambda_0 - \eta_0 \sec \phi_0 \\ \zeta = \zeta_0 \end{cases}$$

Из-за того, что гравиметрические измерения были выполнены на отдельных участках территории Узбекистана для целей геологии и геофизики, определение значения отклонения отвеса от нормали приходится для отдельных территорий выполнять аналитически. В данной работе выполнена оценка отклонения отвесной линии по временным рядам различных инструментов станции Китаб (рисУНОК, табл. 1).

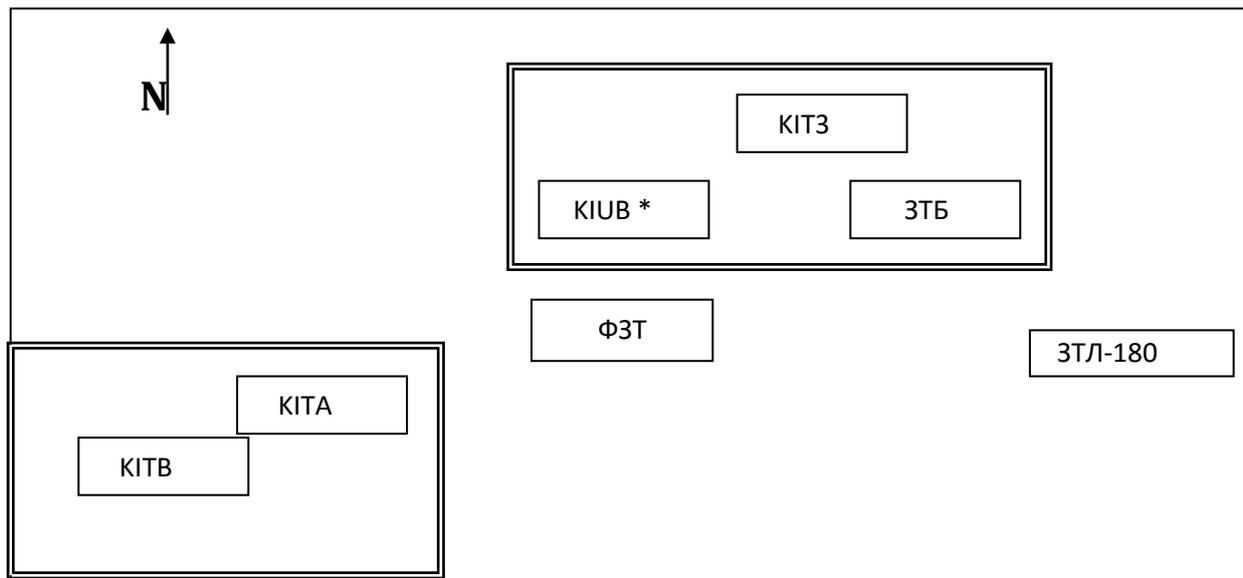


Рис. Схема размещения инструментов станции Китаб, использованных в работе

Китабская станция была организована для проведения исследований движения полюса Земли в 1930 году, где были установлены классические

астрономические инструменты ЗТБ (Зенит Телескоп Бамберга), ЗТЛ-180 (Зенит-телескоп) и ФЗТ (Фотографическая зенитная труба). С 1930 года по сегодняшний день получено около 250000 значений мгновенных широт Китаба. Среднеквадратическая ошибка широты составляет $0.20''$ для зенит-телескопа Бамберг, $0.19''$ для ЗТЛ-180 и $0.18''$ для ФЗТ [3]. В табл. 2 приведены значение астрономической широты Китаба, редуцированное на эпоху 2000.0 с учетом скорости DORIS станции KIUB в Китабе, определенной спутниковыми измерениями.

Таблица 1

Инструменты станции Китаб и период работы

Наименование	Сокращение	Период работы
Зенит телескоп Бамберга	ЗТБ	1930- 1982
Зенит-телескоп	ЗТЛ-180	1957-1990
Фотографическая зенитная труба	ФЗТ	С 1979 г.
Постоянная станция сети GPS	КИТЗ	С 1992 г. по наст. время
Постоянная станция DORIS (антенна Alcatel)	КИТА	1991-1996
Постоянная станция DORIS (антенна Starec)	КИТВ	1996-2000
Постоянная станция сети DORIS (антенна Starec)	КИУВ	С 2000г. по наст. время

Таблица 2

Астрономические координаты станции Китаб

Инструмент	Дата	Величина	Значение на эпоху 2000.0
ЗТБ	1956.25	$\varphi_{cp} = 39^{\circ}08' 01''.634 \pm 0''.20$ [4]	$\varphi_{cp,2000} = 39^{\circ}08' 01''.638$

С начала 90-х годов Китабская станция действует как опорный пункт геодинамической сети IGS и постоянная точка сети DORIS. Как видно по табл. 1, современные инструменты с течением времени вытеснили классические. Комбинация классических и современных методов дает информацию о закономерностях изменения уклонения отвеса от нормали и выявление долгопериодических членов разложения геопотенциала Земли. В данной работе использованы данные сервисного центра Международных служб IGS и DORIS [5] (табл. 3) WGS-84 координат пунктов КИТЗ, КИТА, КИТВ для вычисления длин дуг между пунктами и перехода к астрономическим координатам локальной сети станции Китаб.

Таблица 3

Эллипсоидальные координаты точек станции Китаб

Точка	L	B	H, м
КИТЗ	66°53'7".59739	39°8'5".15936	622.492
КИТА	66°53'5".48877	39°8'1".18967	630.209
КИТВ	66°53'5".48869	39°8'1".18936	629.440
КИУВ	66° 53'7".40162	39°8'5".04073	623.381

В настоящее время станция ДОРИС (КИУВ) установлена на столбе классического пункта триангуляции 2 класса, который расположен на одной широте с телескопом ЗТБ. Поэтому положим за точку отсчета КИУВ:

$$\varphi_{kiub} = 39^{\circ}08'1.''638$$

$$\lambda_{kiub} = 66^{\circ}52'57.''323$$

В табл. 4 представлены значения вычисленных астрономических координат и в табл. 5 - значения уклонения отвеса от нормали исследуемых точек станции Китаб.

Таблица 4

Астрономические координаты точек станции

Точка	φ	λ
КИТЗ	39°8' 1".7539	66°52'57".5206
КИТА	39°7'57".7852	66°52'55".4142
КИТВ	39°7'57".7841	66°52'55".4139

Таблица 5

Значения уклонения отвесных линий для точек станции Китаб

Точка	$\xi, ''$	$\eta_{\text{secф}}, ''$	$\sigma_{\xi}, ''$	$\sigma_{\eta_{\text{secф}}}, ''$
КИТЗ	-3.389	-10.087	0.011	0.005
КИТА	-3.399	-10.049	0.009	0.015
КИТВ	-3.378	-10.062	0.022	0.033

Из табл. 5 видно, что наибольшее уклонение отвеса, получается, вдоль меридиана. Возможно, это связано с точностью определения астрономической долготы, наличием большого долготного дрейфа или другими локальными факторами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Гиенко Е. Г., Косарев Н. С. Анализ источников погрешностей преобразования координат пунктов спутниковых геодезических сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 4/С. – С. 55–62.
2. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли // Москва: Гос. Изд. Ф.-м. лит. 1963 г.
3. Ehgamberdiev Sh., S. Eshonkulov and E. Litvinenko. Kitab as One of the Five Stations of the ILS: History and Present// Polar Motion: Historical and Scientific Problems. IAU Colloquium 178. San Francisco, 2000, с 163-167.

4. Калмыков А.М. Китабской Международной широтной станции имени Улугбека 50 лет// Сб."Вращение Земли и геодинамика". Ташкент, Фан, 1983, с. 3-12.
5. <http://cddis.gsfc.nasa.gov/>

© Д. Ш. Фазилова, 2016

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАВИНООПАСНЫХ ЗОН В ВЫСОКОГОРНОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ ИЛЕ АЛАТАУ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Карагоз Абубакировна Ыстыкул

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Торайгырова, 16, докторант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (701)128-38-37, e-mail: karagozy@mail.ru

Владимир Адольфович Середович

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор, проректор по НИРД, тел. (913)986-56-80, e-mail: v.seredovich@list.ru

Жаксыбек Джакунбекович Байгурин

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 15, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (701)732-30-18, e-mail: baygurin@mail.ru

В статье освещены вопросы определения лавиноопасных зон в горных районах с применением лазерного сканера. В настоящее время горные районы являются обжитыми или рекреационными зонами, и часто сход лавин представляет большую угрозу. При этом особое внимание уделено рельефу горного района, крутизне склона и его экспозиций. По топографическим картам выявлены участки с лавиноопасными склонами. По классу опасности местность разделена на три группы: благоприятная зона, опасная зона и зона повышенного риска. Выбран лавиноопасный склон в лавиносборе «Алматау» от 30–45°, такие склоны являются опасными, так как при угле наклона свыше 30°, возникает максимальное скольжение толщи снега, воды, верхнего слоя поверхности и происходит нарастание скорости движущегося массива. По данным наземного лазерного сканера (НЛС) была создана цифровая модель рельефа (ЦМР).

Ключевые слова: геоинформационная система, цифровая модель рельефа, крутизна склонов, лавиноопасные зоны, наземное лазерное сканирование.

MAPPING THE AVALANCHE ZONES IN THE MOUNTAINOUS RECREATION AREA OF ILE ALATAU WITH LASER SCANNING

Karagoz A. Ystykul

Kazakh National Technical University after K. I. Satpaev, 050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, 16 Toraigyrova St., Ph. D. doctor of Department Geodesy, tel. (701)128-38-37, e-mail: karagozy@mail.ru

Vladimir A. Seredovich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Vice-rector for Research and Innovation, professor, candidate of technical Sciences, tel. (913)986-56-80, e-mail: v.seredovich@list.ru

Zhaksybek D. Baigurin

Kazakh National Technical University after K. I. Satpaev, 050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, 15 Satpaeva St., doctor of technical science, prof. of Department Geodesy, tel. (701)732-30-18, e-mail: baigurin@mail.ru

In the article the questions of determination of avalanche zones are lighted up in mountain districts with the use of laser scanner. Presently mountain districts are to live or recreational zones, and often the tails of avalanches present a large threat. Thus the special attention is spared to relief of mountain district, steepness of slope and his displays. On topographical maps areas are educed with avalanche slopes. On the class of danger locality is divided into three groups: favorable zone, dangerous area and zone of highest risk. An avalanche slope is chosen in avalanche zone "Алматы" from 30-45°, such slopes are dangerous, because at coal inclination over 30°, there is the maximal skidding of layer of snow, water, upper layer of surface and there is growth of speed of moving array. From data of surface terrestrial laser scanner (TLS) the digital terrain model (DTM) was created.

Key words: Geographic Information System, digital terrain model, steep slopes, avalanche zone, terrestrial laser scanning.

Потепление климата зимой и выпадение большого количества осадков, резко увеличивающих толщину снежного покрова в горных районах, приводят к внезапному сходу снежных лавин (а весной – к увеличению объема талой воды), являющихся причиной не только несчастных случаев туристов, альпинистов, горнолыжников, но и разрушения инженерно-строительных, хозяйственных, спортивных объектов и построек, расположенных на склонах гор.

В целом, лавины и сели также представляют угрозу г. Алматы. Алматы расположен у подножия горы, у устья селеопасных и лавиноопасных горных рек: Большая Алматинка, Малая Алматинка, Есентай, Котырбулак и др. Лавины угрожают населенным пунктам, горнолыжным курортам, автомобильным дорогам. С 1951 по 2014 г. в горах Казахстана зафиксировано 76 лавин, сход которых нанёс значительный ущерб. За этот период в лавины попали 173 человека, из которых 87 погибли[1]. Чаще всего в лавины попадают туристы, альпинисты и горнолыжники. В качестве противолавинных мероприятий используются прогнозирование лавин, профилактические спуски и защитные сооружения.

Погодные условия последних лет, способствующие вытаяванию ледников, вместе с длительными проливными дождями приводят к поднятию уровня высокогорных озер, их разливу и образованию селевых потоков, захватывающих на своем пути не только рыхлые отложения, но и твердые породы, разбивающих их и уносящих с собой. Привычным стало получение жителями города предупреждающих сообщений, о возможности схода снежных лавин и селей от Департамента по Чрезвычайным Ситуациям г. Алматы.

В связи с этим изучение, анализ и создание доступных информационных материалов по оценке и прогнозированию чрезвычайных стихийных ситуаций, предназначенных широкому кругу потребителей, является актуальной задачей. Объединение данных аэрокосмических и наземных съемок, архивных карт, научных исследований и инженерных изысканий в единую автоматизированную систему в ГИС-среде позволило бы решить задачу обеспечения безопасности жизнедеятельности в условиях горной местности,

разработать меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций и предотвращению человеческих потерь. Известно, что участки с наибольшим уклоном зачастую способствуют оползням, скольжению с ускорением снежных сходов, селей и лавин. Поэтому отображение состояния местности и погодных условий с помощью ГИС позволило бы наглядно продемонстрировать возможные места, склоны гор, подверженных сходу снега, селей и лавин, тем самым предотвратить их разрушительные последствия. Такой автоматизированный мониторинг путем создания цифровой модели местности (ЦММ) был бы востребован не только альпинистами, горнолыжниками, туристами, но и простыми горожанами, предпочитающими активный отдых на склонах горы Иле Алатау.

В настоящее время изучению снежных лавин и стока талой воды посвящено большое количество научных трудов. В работах авторов [2- 4] прогнозируются сходы лавин на основе модели RAMMS. В основе программы лежит численное решение уравнения динамики второго порядка. Для отображения на экране компьютера картины движения лавины используется усреднение по глубине снежного потока. Высота и скорость движения снежного потока рассчитываются на предварительно специально заложенных цифровых трехмерных моделях местности. А. С. Соловьевым, А. В. Калач [5] разработана имитационная математическая модель зарождения и схода снежной лавины при изменении температуры окружающего воздуха и таянии снежного покрова на склоне. Изменение температуры воздуха (как повышение, так и понижение) приводит к изменению механических параметров снега (вязкости, сцепления отдельных фрагментов), что вызывает появление внутренних напряжений в снежной массе и может вызвать ее деформации и разделение на фрагменты, которые могут привести к образованию снежной лавины [5]. Если крутизна склона (угол склона до 30°) небольшая, то происходит медленное сползание тающей снежной массы, а на крутых склонах (угол склона более 40°) – лавинообразное движение снега. Толщину снежного покрова определяют либо непосредственным измерением величин при съемках и шурфовании снежного покрова, либо по математическим моделям. При наличии цифровой карты местности, метеонаблюдений, прогноза погоды и данных о взрывах или ожидаемых естественных землетрясениях использование математических моделей позволяют смоделировать развитие снежной толщи на несколько часов, дней, недель, месяцев и даже лет [5].

На основе анализа и обобщения существующих методов сделан вывод о необходимости разработки методики определения показателей лавинной опасности по результатам геодезических наблюдений. Метод данного уровня позволит максимально адекватно анализировать рельеф, т.к. рельеф является одним из основных компонентов, обуславливающих лавинную опасность. Кроме того, такой метод позволил бы использовать высокую пространственную детализацию и для воспроизведения горного склона использовать реальные карты местности.

Объектом исследования в данной работе является предгорье Иле Алатау, лавиносбор «Алматау», бассейн р. Котырбулак, расположенное в пределах $43^{\circ}11'04,4''$ – $43^{\circ}11'11,9''$ с. ш., $77^{\circ}08'05,7''$ – $77^{\circ}08'01,0''$ в. д. Работа выполнялась на примере отдельных (ключевых) лавиносборов, представленные разными морфологическими типами. Полигоны получили названия КазНТУ №1 (2121м), КазНТУ №2 (2080м). Все они расположены в окрестностях города Алматы и находятся в зоне регулярных снеголавинных наблюдений. Выбор ключевых лавиносборов обусловлен их типичностью для районов исследования (характерные морфологические типы лавиносборов и генетические типы лавин), наличием данных многолетних наблюдений за сходящими в них лавинами, а также детальными данными о рельефе (ЦМР с разрешением 5 м).

В процессе проведения геодезических изысканий было использовано геодезические приборы как GPS 1200, электронный тахеометр TCRA 1205 и лазерный сканер FARO LASER SCANNER FOCUS 3D и отсканирована часть лавиноопасного склона в бассейне р.Котырбулак общей площади 0.75 га, на основе чего разработана технология выполнения съемки и создания цифровых моделей объектов и рельефа. Продолжительность полевых работ составила 2 дня. Это высочайшая скорость выполнения съемки, которая не под силу любому другому способу. На обработку результатов ушло 3 месяца. В результате выполненной работы получены трехмерные модели объекта в формате AutoCAD и продольные и поперечные профили (рис.1), которые послужили основой для оценки лавинной опасности. Что и являлось главной задачей геодезических изысканий [6].

Для морфологического анализа рельефа и множества других целей требуются ЦМР с различной горизонтальной и вертикальной точностью. Источниками информации для построения ЦМР служат топографические карты, стереопары аэро- и космических снимков, данные радиолокационной, наземной съемки и т.д. Все эти методы отличаются друг от друга точностью конечного результата. Так например, при изображении рельефа, представленного данными SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), в целом соответствует точности топографических карт масштабов 1:100 000 – 1: 50 000, а по аэрофотосъемкам -3м, топографических карт масштабов 1 : 25 000 - 2,5 м, а по данным НЛС -1см или мм точность. Из ЦМР, находящихся в свободном доступе, на сегодняшний день можно выделить лишь GTOPO30 [7], разрешение которых составляет 1-2 км, а вертикальная точность ± 650 м. Не будем останавливаться на построение ЦМР, т.к. многие ученые дали полное описание построение ЦМР по данным лазерного сканирования в разных программных продуктах.

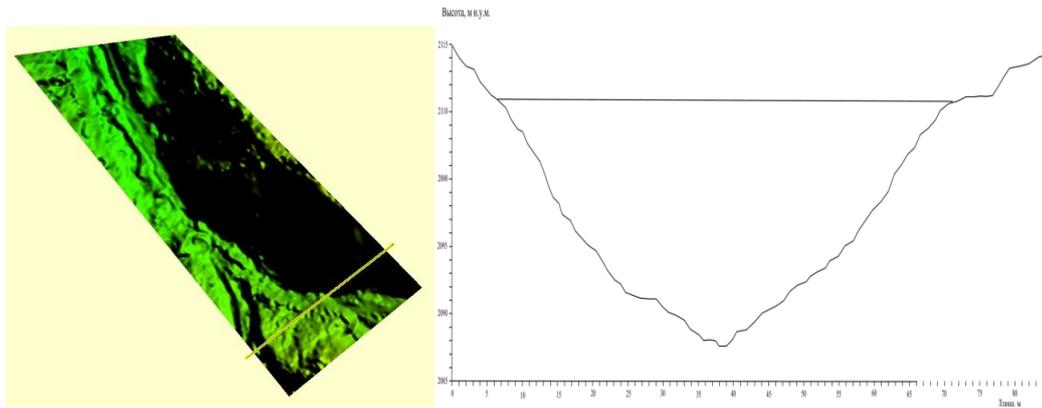


Рис. 1. 3D-модель рельефа и поперечный профиль лавинного лотка с определением максимальной высоты лавинного потока

Цифровая модель позволяет провести количественный анализ- вычислить статистические показатели, такие как средняя высота, крутизна скатов, экспозиция (рис. 2). С помощью этих параметров можно достичь морфологического анализа рельефа исследуемой территории и решать различные инженерные задачи.



Рис. 2. Математическое моделирование лавин

На образование снежных лавин, кроме метеорологических условий, таких как температура, скорость ветра, толщина снега влияют особенности горного рельефа. Большое значение в процессе образования снежных лавин играют крутизна (уклон) склона и его экспозиция. Если крутые склоны способствуют накоплению снежного покрова в определенных местах, усиливают лавинную опасность склона, то различные неровности могут задержать лавину. По данным статистики основная часть лавин формируется на склонах круче 30°.

Изображение уклонов поверхности (slope precisions). Это распространенная морфометрическая характеристика пространственной ориентации элементарного склона, вычисляемая в процессе обработки цифровой модели рельефа вместе с его экспозицией и формами. Представляет собой угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью; выражается в градусах или в безразмерных величинах уклонов, равных тангенсам углов наклона, а также в процентах или промилле. При этом термины "угол наклона" и "крутизна склона" ("крутизна ската") чаще всего используются как синонимы; иногда в качестве синонимов употребляются термины "крутизна" и "наклон" склона; в англоязычной терминологии термину "gradient" обычно соответствует понятиям "наклон" или направление наибольшего ската[8]. В нашем случае склон имеет угол 30- 40⁰, что показывает лавиноопасность местности (таблица).

Таблица

Виды склонов	Крутизна, градусы	Характеристика склонов
Покатые	6-30	Более покатые склоны гор, не представляющие опасности
Крутые	30-45	Оползневые, осыпные, лавиноопасные
Обрывистые	45-60	Труднодоступные лавиноопасные склоны гор
Отвесные	60-90	Неприступные

Таким образом, полученная модель отчетливо показывает места, представляющие наибольшую опасность, при которых создаются условия возникновения опасных разрушительных процессов: интенсивной эрозии, оползней, лавинообразования и др. Аналогичную модель можно создать на любую местность, не только для показа критических уклонов, но и для отображения руководящих и предельных уклонов, применительных к задачам строительства (дорог, промышленных объектов, гидротехнических сооружений и т. д.), мелиорации сельскохозяйственных полей. При этом задается другая шкала угла наклона.

Созданная 3D-модель уклонов рельефа местности позволяет выполнить комплексное изучение любой местности, в том числе горной, оценивать текущее состояние, прогнозировать (рис.2) возможные селевые потоки и снежные лавины в кратчайшие сроки, также выявлять особо опасные зоны и пути эвакуации. Погодные условия данные о метеоусловиях для хребта Иле

Алатау предоставляет Республиканское государственное предприятие «КазГидромет» (РГП «КазГидромет»). Их можно получить также с Интернет-сайтов. Следует учитывать, что на большинстве сайтов точность приведенных данных низкая и не подходит для населенных пунктов, расположенных в предгорной и горной местности.

На созданную ЦМР также нанесены данные метеорологической службы на зимний период 2014-2016 годов. Тем самым созданная модель позволяет оперативно получать информацию по запросу и отображать ее на картооснове, оценивать состояние местности на лавиноопасность, а также решить задачу обеспечения безопасности жизнедеятельности в условиях горной местности, разработать меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций и предотвращению человеческих потерь.

Определение толщины снежного покрова по космическим снимкам имеет преимущество перед натурными измерениями, так как позволяет получить непрерывный массив точек по данной области, тогда как метео-площадки размещены не по всей поверхности Земли. Однако на сегодняшний день надежной методики определения толщины снежного покрова по космическим снимкам не существует. По ним можно определить непосредственно сам факт присутствия/отсутствия снега, а также некоторые его физические свойства на момент съемки (влажность, возраст (относительно), тенденции к продвижению ледников). Например, многие авторы определяют толщину снега по космическим снимкам, где основным признаком, указывающим на высоту снежного покрова, является глубина цвета.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что в ГИС-программах путем наложения на ЦМР информации о метеоусловиях можно разработать геомодель с высокой точностью, показывающую наиболее опасные зоны. Использование НЛС данных по сравнению космическими данными имеют ряд преимуществ, так как имеют высокую точность. Научно-практическое значение созданной ЦМР связано не только с возможностью применения ее для оценки и прогнозирования развития опасных природных процессов, но и для оценки с ее помощью рельефа, почвенного покрова, растительности и геосистем. ЦМР будет также полезна службе ЧС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Благовещенский В.П., Жданов В.В. Защита от снежных лавин в Казахстане. Инженерная защита №3(8), 2015. С 56-64
2. Bartelt P. Frictional relaxation in avalanche / P. Bartelt, O. Buser // *Annals of Glaciology*. 2010. – V. 51(54). – P. 98-104.
3. Birkeland Karl W. The stuffblock snow stability test. / Karl W. Birkeland, Ron Johnson, Diane Herzberg // Rep. 9623-2836-MTDC. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center. – 1996. – 20 p.
4. Christen M. RAMMS: numerical simulation of dense snow avalanche in three-dimensional terrain / M. Christen, J. Kowalski, P. Bartelt // *Cold Regions Science and Technology*. – 2010. – V. 63. – P. 1-14.

5. Соловьев А. С., Калач А. В., Псарев С. А. Образование снежной лавины при таянии снежного покрова на склоне: Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2012. – Вып. 4(44)–август; [Электрон-ный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipb.mos.ru/ttb>.
6. Ыстыкул К.А., Середович В.А. Исследование снежных лавин с применением технологии наземного лазерного сканирования. Вестник КазНУ, серия географическая №1(40), 2015.- с 372- 380
7. <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>
8. Думит Ж.А. Использование цифровых моделей рельефа: прикладной аспект.

© К. А. Ыстыкул, В. А. Середович, Ж. Д. Байгурин, 2016

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ЛИНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ДАННЫМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Определение характерных линий автомобильных дорог является одной из задач в автодорожной отрасли. Векторизация характерных линий необходима для определения геометрических параметров автомобильных дорог. Данные мобильного лазерного сканирования способны значительно ускорить и повысить точность процесс поиска таких линий. В статье проведены исследования методов поиска характерных линий.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, автомобильная дорога, характерные линии.

SEMI-AUTOMATIC DETECTION OF ROAD BREAKLINES USING MOBILE LASER SCANNING DATA

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer, engineering geodesy and mine surveying department, tel. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Detection of road breaklines is one of the tasks in the road industry. Vectorization of breaklines is necessary for searching road geometry parameters. Mobile laser scanning data are dramatically capable to speed up and to increase an accuracy of searching such lines. The study of methods for searching breaklines is given.

Key words: laser scanning, road, breaklines.

Эффективное планирование и управление транспортной инфраструктурой требует наличия приемлемого набора пространственных данных. Традиционные технологии сбора пространственных данных весьма дорогостоящи, трудоёмки и требуют серьёзных временных затрат. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) позволяет значительно ускорить процесс сбора пространственных данных, которые получаются в виде массивов точек лазерных отражений. В настоящее время появляется всё больше систем МЛС, применимых для сбора данных в автодорожной отрасли. Данные МЛС в этой отрасли применяются для создания топографических планов, построения продольных и поперечных профилей, цифровых моделей поверхности дорожного полотна, для определения геометрических параметров дорог и объектов придорожной полосы [1-4]. МЛС также является надёжным и достоверным источником данных при контроле над строительством новых

дорог. Повторное выполнение МЛС дорог способно выявить все дефекты дорожного полотна, оценить все его изменения [5-7].

Вследствие огромного объема данных лазерного сканирования возникает необходимость извлекать информацию об автомобильных дорогах из массива точек лазерных отражений (ТЛО) посредством их перевода в векторный формат. В данном формате вся информация об автомобильных дорогах должна быть представлена в виде характерных линий, описывающих покрытие, геометрические параметры дорог и прилегающих к ним территорий. Для быстрого и точного извлечения такого рода информации требуется разрабатывать различные методики и алгоритмы, которые будут способны проанализировать весь массив ТЛО. В настоящее время работы в этом направлении активно ведутся параллельно разными исследователями. В [10-12] представлены основные концепции и алгоритмы извлечения пространственной информации из массива ТЛО. В общем случае задачу автоматизации получения векторной информации по массиву точек можно разделить на несколько этапов [10]:

- получение поверхности дорожного полотна;
- создание геопривязанных растровых изображений по массиву точек поверхности дорожного полотна;
- выделение трещин дорожного полотна по геопривязанным растровым изображениям и на основе анализа значений интенсивности ТЛО;
- выделение дорожной разметки по значениям интенсивности ТЛО;
- векторизация характерных линий автомобильных дорог в результате анализа высот ТЛО и их значений интенсивности;
- построение высокоточных цифровых моделей поверхности дорожного полотна и прилегающих областей на основе полученных характерных линий и массива ТЛО.

В статье исследуются вопросы векторизации характерных линий автомобильных дорог и построение цифровой модели поверхности дорожного полотна и модели рельефа придорожной полосы.

Характерные линии определяют основные элементы автомобильных дорог, которые характеризуют их в продольном и поперечном профиле.

К основным характерным линиям автомобильной дороги можно отнести следующие [8]: ось поперечного профиля, выпуклость поперечного профиля, границы укрепленной полосы обочины, кромки проезжей части, бровка и подошва земляного полотна.

Автоматизированная векторизация характерных линий выполнялась на основе данных МЛС, полученных с помощью системы Riegl VMX-250 на участок автомобильной дороги между поселками 8 марта и Верх-Тула в пригороде г. Новосибирска. Обработка данных выполнялась в программном комплексе TerraSolid.

На первом этапе выполнялась классификация ТЛО. Необходимо было выделить в отдельный класс точки, характеризующие поверхность земли и

дорожного полотна. Для классификации использовался алгоритм молдинга [13]. Классифицированные точки служили основой для поиска характерных линий. На исследуемом участке автодороги присутствовала дорожная разметка, которая описывала кромки и ось автомобильной дороги. Дорожная разметка обладает высокой отражательной способностью. Поэтому она является хорошо читаемой в массиве ТЛО по сравнению с близлежащими участками. Для автоматизированного выделения кромок и оси из массива точек земли и дорожного полотна были выделены в отдельный класс такие точки, которые имели высокую отражательную способность. На рис. 1 показан фрагмент массива ТЛО на участок дороги до выполнения классификации по значениям интенсивности и после неё.

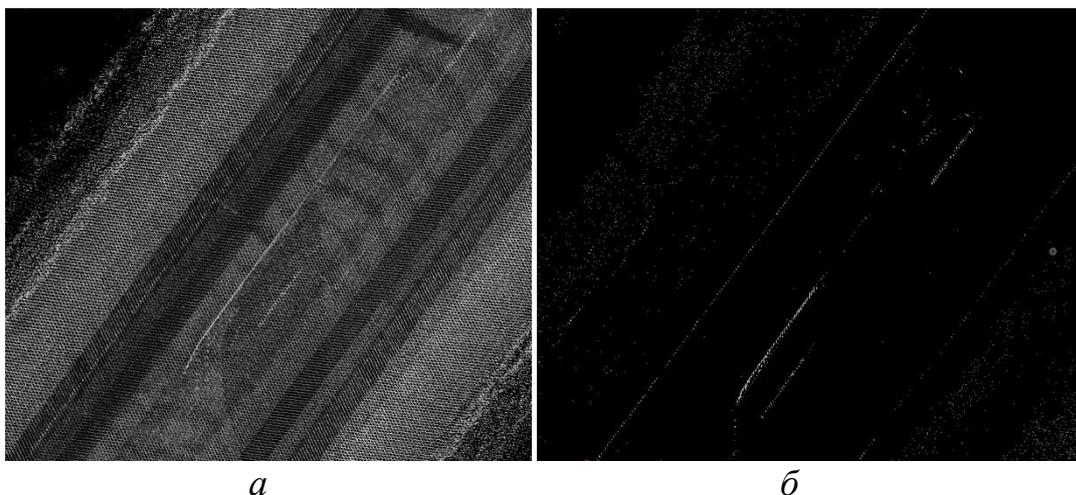


Рис. 1. Массив ТЛО участка дорожного полотна:

а – весь массив ТЛО; *б* – классифицированные ТЛО по интенсивности

Суть автоматизации процесса определения характерных линий заключается сначала в приблизительной векторизации каждой из них, а затем в их автоматическом перенесении в нужную позицию [13]. Вначале в плане была приблизительно векторизована одна из кромок с точностью порядка 1 м. Затем был задействован алгоритм переноса векторных элементов на массив точек по высоте, суть которого заключается в присвоении каждой позиции линии таких же высот, как в массиве ТЛО при равенстве плановых координат линии и ТЛО. Поиск средних высот для линии осуществлялся по массиву ТЛО в радиусе 10 см от каждой её позиции. Затем линия кромки вписывалась в классифицированные по интенсивности ТЛО, соответствующие разметке. Алгоритм вписывания позволяет повысить точность размещения линии как в плане, так и по высоте при задании радиуса поиска. В данном случае радиус поиска был установлен на значении 0,5 м. Затем получившаяся линия кромки была скопирована сначала к разметке на другой стороне дороги, а затем к её оси, и процесс вписывания был повторён. На рис. 2 поэтапно показан процесс определения кромок и оси автомобильной дороги. Все интерактивно

векторизованные линии показаны оранжевым цветом, а автоматически – зелёным.

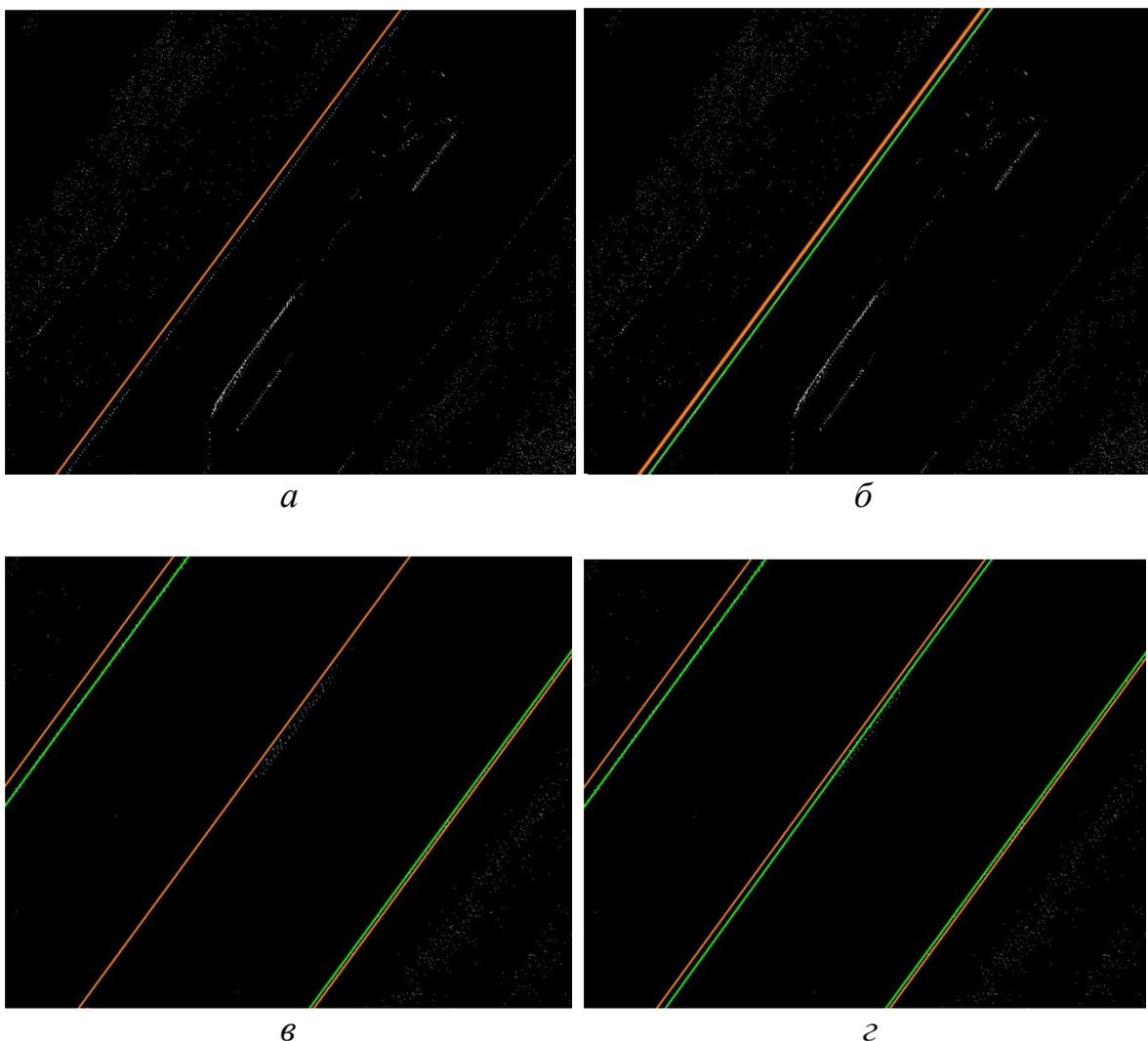
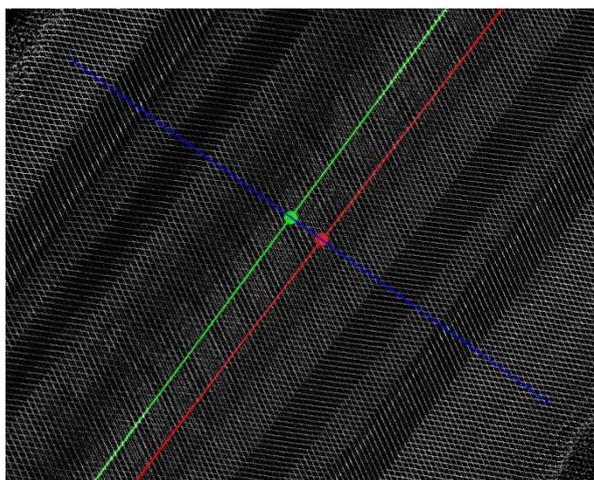


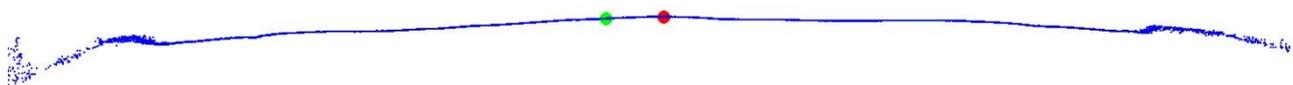
Рис. 2. Векторизация кромок и оси автомобильной дороги:

а – интерактивная векторизация левой кромки; *б* – автоматическое вписывание левой кромки; *в* – копирование линии кромки к оси к другой стороне дороги, вписывание линии правой кромки; *г* – вписывание линии оси дороги

Следующей задачей стало определение линии выпуклости поперечного профиля автомобильной дороги, соответствующей изменению направления поперечного уклона, то есть определению точек перегиба по оси дороги. За основу была взята автоматизированно определенная ось дороги. Определение точек перегиба выполнялось автоматически с помощью соответствующего алгоритма. Для дороги шириной 8 м был задан радиус поиска точек перегиба на значении 3 м. На рис. 3 показаны результаты поиска линии выпуклости поперечного профиля дороги, где зелёным цветом изображена линия оси дороги, а красным – линия выпуклости.



a



б

Рис. 3. Векторизация линии выпуклости поперечного профиля дороги:

a – вид сверху; *б* – поперечный профиль

Далее выполнялось определение границ укрепленной полосы обочины. Данная задача может быть решена двумя способами: по изменению уклона в точке смены покрытия или по изменению значений интенсивности. Значения интенсивности твердого покрытия автомобильных дорог отличаются от значений интенсивности неукрепленной полосы обочины. В случае для исследуемого участка дороги изменений уклона при смене покрытия на обочине не наблюдалось, поэтому векторизация границ укрепленной её полосы выполнялось интерактивно по значениям интенсивности. На рис. 4 показан результат векторизации границ укрепленной полосы обочины с отображением линии выпуклости поперечного профиля дороги.

Затем было проведено выделение откосов дорог, представленных линиями бровок и подошв земляного полотна. В данном случае даже приблизительное определение положения таких линий по массиву ТЛО представляет собой сложную задачу. Упростить процесс интерактивной векторизации линий бровок и подошв земляного полотна способна построенная по точкам земли и дорожного покрытия цифровая модель рельефа (ЦМР) с отображением в виде цветовой палитры с изменением цветов по высоте.

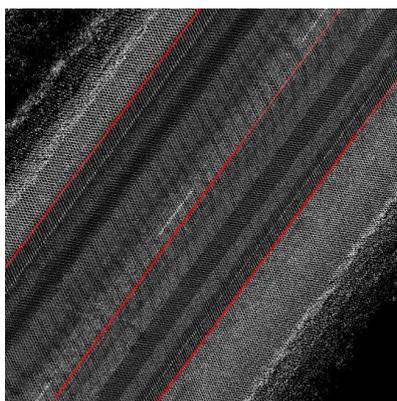


Рис. 4. Результат векторизации границ укрепленной полосы обочины

Построение цифровой модели рельефа по всем таким ТЛО занимает значительное время и требует больших вычислительных ресурсов из-за огромного числа ТЛО. Поэтому предварительно следует выполнять прореживание. Для прореживания применялся алгоритм классификации ключевых точек [9]. Алгоритм классифицирует точки перегиба рельефа на основе заданного допуска по высоте. По ключевым точкам рельефа была построена ЦМР и были интерактивно приблизительно векторизованы линии бровок и подошв откосов дороги (рис. 5, а). Из рис. 4 видно, что откосы описывает небольшое число ТЛО вследствие присутствия зон, не попавших в поле зрения лазерных сканеров системы МЛС. Из-за недостаточного числа ТЛО, описывающих откосы, при автоматической коррекции положения характерных линий откосов могут возникать ошибки. Чтобы их избежать, до выполнения процесса автоматической коррекции по ключевым ТЛО было выполнено создание регулярной сетки ТЛО с шагом 20 см. ТЛО регулярной сетки и ключевые ТЛО рельефа были объединены. На рис. 5, б показаны объединенные ТЛО с отображением по высоте.

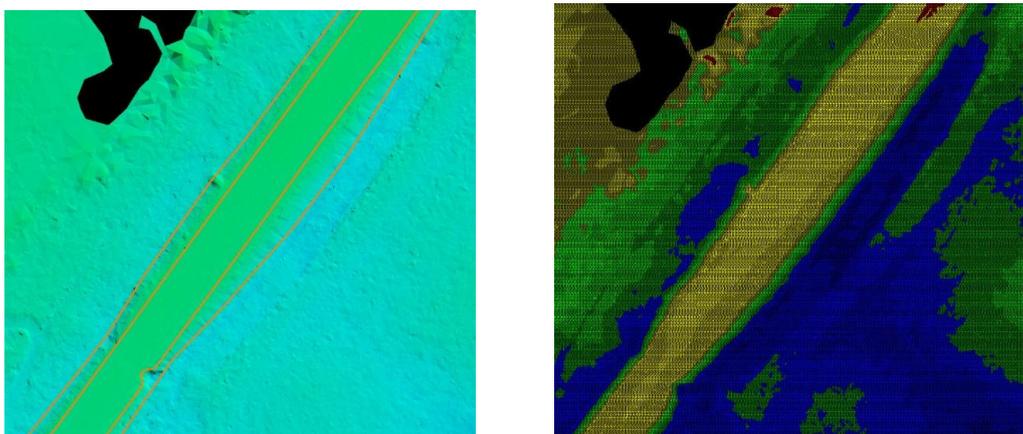
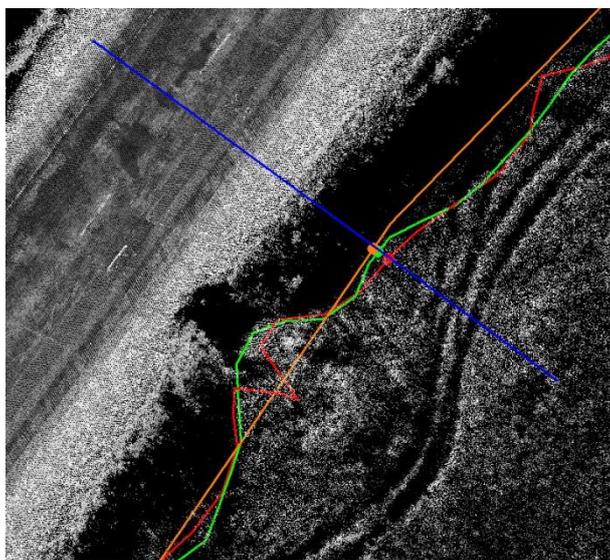


Рис. 5. ЦМР:

а – ЦМР по ключевым ТЛО и характерные линии откосов; б – регулярная сетка ТЛО

По объединённым ТЛО поверхности земли выполнялась автоматическая коррекция положения характерных линий откосов с заданием значения радиуса поиска 4 м. На рис. 6 показан результат автоматизированного поиска подошвы откоса при использовании исходных ТЛО и при применении ТЛО, соответствующих результату объединения точек регулярной сетки и ключевых точек, где оранжевым цветом показана интерактивно векторизованная линия, красным – автоматически векторизованная линия по исходным ТЛО, а зелёным – автоматически векторизованная линия по объединённым ТЛО. Как видно, линия подошвы откоса, полученная по объединённым ТЛО, более плавная и более точно описывает действительную подошву откоса.



a



б

Рис. 6. Поиск подошвы откоса:

a – вид сверху; *б* – поперечный профиль исходных ТЛО

Аналогично были получены оставшиеся характерные линии земляного полотна. Все линии были использованы в качестве структурных для построения цифровой модели поверхности (ЦМП) дороги и ЦМР придорожной полосы. На рис. 7 показан результат построения с отображением всех характерных линий.

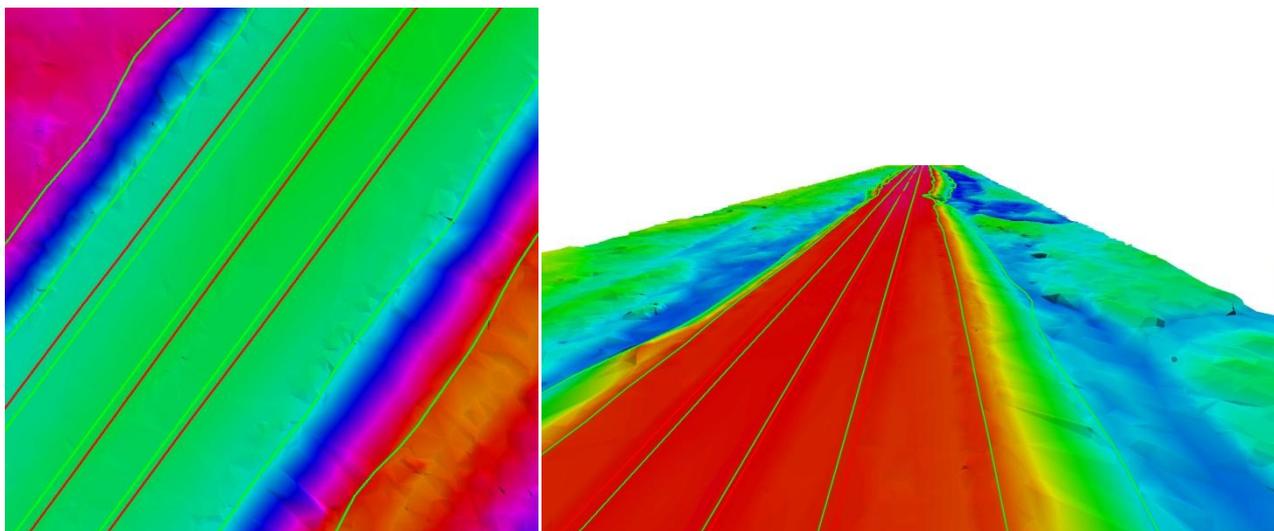


Рис. 7. ЦМП дороги и ЦМР придорожной полосы

Таким образом, были автоматизировано найдены все характерные линии автомобильной дороги на участке трассы в пригороде г. Новосибирска. Было определено, что сначала необходимо выполнить приблизительную векторизацию каждой характерной линии. Для поиска характерных линий откосов дороги необходимо иметь массив ТЛО без теневых зон или точки на недостающих участках получить методом интерполяции путем создания регулярной в плане сетки высот. Полученные характерные линии можно использовать для создания высокоточной ЦМП дороги и ЦМР придорожной полосы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
2. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 140–144.
3. Середович В. А., Востров И. В. Обзор современных программных продуктов для создания и использования трехмерных моделей для проектирования автомобильных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 115–120.
4. Ковач Н. С., Клименок И. В. Возможности применения мобильного лазерного сканирования для мониторинга дорог и сопутствующей инфраструктуры на основе опыта произведённых работ на участках Октябрьской, Рязанской, Смоленской и Брянской железных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар.

науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 92–97.

5. Середович В. А., Попов Р. А., Алтынцев М. А. Выявление изменений в инфраструктуре города по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 156–160.

6. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142-149.

7. Середович В. А., Алтынцев М. А., Анцифиров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.

8. Федотова, Г. А. Справочная энциклопедия дорожника. V том. Проектирование автомобильных дорог [Текст] / Г.А. Федотова, П.И. Пospelова. – М., 2007. – 1466 с.

9. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Исследование точности создания цифровых моделей рельефа и вычисления объемов насыпи и выемки горных пород на основе данных лазерного сканирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 66–71.

10. Guan, H. Automated extraction of road information from mobile laser scanning data [Text] : A thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Geography /H. Guan. – Waterloo, Ontario, Canada, 2013. – 201 p.

11. Hervieu, A. Semi-automatic road/pavement modeling using mobile laser scanning [Text] : / A. Hervieu, B. Soheilian // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-3/W3, 2013, CMRT13 - City Models, Roads and Traffic 2013, 12 – 13 November 2013, Antalya, Turkey, pp. 31-36.

12. Miraliakbari, A. Automatic extraction of road surface and curbstone edges from mobile laser scanning data [Text] : / A. Miraliakbari, M. Hahn, S. Sok // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W5, 2015, Indoor-Outdoor Seamless Modelling, Mapping and Navigation, 21–22 May 2015, Tokyo, Japan, pp. 119-124.

13. Soininen, A. TerraScan User's Guide [Text] : / A. Soininen. – Finland, 2014. – 582 p.

© М. А. Алтынцев, 2016

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ «ХАН-ШАТЫР» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ CYCLONE

Ольга Газисовна Бесимбаева

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Индира Ергазыевна Нургысанова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, бакалавр техники и технологии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: Indira_dancer@mail.ru

Гаухар Кайыркеновна Серикова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, бакалавр техники и технологии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: Indira_dancer@mail.ru

Мария Ивановна Кириллина

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, бакалавр техники и технологии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: Indira_dancer@mail.ru

Юлия Борисовна Воробьева

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, бакалавр техники и технологии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: Indira_dancer@mail.ru

Богдан Владимирович Скакунов

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, бакалавр техники и технологии, тел. (7212) 56-26-27, e-mail: Indira_dancer@mail.ru

В статье представлена единая трёхмерная модель «облака точек» здания «Хан-Шатыр» с известными координатами, содержащая в себе информацию о точном расположении различных элементов строительных конструкций сооружения.

Ключевые слова: трёхмерное векторное моделирование, уравнивание облака точек, контроль геометрических параметров.

DEVELOPMENT OF HIGH-PRECISION THREE-DIMENSIONAL CONSTRUCTION'S MODEL WITH APPLYING THE PROGRAMME COMPLEX CYCLONE

Olga G. Besimbaeva

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of «Mine survey and geodesy» department, cand. tech. sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Indira E. Nurgyssanova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, bachelor degree of technique and technologies, tel. (7212)56-26-27, e-mail: indira_dancer@mail.ru

Gaukhar K. Serikova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, bachelor degree of technique and technologies, tel. (7212)56-26-27, e-mail: indira_dancer@mail.ru

Maria I. Kirillina

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, bachelor degree of technique and technologies, tel. (7212)56-26-27, e-mail: indira_dancer@mail.ru

Yulia B. Vorobyova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, bachelor degree of technique and technologies, tel. (7212)56-26-27, e-mail: indira_dancer@mail.ru

Bogdan V. Skakunov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, bachelor degree of technique and technologies, tel. (7212)56-26-27, e-mail: indira_dancer@mail.ru

The paper represents a single three-dimensional model of points's cloud of construction «Khan-Shatyr» with known coordinates, which content the information about accurate position various elements of building construction.

Key words: three-dimensional vector modeling, equalizing of points's cloud, monitoring of geometric parameters.

Технологическая схема наземного лазерного сканирования для создания цифровых моделей объектов и местности состоит из следующих процессов:

- составление технического проекта на наземное лазерное сканирование;
- рекогносцировка и составление абрисов;
- создание планово-высотного обоснования;
- трёхмерное лазерное сканирование;
- предварительная обработка результатов сканирования;
- построение 3D моделей объектов или создание двумерных планов;
- оформление и сдача документации [1].

Грандиозное здание «Хан-Шатыр» является самым крупным торгово-развлекательным центром в Центральной Азии и самым высоким сооружением в столице Республики Казахстан г. Астана, построенным в период с 2006 по 2010 годы. Здание относится ко II классу и имеет 2 степень долговечности (от 50 до 100 лет).

Уникальный дизайн ТРЦ «Хан-Шатыр» (рис. 1) с неповторимой архитектурно-строительной концепцией разработан всемирно известным английским архитектором Норманом Фостером. ТРЦ «Хан-Шатыр» относится к строительным объектам повышенного уровня риска и инженерной сложности, в связи с чем, необходимо проведение мониторинга сооружения в целом и отдельных конструкций для его безопасного функционирования. Под

руководством специалистов КарГТУ и представителей компании Leica Geosystems в Казахстане, было произведено трёхмерное наземное лазерное сканирование ТРЦ «Хан-Шатыр» [2].



Рис. 1. ТРЦ «Хан-Шатыр»

Управление процессом сканирования производилось с помощью модуля Cyclone Scan. С помощью этого модуля на каждой станции производилась разряжённая съёмка, которая позволяла определить положение марок. Марки легко распознавались сканером, так как имеют высокий отражательный коэффициент.

Полученные данные с НЛС программа Cyclone Scan записывает в единую цифровую базу данных с расширением *.imp. Данные структурированы и хранятся в наборе папок ScanWorlds. По умолчанию ScanWorld содержит объекты необходимые для уравнивания и три папки – по одной для трансформированных массивов точек, отснятых сканов и изображений с фотокамеры.

Результаты трёхмерного векторного моделирования из системы Cyclone экспортируются в системы автоматизированного проектирования AutoCAD (Autodesk, Inc., США) или MicroStation (Bentley Systems, Inc., США) в формате DXF или COE – специально разработанном формате для передачи данных.

ПО Cyclone делится на следующие модули: модуль Scan (для управления сканером), модуль Register (для уравнивания «облаков точек»), модуль Model (для обработки «облака точек» с целью получения трёхмерной модели).

Модуль Register содержит все функции для быстрого и точного уравнивания «облаков точек». Под уравниванием понимается процесс объединения «облаков точек», отснятых с разных точек установки сканера и создание единого координатного пространства. В этом модуле есть две технологии уравнивания «облаков точек». Первая технология - уравнивание с помощью сканирования и распознавания специальных визирных марок HDS. «Облака точек» можно уравнивать в локальную или государственную систему координат с применением результатов измерений электронным тахеометром на те же визирные марки. Вторая технология - поиск связующих точек по общим характерным контурам, отображённым в местах перекрытия отдельных сканов.

Данная технология называется построение связующих по «облаку точек», позволяющая уравнивать облака точек без использования визирных марок. На двух сканах выбираются минимум три общих контурных точки. Программа выделяет некоторую область вокруг этих точек и уравнивает общее геометрическое построение как совокупность всех точек. Оценить результат такого уравнивания можно дважды - по цифровому отчету и по визуальному сравнению наложения двух облаков. В результате появляется новая связь, которая уравнивается также как результаты измерения визирных марок. Подобная технология уменьшает время выполнения съёмки в поле и позволяет использовать процесс лазерного сканирования более гибко. После каждого уравнивания можно получить детализированный отчёт с диагностикой результата уравнивания. В статистический отчёт включено все полученные ошибки по каждому отдельному элементу уравнивания, по каждому отдельному «облаку точек» можно узнать общую СКО преобразования координат и углы разворота.

Уравнивание полученного «облака точек» в результате наземного лазерного сканирования ТРЦ «Хан-Шатыр», проводилось с помощью визирных марок. Процесс уравнивания четырёх сканов в модуле Register проходил менее одного часа. СКО уравнивания составила 2 мм. В результате уравнивания была получена единая трёхмерная модель «облака точек» здания «Хан-Шатыр» с известными координатами, содержащая в себе информацию о точном расположении различных элементов строительных конструкций сооружения (рис. 2).

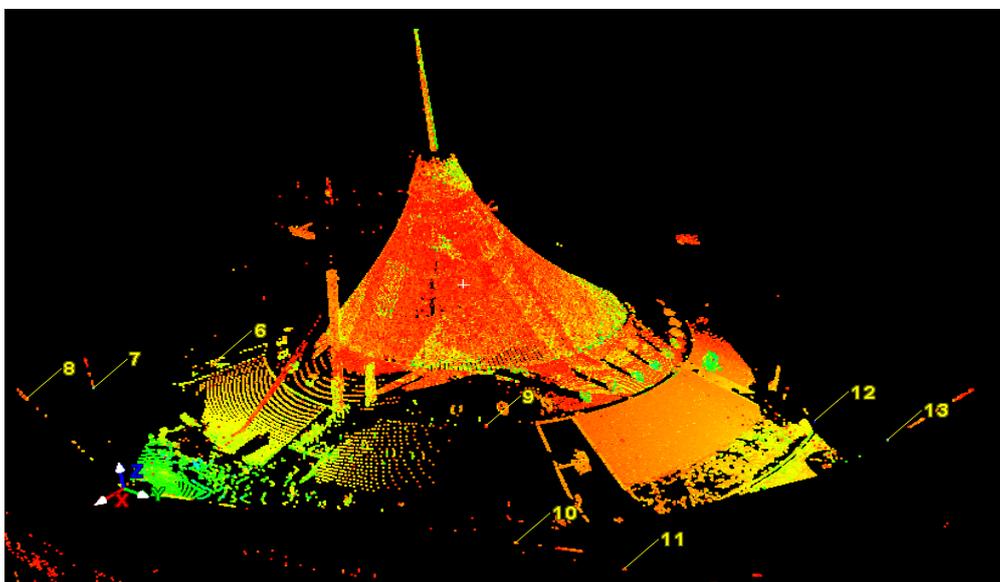


Рис. 2. 3D модель «облака точек» ТРЦ «Хан-Шатыр»

В ряде случаев (например, при измерении) нет необходимости построения моделей. Достаточно использовать единое «облако точек» лазерных отражений,

трансформированное в общую систему координат. Учитывая тот факт, что современные НЛС фиксируют истинный цвет и интенсивность отражения для каждой точки, «облака точек» легко дешифрируются, что позволяет выделить интересующий конструктивный элемент и обработать его изображение.

По полученной трёхмерной модели «облака точек» здания «Хан-Шатыр» можно производить сравнение местоположения соединительных болтов основных несущих конструкций сооружения (супер-колонна, корзина, шпиль и т.д.) с проектными данными, определять изменение местоположения всех строительных конструкций в пространстве и между собой, выявлять деформации элементов (Рисунок 3).

Технология наземного лазерного сканирования [3], описав точками всю поверхность каждого элемента съёмки, обеспечило большой объём контролируемых точек, по которым можно осуществлять сбор информации о контролируемых геометрических параметрах. Плановые измерения позволяют обеспечить сплошной контроль вертикальных элементов здания и получить значения прогибов и отклонения колонн от осей, а высотные – прогибов и наклонов горизонтальных элементов здания.

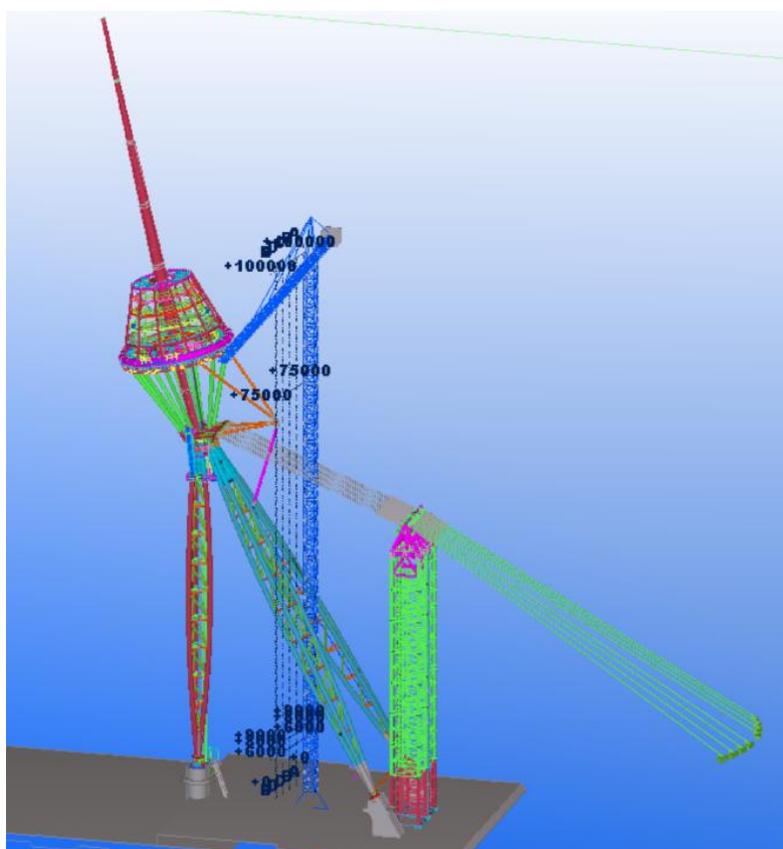


Рис. 3. Основной несущий металлический каркас ТРЦ «Хан-Шатыр»

Полученная в итоге высокоточная 3D модель («облако точек») здания «Хан-Шатыр» может быть использована для наглядной визуализации текущего

состояния объекта, для проведения разнообразных геометрических измерений, выполнения сравнительного анализа геометрических особенностей объекта и многих других инженерных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова // Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
2. Хмырова, Е.Н. Создание трёхмерной модели уникального здания «Хан-Шатыр» с использованием лазерного сканера [Текст] / Е.Н.Хмырова, О.Г.Бесимбаева, Г.Д. Кусаинов, О.К. Кошеров // Астана. Научный журнал «Вестник№6», 2012. – С. 188-192.
3. Середович, А.В. Построение трёхмерных моделей электроподстанций по данным наземного лазерного сканирования [Текст] / А.В. Середович, А.В. Комиссаров, А.В. Иванов, Т.А. Широкова, О.А. Дементьева // Международная научно-практическая конференция Geofocad-Europe 2008, Италия. 25 мая – 5 июня 2008 г. – Новосибирск, ССГА, 2008. – С. 73-78.

*© О. Г. Бесимбаева, И. Е. Нургысанова, Г. К. Серикова,
М. И. Кириллина, Ю. Б. Воробьева, Б. В. Скакунов, 2016*

СОЗДАНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ И ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ*

Лариса Вениаминовна Татаурова

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

Леонид Васильевич Быков

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

Александр Захарович Светлейший

ООО «Рось-2015», 644034, Россия, г. Омск, ул. 26-я Северная, 13 а, дизайнер-конструктор, член союза дизайнеров России, тел. (913)143-39-65 e-mail: ooros@mail.ru

Павел Викторович Орлов

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

В статье приводятся результаты заключительной стадии междисциплинарных исследований археологического комплекса XVII-XVIII вв. Ананьино-I (Омская область). Ортофотопланы и пространственные модели местности, созданные в 2013-2015 гг. были совмещены на основе данных ГНСС в мировой системе координат с археологическими планами. Создана ландшафтная модель местности с отображением результатов раскопок, выполненных в разные годы. На основе полученных данных создана трехмерная реконструкция окружающей природной среды и раскопанных объектов.

Ключевые слова: ГНСС, аэрофотосъемка, ландшафтная модель, археология, памятник, трехмерные модели, реконструкции.

CREATION OF LANDSCAPE MODELS OF THE TERRAIN AND THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS

Larisa V. Tataurova

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

Leonid V. Bykov

Ltd. «Laboratory Automation geodetic and photogrammetric», 644008, Russia, Omsk, Poselkovaya2-nd, 8, Deputy Director, Ph. D., associate professor, tel. (3812)268-910, e-mail: blv-55@yandex.ru

*Исследование проведено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00036)

Alexander Z. Svetlelyshy

LLC «Ros-2015» 644034, Russia, Omsk, 26th Severnaya St., 13 a, Construction designer, member of the union of designers of Russia, tel. (913)143-39-65, e-mail: oooros@mail.ru

Pavel V. Orlov

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

In the article are published results of a final stage of interdisciplinary researches of an archaeological complex of the 17-18th centuries of Ananyino-I (Omsk region). In the text are combined orthophotomaps and spatial models of the district created in 2013-2015 on the base of GNSS with archaeological plans. Was created landscape model of the district with display of results of the excavation executed in different years. On the basis of the obtained data was made three-dimensional reconstruction of surrounding environment and the dug-out objects

Key words: GNSS, aerial photography, landscape model, archeology, monument, three-dimensional models, reconstruction.

Цель любого археологического исследования – реконструкция различных аспектов жизнедеятельности населения ушедших эпох. Период Нового времени до недавних пор считался изученным благодаря представительному корпусу письменных источников. Однако последние лишь избирательно могут охарактеризовать материальную составляющую культуры, и в редких случаях – описывают топографию местности, на которой формировались населенные пункты. Археологическое изучение и междисциплинарные исследования в области археологии позволяют не только существенно дополнить данные архивных документов, но и по-новому представить полученные в процессе раскопок материалы.

Представим результаты проделанной работы на примере комплексного исследования русского памятника XVII-XVIII вв. – деревни Ананьино (Омская область). Работы на нем начаты Л.В. Татауровой в 2005 г., с 2011 они ведутся с применением геодезических методов [1]. С помощью электронной тахеометрии создана цифровая модель рельефа. На основе спутникового позиционирования определены координаты базовой станций, выполнена привязка раскопок к мировой системе координат, в которой определялось положение находок и объектов, обнаруженных в процессе раскопок [2]. Для картографического обеспечения археологических работ и построения ландшафтной модели памятника использованы разные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), с помощью которых сделана аэрофотосъемка. Получены материалы для создания трехмерной модели археологического комплекса [3; 4].

Следующим этапом работы решал две задачи:

- совмещение объектов привязанных к ландшафтной модели местности (остатков домов и хозяйственных построек) раскопанных с 2011 по 2015 гг. и археологического плана с ранее выявленными объектами;
- создание 3-D модели раскопанной части поселения.

Для решения задач использованы ортофотопланы и трехмерные модели местности, созданные в предыдущие годы на основе аэросъемок с БПЛА. Первая аэросъемка на этом памятнике была выполнена в 2013 году. Фотографирование выполнялось с борта БПЛА «ЭЛЬФ ПП-45». Цифровая модель рельефа создавалась по результатам наземной тахеометрической съемки. Отдельные артефакты снимались методом наземной стереосъемки. Результаты исследований опубликованы в настоящем издании 2014 года [3]. В 2014-2015 г.г. документирование раскопов выполнялось на основе аэросъемки с квадрокоптеров. Были получены обзорные фотопланы местности и крупномасштабные модели раскопов и их фрагментов. Применение ГНСС для привязки снимков позволило объединить все картографические материалы в единой системе координат в виде ландшафтной модели местности (рис. 1). По результатам археологических работ был составлен сводный план раскопа, выполненный путем объединения полевых чертежей раскопанных жилищ и хозяйственных построек за все годы изучения памятника (рис. 2).

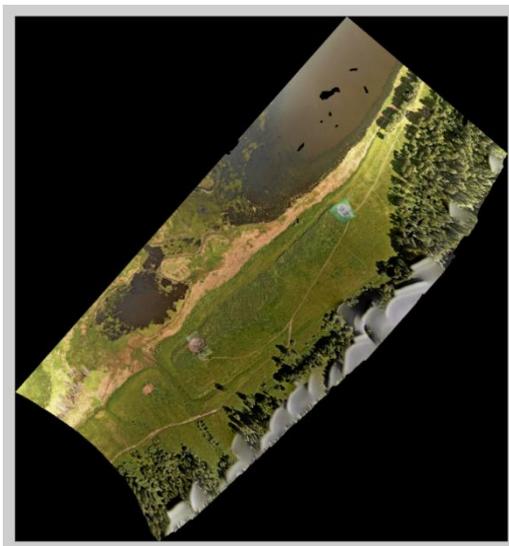


Рис. 1. Ландшафтная модель местности

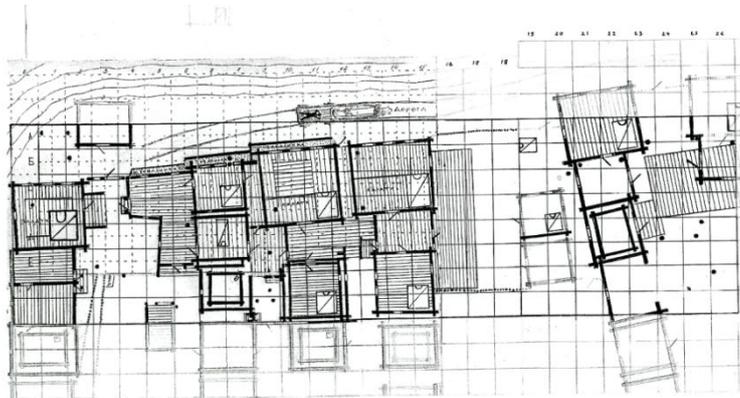


Рис.2. Сводный план раскопанных на поселении Ананьино объектов (автор В.Б. Богомолов)

Для объединения ландшафтной модели и археологического сводного плана было использовано программное обеспечение ArchiCAD-64-16, позволяющее создать план моделируемого памятника, его 3-D модель, разрезы объектов и их деталей (рис. 3).

Программа позволяет создавать трехмерное пространство на основе использования данных, полученных при нивелировке поверхности и объектов, что дает возможность использовать данные геодезии; учитывать размерные характеристики, зафиксированные при раскопках жилищ, которые важны для реконструкции, как отдельных строений, так и памятника в целом.

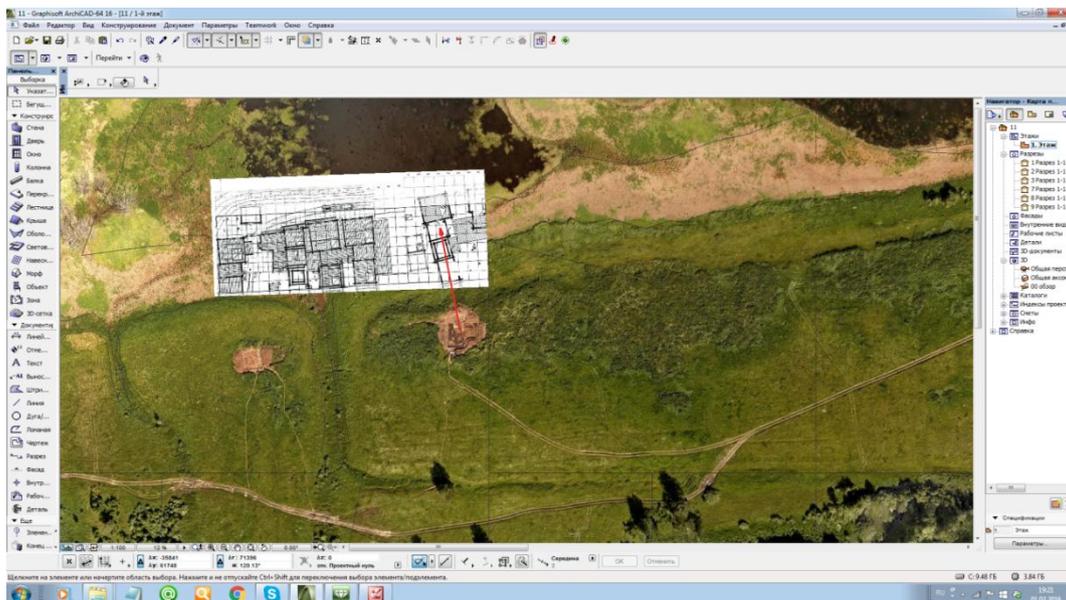


Рис. 3. Совмещение ландшафтной модели и археологического плана раскопанных объектов

На полученной основе, которая соответствовала плану раскопанных объектов и привязке к ландшафту местности, была выполнена 3-D модель каждого раскопанного объекта с учетом реальных размеров, зафиксированных при археологическом исследовании (рис. 4).

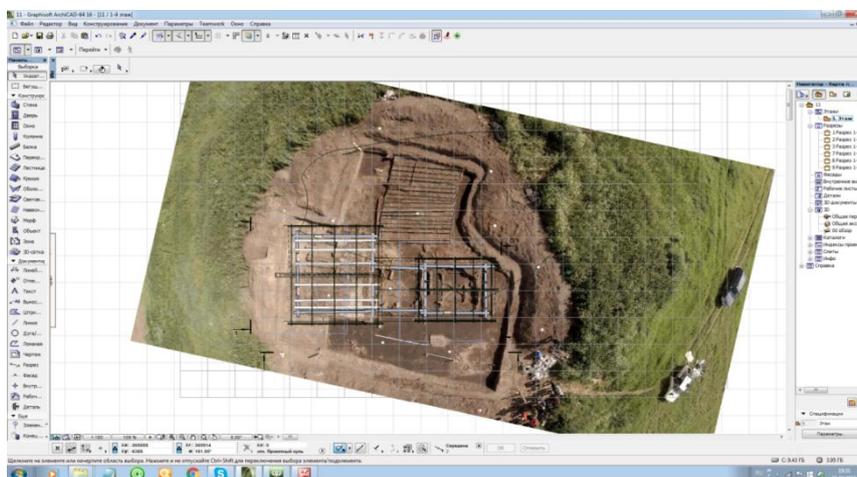


Рис. 4. Реконструкция раскопанного жилища по его основанию, зафиксированному в раскопе

Для создания моделей жилищ и хозяйственных построек был использован представительный корпус археологических, этнографических, письменных и изобразительных источников. Это позволило реконструировать внешние конструктивные детали жилищ и их внутренние интерьеры в соответствии с

историческими реалиями изучаемого периода времени; представить планиграфию деревни и каждого раскопанного объекта в реальной природной обстановке (рис. 5).



Рис. 5. Юго-западная часть деревни Ананьино на берегу одноименного озера. Жилищно-хозяйственный комплекс середины XVIII века. 3-D реконструкция

Выводы. Междисциплинарные исследования археологических памятников, в том числе с использованием данных геодезии, ГНСС, аэрофотосъемки и современного программного обеспечения позволяет создавать трехмерные модели окружающего ландшафта, раскопанных археологических комплексов и их планиграфии, отдельных объектов и их внутренних интерьеров. В итоге это дает выход на обоснованные исторические реконструкции, например, системы жизнеобеспечения, материальной культуры русского населения деревни Ананьино, построенной стрельцами и казаками на берегу одноименного озера, что вблизи г. Тары около 1624 года [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геодезия и ортофотометрия в археологии русских XVII-XVIII вв. (на примере комплекса Ананьино-I в Тарском районе Омской области) [Текст] /Л.В. Татаурова, П.В. Орлов, Л.В. Быков, А.С. Костюк, П.М. Погарский// Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск : Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 2013 - Т. XIX. – С.340-344.
2. Геодезические работы на археологическом памятнике XVII-XVIII века «Ананьино» / Л.В. Быков, Л.В. Татаурова, П.В. Орлов, А.Е. Анисимов, С.В. Бартенев, Р.Л. Полухин // // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 64–68.

3. Геодезическое обеспечение археологических работ с применением БПЛА и методов стереофотограмметрии / А.Л. Быков, А.С. Костюк, В.Л. Быков, Л.В.Быков, Л.В. Татаурова, П.В. Орлов, П.М. Пагарский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 41–45.

4. Применение материалов аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для картографического обеспечения археологических работ / А.Л. Быков, А.С. Костюк, В.Л. Быков, Л.В. Быков, Л.В. Татаурова, П.В. Орлов, П.М. Пагарский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 139–144.

5. Татаурова Л.В., Крих А.А. Система жизнеобеспечения сибирской деревни Ананьино в XVII-XVIII вв. (по археологическим и письменным источникам) [Текст] / Былые годы, 2015. – Том. 37. – Вып. 3. – С. 479–490.

© Л. В. Татаурова, Л. В. Быков, А. З. Светлейший, П. В. Орлов, 2016

СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА КАРЬЕРА ПРИ ПОМОЩИ ГИС ArcGIS

Светлана Борисовна Ожигина

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», тел. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Толеген Амантаевич Жумабеков

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: tolegen_zhumabekov@mail.ru

Генриетта Владимировна Сиренко

Товарищество с ограниченной ответственностью «Temir Zem» (ТОО «Temir Zem»), 101404, Республика Казахстан, Карагандинская область, г.Темиртау, пр. Metallургов, 26, магистр по специальности «Геодезия», тел. (701)8357238, e-mail: gerata_1@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Ожигин

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистр, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», тел. (7212)56-26-27, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

Статья о построении трехмерной модели и картографического изображения прибортового массива карьера при помощи ГИС на основе маркшейдерской съемки карьера, полученной в результате лазерного сканирования.

Ключевые слова: мониторинг, ГИС, картографирование, пространственное моделирование, лазерное сканирование.

CREATION OF THE SPATIAL MODEL OF THE CAREER CUTOFF MASSIF BY MEANS OF GIS ArcGIS

Svetlana B. Ozhigina

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, cand. of tech. sci., associate professor of «Mine surveying and geodesy» department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Tolegen A. Zhumabekov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, the Department of mine surveying and geodesy, tel. (7212)56-26-27, e-mail: tolegen_zhumabekov@mail.ru

Genriyetta V. Sirenko

«Temir Zem» limited liability company, 101404, Kazakhstan Republic, Temirtau, 26 Metallurgov avenue, master of geodesy, tel. (701)8357238, e-mail: gerata_1@mail.ru

Dmitriy S. Ozhigin

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, master, Ph. D. candidate of «Development of mineral deposits» department, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

The article is about creation of three-dimensional model and of the cartographical image of the career cutoff massif using GIS on the basis of the surveying shooting of a pit received as a result of laser scanning.

Key words: monitoring, GIS, mapping, spatial modelling, laser scanning.

В настоящее время активное развитие геодезии, картографии и маркшейдерии приводит к более интенсивному применению современных технологий и достижений. Так как геодезия, картография и маркшейдерское дело взаимосвязаны между собой, актуальной остается задача внедрения и взаимообмена технологий и знаний, полученных при практическом решении задач.

Достаточно интересным остается вопрос методики мониторинга объектов при помощи технологии лазерного сканирования с последующими обработкой, анализом и прогнозированием в автоматизированной ГИС, так как широкое применение в горной промышленности и геодезии получило лазерное сканирование [1], а в области картографии все более интенсивно во всех странах применяют ГИС, такие как ArcGIS.

1. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров

Систематические инструментальные наблюдения за состоянием бортов карьеров являются одним из основных методов изучения их устойчивости и имеют большое практическое и научное значение.

Практическое значение - результаты наблюдений применяются как исходный материал для характеристики устойчивого состояния карьерных откосов и являются основой изучения характера деформационных процессов, затрагивающих борта карьеров, позволяют сделать прогнозы и составить рекомендации по обеспечению их устойчивости [2].

Наиболее полную информацию о зоне распространения деформаций дают традиционные методики инструментальных наблюдений, основанные на установлении координат ряда жестко закрепленных точек (реперов), располагаемых по определенным схемам, и количественной оценке состояния исследуемого объекта по фиксируемым смещениям. В тоже время высокодетальное лазерное сканирование бортов карьера позволяет дополнить обычные наблюдения и получить наиболее полное и наглядное представление о механизме деформирования исследуемого объекта [2].

Принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек как при съемке тахеометром, характеризует наземное лазерное сканирование как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное изображение. Формой представления результатов наземного лазерного

сканирования является массив точек лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (X,Y,Z), интенсивностью отражения и реальным цветом [2].

Для мониторинга устойчивости борта карьера использовалась наземная лазерная сканирующая система Leica HDS8800. Проблема быстрого выполнения трехмерной съемки для учета добычи полезных ископаемых, слежения за состоянием горных склонов или оползней, контроля запасов и отслеживания перемещения сыпучих материалов в горном деле требует больших усилий и ресурсов, предъявляя к измерительным средствам особые требования. Точность измерения расстояния 10 мм на 200 м; 20 мм на 1000 м, максимальное расстояние 2000 м. Частота сканирования до 8800 точек/сек [1,3].

Опорной основой для лазерного сканирования является сеть рабочих реперов наблюдательной станции и временных съемочных точек, координаты которых предварительно определяются по результатам спутниковых наблюдений. Точки выбираются исходя из конфигурации бортов карьера для обеспечения перекрытия облаков точек, то есть полноты съемки объекта. Карьер был отскан с трех точек, в результате было получено три базы данных, три массива (облака) точек (рис. 1).

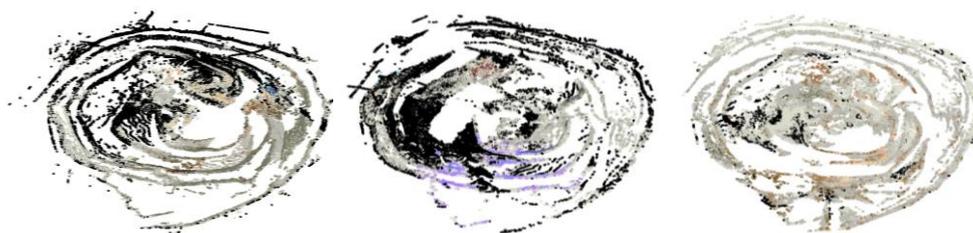


Рис. 1. Облака точек результат лазерного сканирования карьера

2. Построение трехмерной модели карьера в ArcGIS

В программной среде ArcGis выполнены систематизация и обобщение данных, полученных в результате съемки и исследования карьера. Все имеющиеся сведения, были сконцентрированы в едином ГИС-проекте, программная среда которого позволяет осуществлять как легкий поиск любой специализированной информации, так и ряд операций по ее анализу.

Исходные облака точек – это массивы 3D точек, имеющих значения x , y , z , а также дополнительную атрибутику. Конкретные поверхности, отразившие сигнал, классифицируются после начальной обработки облака точек.

Обработка точечных данных проходила в 3 основных этапа:

Первый этап: слияние трех баз данных в единую базу, и очистка от данных – помех. Результат - база данных, содержащая массив из 274639 точек (рис. 2)

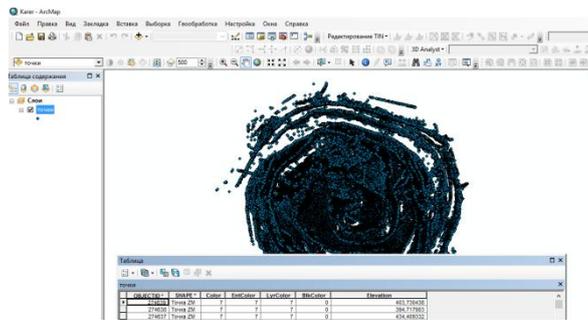


Рис. 2. Проект с открытой базой данных содержащей массив точек

Второй этап: построение TIN- поверхности.

В ArcGIS цифровую модель рельефа возможно создать при помощи интерполированных поверхностей (grid) и методом аппроксимации поверхности элементарными треугольниками - метод TIN (Triangulated Irregular Network) [4].

Преимуществом метода TIN является минимальное количество ошибок интерполяции, но он требует больших вычислительных ресурсов при отображении. Процесс создания отображен на рис. 3.

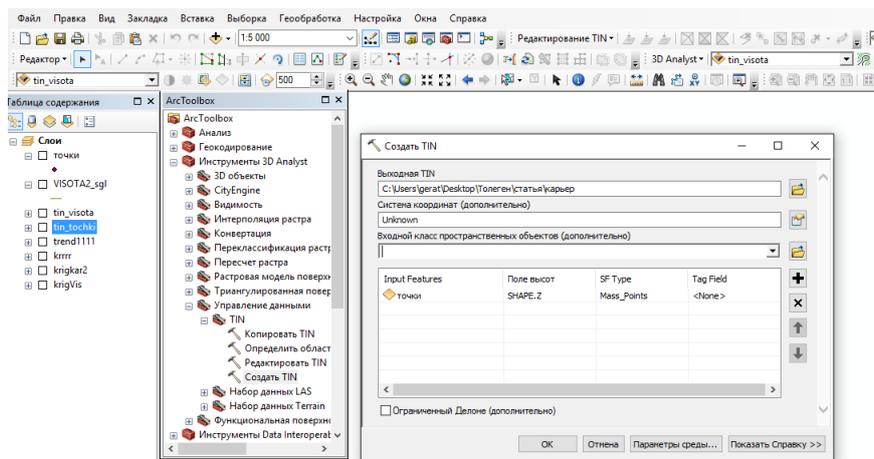


Рис. 3. Процесс создания поверхности на основе облака точек полученного при сканировании

В целом, в качестве исходных наборов данных могут быть точки, полигоны и полилинии. После обработки утилитой выходными данными является следующее отображение (рис. 4).

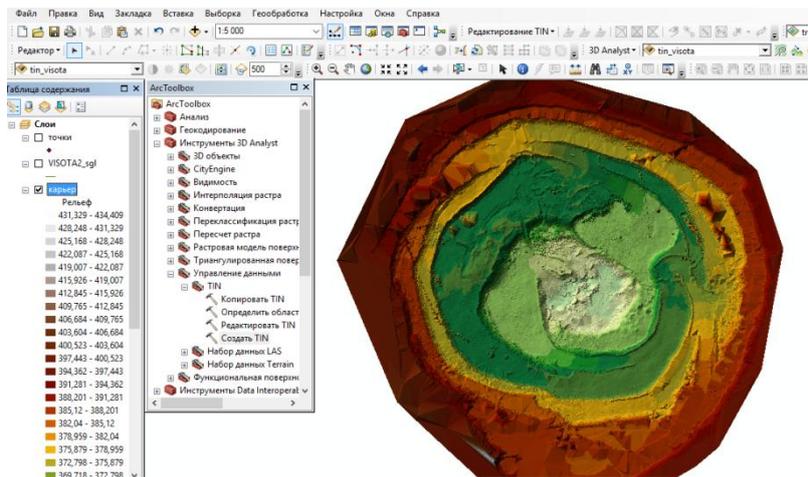


Рис. 4. Построенное изображение поверхности карьера

Третий этап - построение трехмерной пространственной модели карьера. Для отображения этой поверхности в трехмерном пространстве используется приложение ArcScene, в которое загружается полученная растровая модель какой-либо системы (рис. 5).

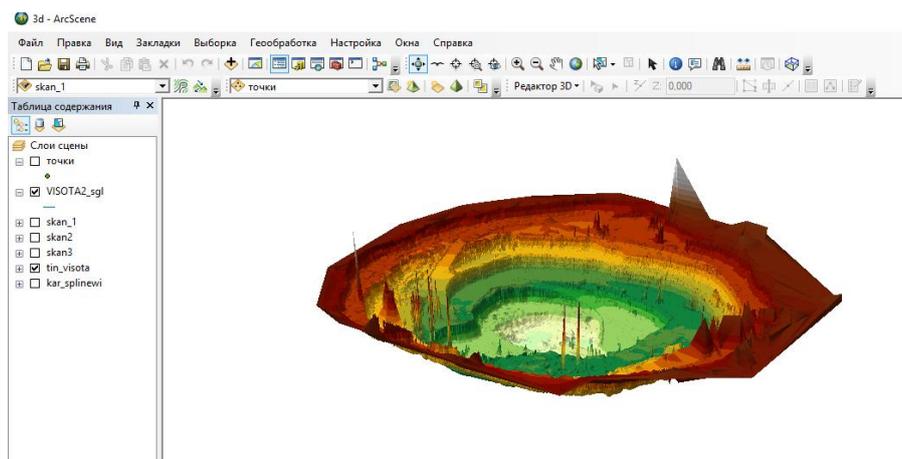


Рис. 5. Трехмерная модель карьера

В результате работы построена трехмерная модель бортов карьера, с выделением основных структурных элементов. Полученная поверхность в дальнейшем способствует проведению анализа и мониторинга карьера. Полученная модель является основой мониторинга, т.к. предполагается при помощи функциональных возможностей ArcGIS сравнение последующих циклов измерений, для проведения автоматического анализа поведения бортов карьера.

При практическом построении модели для ведения маркшейдерского мониторинга карьера можно сделать вывод, что программа ArcGIS

действительно может быть использована при решении геодезических и маркшейдерских задач, связанных с 3D- визуализацией различных объектов, а также функциональные возможности системы позволяют создать банк данных, который возможно использовать при решении различных картографических задач, и задач геодезического обеспечения, касающихся территории снимаемого объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жумабеков, Т.А. Создание пространственной модели структуры приборного массива при помощи ГИС-системы ArcGIS [Текст] / 6-я всероссийская научно- техническая интернет-конференция «Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов»: сб. науч. трудов –Тула: ТулГУ 2016г.

2. Кольцов П.В, Иванов Ю.С. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://art-geo.ru/solution/praktika_ispolzovaniya_tekhnologiy_lazernogo_skanirovaniya_v_nablyudeniya_kh_za_deformatsiyami_bortov.

3. Сканирующая система Leica HDS8800 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rusgeocom.ru/lazernyj-skaner-leica-hds8800>

4. Сайт компании ООО «Дата+». Обзор настольных ГИС от ESRI. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://dataplus.ru/arcrev/number_19/17_GIS.html

© С. Б. Ожигина, Т. А. Жумабеков, Г. В. Сиренко, Д. С. Ожигин, 2016

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Иван Сергеевич Камнев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант, тел. (983)311-66-49, e-mail: kamneviv@mail.ru

Владимир Адольфович Середович

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 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

В статье рассмотрены современные методы выполнения измерений параметров сложных геометрических форм и исследование точности этих методов. Сделан вывод о возможности применения фотограмметрического метода в промышленной области.

Ключевые слова: создание трехмерных моделей, лазерное сканирование, фотограмметрия, исследование точности.

INVESTIGATION OF ACCURACY OF MODERN METHOD OF METERING

Ivan S. Kamnev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., PG student, tel. (983)311-66-49, e-mail: kamneviv@mail.ru

Vladimir A. Seredovich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., professor, vice rector for scientific and innovative, tel. (383)343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

These paper modern methods of metering the parameters of complex geometric forms and investigation of accuracy of these methods considered. The conclusion about the possibility of application photogrammetric method in an industrial area.

Key words: creation 3D models, laser scanning, photogrammetry, investigation of accuracy.

В промышленности постоянно возникает задача в выполнении простейших измерений размеров деталей. Для этого чаще всего применяется штангенциркуль, позволяющий выполнять измерения с погрешностью 0.1 мм. Однако данный инструмент не позволяет выполнять измерения криволинейных участков, больших интервалов, а также труднодоступных элементов.

В данной статье рассмотрены два альтернативных метода проведения натуральных измерений.

Одним из современных методов измерения является лазерное сканирование. Этот метод дает возможность построения трехмерной модели, по которой с высокой точностью можно осуществить измерение любых параметров элемента.

В качестве второго способа осуществления измерений в данной статье предложен фотограмметрический метод. На сегодняшний момент значительно увеличилась мощность ЭВМ, что дало нам возможность обрабатывать снимки и получать по ним облака точек и 3D модели.

По полученным трехмерным моделям одним и другим способом, можно проводить не только измерения линейных параметров, но и любых криволинейных.

В предложенной статье проведено исследование точности лазерного сканирования и измерения фотограмметрическим методом.

Для исследования были взяты три фигуры различной формы и цвета. Первая фигура представляла из себя кубическую, покрашенную в желтый цвет, коробку с металлическими элементами. Данная коробка показана на рис. 1.



Рис. 1

Вторым предметом выступил деревянный угол с тремя плоскостями, с цилиндрической подставкой, покрашенный в белый цвет. Угол, взятый для исследования представлен на рис. 2.



Рис. 2

За третью форму был взят алюминиевый винт-переходник цилиндрической формы, показанный на рис. 3.



Рис. 3

Выбранные фигуры были отсканированы лазерным 3D сканером Konica Minolta VI-9i. Полученные сканы были обработанные в программном продукте (ПП) Rapidform XOR3 64 SP1.

Далее предметы использованные для исследования были сфотографированы цифровой зеркальной камерой Canon EOS 1100D. Калибровочные параметры камеры представлены в табл. 1. Разрешение снимков было принято за 3264 x 2448, а пикселей за 0.000126 x 0.000126.

Таблица 1

Параметры камеры	Окончательное значение(мм)	Стандартные ошибки (мм)
С	4.15000000	1.000e-003
ХР	-0.0007587	1.000e-003
УР	-0.00075877	1.000e-003
К1	-3.198423809e-017	1.000e-003
К2	4.192814225e-018	1.000e-003
К3	6.710162143e-020	1.000e-003
К4	-1.368448766e-020	1.000e-003
Р1	-4.820268634e-018	1.000e-003
Р2	-4.697988661e-018	1.000e-003
В1	-7.470044261e-018	1.000e-003
В2	7.799475618e-018	1.000e-003

Полученные снимки были обработаны в ПП Agisoft PhotoScan. В результате обработки получено облако точек по которому построена 3D модель.

Для масштабирования облака точек на поверхности, на которой располагались выбранные предметы, закреплялась рулетка в соответствии которой присваивались точка отсчета и координаты по оси X.

По построенным моделям сканирования и фотографирования были проведены измерения параметров фигур. Также были проведены измерения тех же параметров при помощи штангенциркуля, которые в дальнейшем были приняты за истинные. Измерения проведенные по трехмерным моделям

полученных из результатов сканирования и фотографирования имеют отклонения от реальных размеров, полученных при помощи штангенциркуля.

В табл. 2 представлены отклонения измерений проведенных по трехмерным моделям, полученных методами лазерного сканирования и фотограмметрии, от реальных параметров.

Таблица 2

№	Коробка		Угол		Винт-переходник	
	Сканер	Фото	Сканер	Фото	Сканер	Фото
1	0,7931	1,158	1,0025	1,675	0,0087	–
2	1,0662	2,846	0,2901	2,777	0,1968	7,316
3	0,5994	1,185	0,4445	1,9	0,0942	–
4	0,1808	1,812	0,2214	1,681	0,0544	–
5	0,89823	1,099	0,209	0,288	0,019	3,612
6	0,5459	1,065	-0,2139	0,847		
7	0,5393	1,62	-0,0906	1,297		
№	Сканер	Фото	Сканер	Фото	Сканер	Фото
8	1,236	1,303	0,7455	0,551		
9	0,4487	0,908	0,0011	0,134		
10	0,1681	0,134	-1,1025	1,574		
11	0,9815	0,817				
12	0,3967	0,789				
Макс	1,236	2,846	1,0025	2,777	0,1968	7,316
Мин	0,1681	0,134	0,0011	0,134	0,0087	3,612
СКП	0,654	1,228	0,151	1,2724	0,07462	5,464
Общее СКП	0,293	1,2502				

Графики отклонений, в десятых долях миллиметра, отдельно по каждому объекту: коробка, угол и винт-переходник представлены соответственно на рис. 4, 5 и 6.

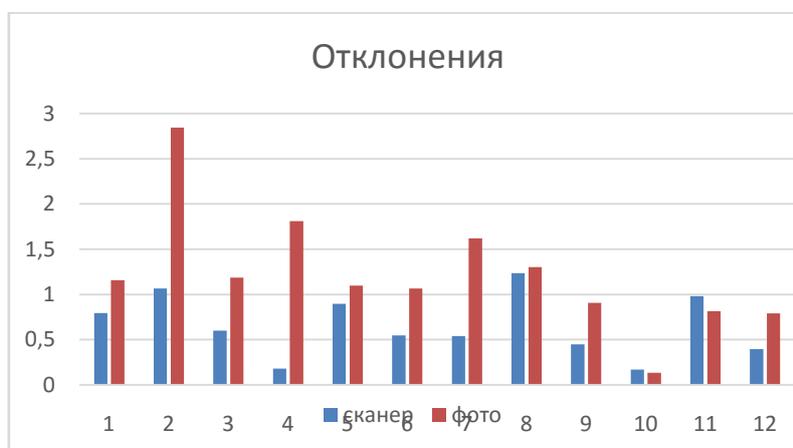


Рис. 4

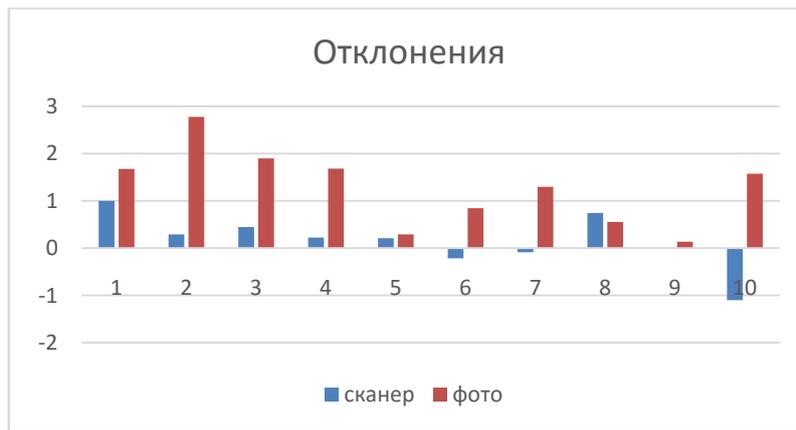


Рис. 5

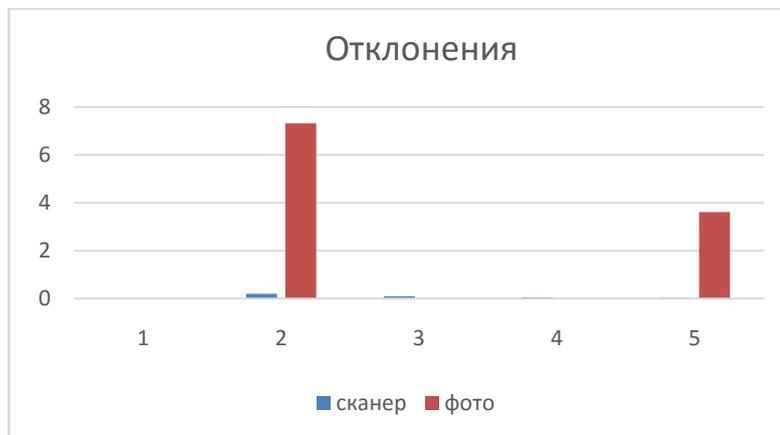


Рис. 6

По вышеизложенному можно сделать вывод, что создание трехмерных моделей металлических объектов фотограмметрическим методом выполнять не рекомендуется, так как эти модели несут не полную информацию в отличие от моделей полученных при помощи лазерного сканирования. Модели винта-переходника полученные по данным лазерного сканирования и фотографирования соответственно представлены на рисунках 7 и 8.

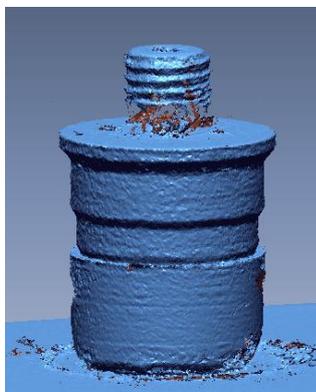


Рис. 7



Рис. 8

Среднеквадратическая погрешность фотограмметрического метода по всем объектам, приведенная в табл. 2, подсчитана без учета измерений модели винта-переходника.

Результаты исследования показали, что модели, полученные при помощи лазерного сканирования, несут более полную информацию об объектах, чем модели, полученные по результатам фотографирования. Однако время на сканирование объектов и уравнивание сканерных данных затрачивается больше, чем при использовании фотограмметрии. Учитывая стоимость использованных при исследовании приборов можно сделать вывод, что если не требуется субмиллиметровая точность, то использование фотоаппарата является предпочтительнее использования дорогостоящего сканера.

© И. С. Камнев, В. А. Середович, 2016

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОГО ОТКОСА НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Виктор Николаевич Долгонос

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доктор технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: vdolgonosov@rambler.ru

Петр Сергеевич Шпаков

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, 602264, Россия, г. Муром, Владимирской области, ул. Орловская, 23, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов, тел. (49234)4-02-83, e-mail: spsp01@rambler.ru

Ольга Васильевна Старостина

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)-56-26-27, e-mail: o.starostina@kstu.kz

Мария Владимировна Шпакова

Сибирский федеральный университет, Институт горного дела, геологии и геотехнологий, 660025, Россия, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95, кандидат технических наук, ассистент кафедры маркшейдерского дела, тел. (391)206-37-01, e-mail: spsp01@rambler.ru

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом часто возникает задача определения параметров откосов, расположенных на слабом основании большой мощности. Существующие способы решения зачастую графические, обладают рядом недостатков, которые устраняются в предложенном аналитическом способе. Потенциальная поверхность скольжения в откосах такого типа достаточно точно аппроксимируется дугами трех окружностей. Авторами предложен аналитический способ расчета, основанный на теории предельного равновесия. Компьютерная реализация решения значительно облегчает расчеты и анализ, что дает способу значительные преимущества.

Ключевые слова: отвал, основание откоса, коэффициент запаса устойчивости, предельная высота, предельный угол откоса, выпор основания.

ANALYTICAL METHOD OF PARAMETERS CALCULATION OF STABILITY SLOPES ON HIGH CAPACITY WEAK BASES

Viktor N. Dolgonosov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Doctor of Technical Sciences, Doc. Department Survey and Geodesy, tel. (7212)-56-26-27, e-mail: vdolgonosov@rambler.ru

Petr S. Shpakov

Murom Institute (Division) Vladimir State University, 602264, Russia, Murom, 23 Orlovskaya str., Doctor of Technical Sciences, Professor Department Automated planning of machines and technological processes, tel. (49234)-4-02-83, e-mail: spsp01@rambler.ru

Olga V. Starostina

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Cand. of Technical Sciences, Docent Department Survey and Geodesy (Ph. D.), tel. (7212)-56-26-27, e-mail: o.starostina@kstu.kz

Marya V. Shpakova

Siberian Federal University, Institute of Mining, Geology and Geotechnology, 660025, Russia, Krasnoyarsk, 95 Krasnoyarsk worker str., Cand. of Technical Sciences (Ph. D.), Ass. Department Survey, tel. (391) 206-37-01, e-mail: spsp01@rambler.ru

In the development of mineral deposits by open pit and dumping overburden in the external and internal piles often arises the problem of determining the stability of slopes, located on low basis high power. The existing methods for solving this task, often graphic, have a number of disadvantages which are eliminated in the proposed analytical method of calculation. It is shown that the potential slip surface in slopes located on a weak base big capacity, can be described three arcs of circles. The analytical method of calculation, based on the theory of maximum equilibrium, offers authors. Computer realization of decision facilitates calculations and analysis considerably, that gives considerable advantages to the method.

Key words: dump, founding of slope, coefficient of stability supply, limit height of slope, limit corner of slope, sticking out of founding.

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом часто возникает задача определения параметров откосов, расположенных на слабом основании большой мощности. Так, например, при складировании вскрышных пород на территориях пересыхающих водоемов (отвалы Качарского карьера) либо при залегании в основании отвалов мощных линз слабых пластичных глин, а также в случаях, когда в нижней части стратиграфического разреза борта карьера присутствуют мощные горизонты слабых песчано-глинистых пород, которые отличаются более низкими прочностными характеристиками по сравнению с породами вышележащих горизонтов.

Существующие способы решения графические, обладают рядом недостатков, которые устраняются в предложенном аналитическом способе.

Результаты выполненных авторами наблюдений за деформациями карьерных откосов на месторождениях Казахстана (Качарский и Тургайские карьеры) позволили разработать модель деформирования откосов на слабом основании большой мощности и выявить форму и местоположение потенциальной поверхности скольжения [1, 2].

Характерной особенностью механизма деформирования прибортового массива в случае залегания в основании откоса слабого слоя большой мощности является наличие выпора – выдавливания пород слабого основания у подошвы откоса. Поверхность скольжения представляет собой сложную линию переменной кривизны, которая достаточно точно может быть аппроксимирована тремя сопряженными дугами окружностей (рис. 1).

Общая схема построения поверхности скольжения подробно изложена в работах [2, 3].

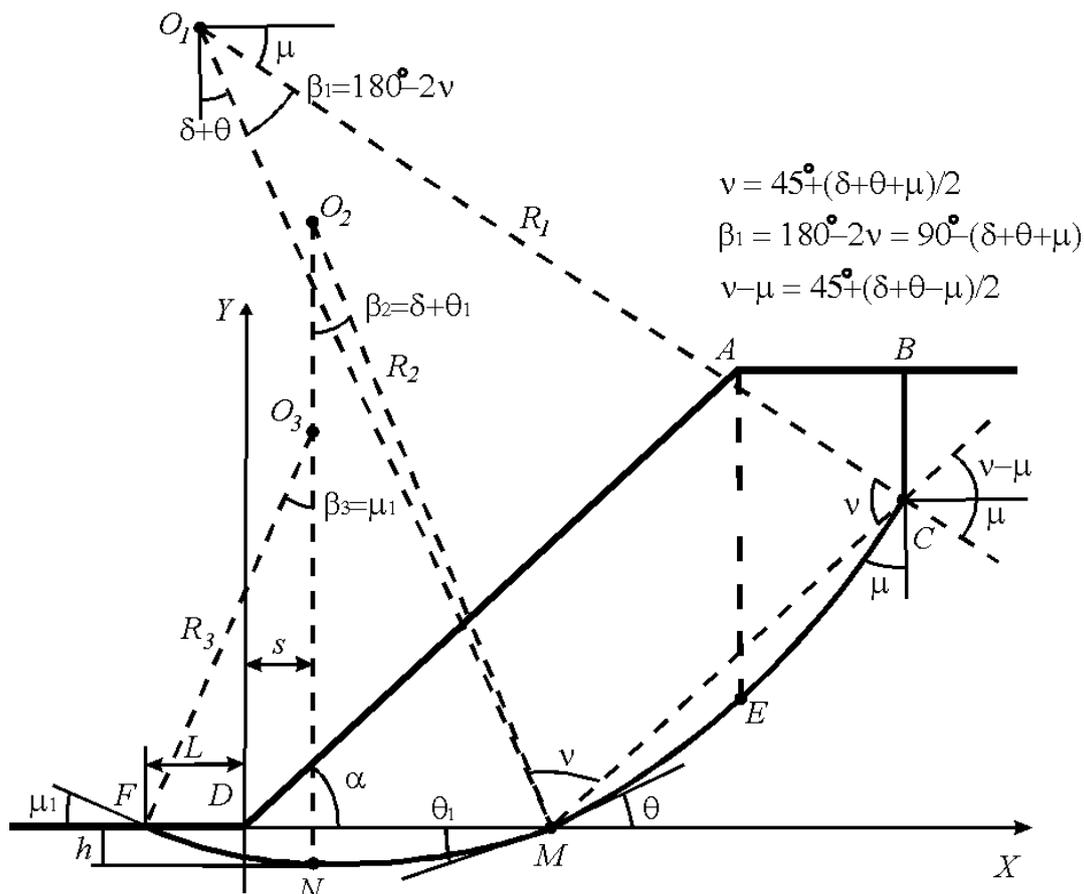


Рис. 1. Схема откоса на слабом основании большой мощности

Методика интегрирования сдвигающих, нормальных и удерживающих сил, действующих по линиям скольжения $AMND$ подробным образом описана в работах [2, 3].

Авторами разработан алгоритм и компьютерная программа для решения данной задачи, которая существенно облегчает расчеты и анализ при обосновании параметров устойчивых откосов. Для контроля корректности работы программы выполнены многочисленные поверочные расчеты с произвольными значениями прочностных характеристик массива и выполнено сравнение с графическими решениями по номограммам [4]. Сходимость результатов – в пределах 5 %.

Рассмотрим решение задачи на примере оползневого участка Тургайского бокситового рудника. Определим параметры предельного откоса на слабом основании большой мощности. Угол откоса $\alpha = 28^\circ$, прочностные характеристики пород массива $k = 0,10 \text{ МПа}$, $\rho = 18^\circ$ и слабого слоя $k' = 0,035 \text{ МПа}$, $\rho' = 12^\circ$. Объемный вес пород массива $\gamma = 2,0 \text{ тн/м}^3$ и основания $\gamma' = 1,8 \text{ тн/м}^3$ [2].

Схема откоса с радиусами предполагаемой поверхности скольжения представлена на рис. 2.

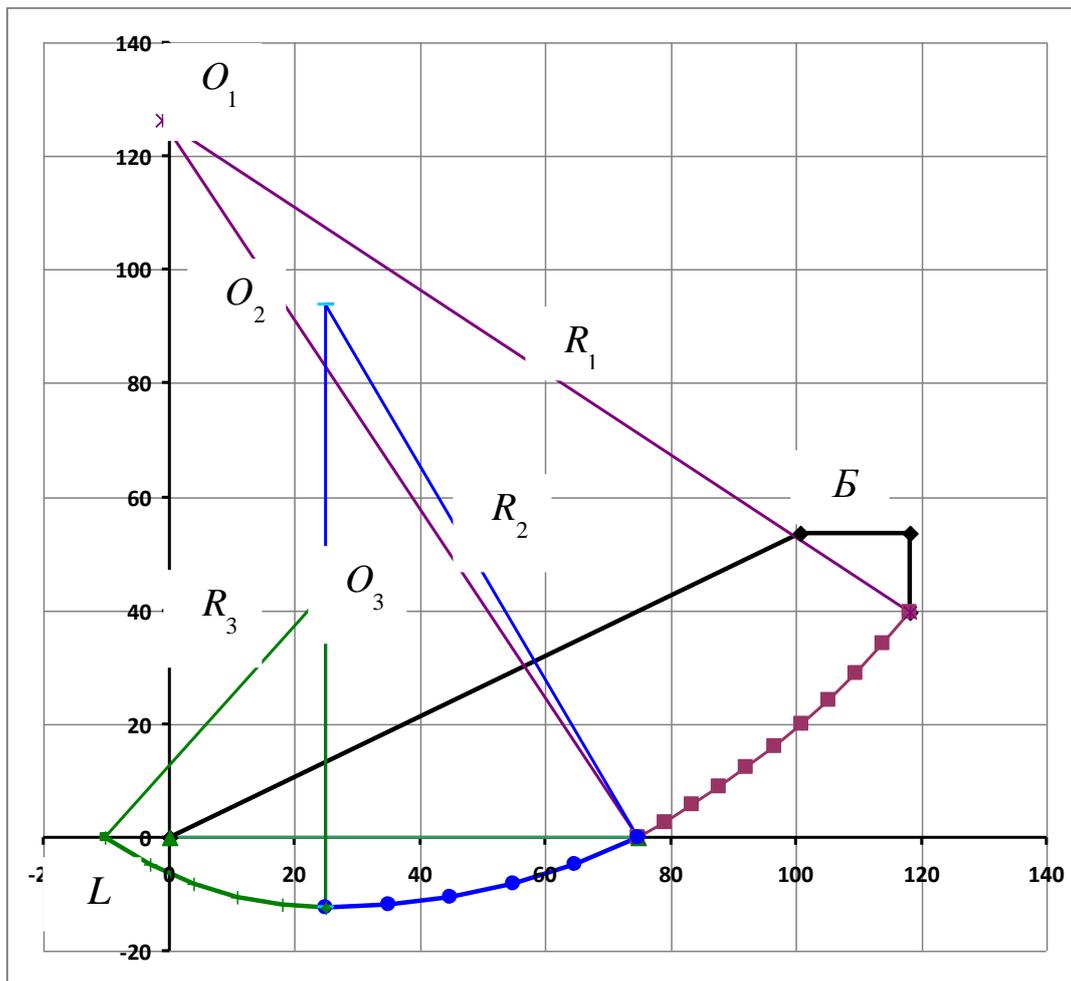


Рис. 2. Схема откоса к аналитическому решению

Сравним результаты решения аналитическим и численно-аналитическим способом проф. Шпакова П. С. (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета предельных параметров откоса

Метод расчета	Параметры предельных откосов, м						
	H_{np}	r	L	h	$R1$	$R2$	$R3$
Аналитический	53,5	17,6	10,1	12,4	147,5	106,2	55,8
Численно-аналитический	56,4	17,6	9,0	12,6	157,8	107,9	56,5

Приведенные в таблице результаты свидетельствуют о достаточно высокой сходимости результатов расчета двумя способами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов И. И., Шпаков П. С., Поклад Г. Г. Устойчивость породных отвалов: монография. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 224 с.
2. Долгоносов В.Н., Шпаков П.С., Низаметдинов Ф.К. и др. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов: монография. – Караганда: Издательство «Санат-полиграфия», 2009. – 332 с.
3. Шпаков П.С., Долгоносов В.Н., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В. Аналитический способ расчета устойчивости откоса на слабом основании неограниченной мощности // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), Москва. – 2015. – № 8. – С. 92 – 99.
4. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 165 с.

© В. Н. Долгоносов, П. С. Шпаков, О. В. Старостина, М. В. Шпакова, 2016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА

Ольга Газисовна Бесимбаева

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, 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, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Елена Алексеевна Олейникова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

Булат Анатольевич Бесимбаев

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, магистрант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212) 56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

В статье обзорно представлена современная технология микросейсмического мониторинга бортов карьеров, продемонстрированы основные результаты и возможность их корреляции с результатами маркшейдерских измерений и прогноз сдвижений.

Ключевые слова: сейсмомониторинг, прогноз сдвижения горных пород, деформирования исследуемого массива.

SEISMOMONITORING USE FOR ASSESSMENT OF STABILITY MASSIF

Olga G. Besimbaeva

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of "Mine survey and geodesy" department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Elena N. Khmyrova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of "Mine survey and geodesy" department, cand.tech.sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Elena A. Oleynikova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Teacher of mine surveying and geodesy department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

Bulat A. Beisembaev

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, undergraduate of mine surveying and geodesy department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: mdig_kstu@mail.ru

The article surveillance presented modern technology microseismic monitoring of pit walls, demonstrated the main results and the possibility of their correlation with the results of surveying measurements and forecast of displacement.

Key words: seismic monitoring, forecast of displacement of rock deformation of the test array.

В комплексе исследований, способствующих повышению безопасности и эффективности открытых горных работ, становится микросейсмический мониторинг. Данная разновидность мониторинга основана на представительной регистрации сейсмических колебаний от небольших актов хрупкого разрушения в прибортовом породном массиве [1].

Путем обработки получаемых сейсмических записей оцениваются характеристики процессов разрушения – их положение в пространстве, выделившаяся сейсмическая энергия, неупругая деформация в очаговой области.

В статье обзорно представлена современная технология микросейсмического мониторинга бортов на карьере «Восточный Камыс» (Казахстан) [2] и продемонстрированы основные получаемые результаты.

Первичным элементом системы сейсмомониторинга является пространственная расстановка сейсмоприемников. Расстановка проектируется таким образом, чтобы обеспечить 3-мерное окружение объема пород, представляющего интерес в плане оценки устойчивости. Для достижения этого сейсмоприемники размещаются как на поверхности (на площадках уступов), так и в скважинах глубиной 100-250 м, пробуренных за верхним контуром карьера. Расстояние между сейсмоприемниками обычно составляет порядка 100-200 м, при этом наблюдениями охватывается объем пород с максимальным поперечным размером 300-500 м. На рис. 1 показана конфигурация сейсмической расстановки, развернутой на карьере «Восточный Камыс».

Расстановка состоит из 8 трехкомпонентных сейсмоприемников (обозначены синими тетраэдрами), 4 из которых установлены вблизи поверхности, а еще 4 – в глубоких скважинах (обозначены зелеными отрезками). В данном случае система спроектирована таким образом, чтобы обеспечить высокую разрешающую способность регистрации сейсмических событий в центральной части восточного борта карьера.

Электрические сигналы с сейсмических датчиков поступают на регистрирующие модули. Здесь происходит их фильтрация, оцифровка и предварительная обработка. При наличии достаточно плотной сейсмической сети и хорошем качестве сигналов обработка может производиться в автоматическом режиме [3].

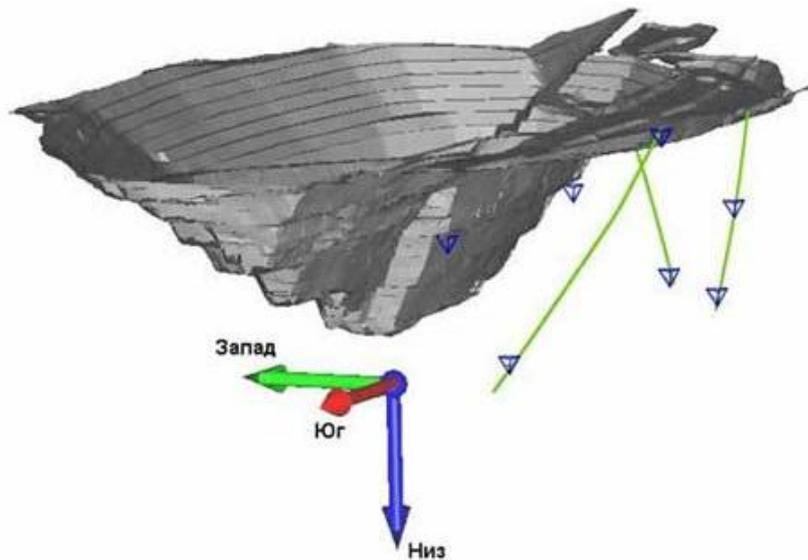


Рис. 1. Сейсмическая сеть на карьере «Восточный Камыс»

Результатом выполнения стандартной обработки материалов сейсмомониторинга является каталог сейсмических событий (x , t , E_s и M_0). Данный каталог дает представление о характеристиках микросейсмической активности (рис. 2), и на нем строится дальнейшая интерпретация.

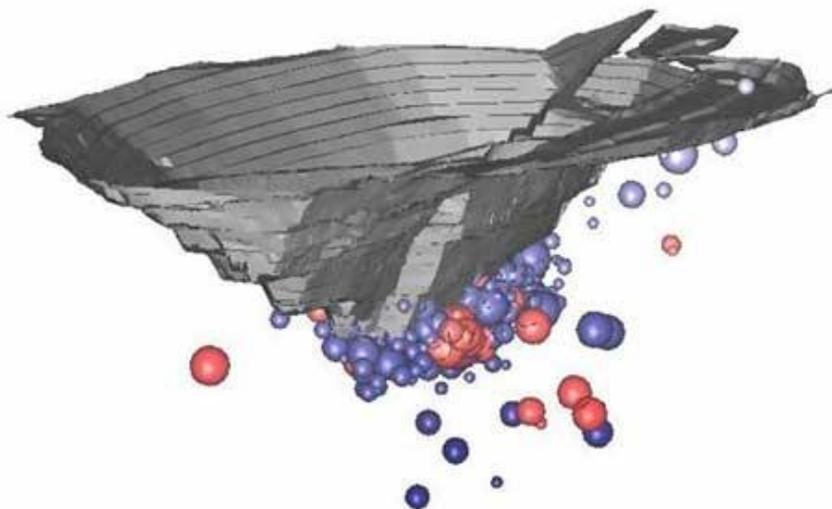


Рис. 2. Распределение очагов сейсмических событий

Можно выделить несколько направлений интерпретации материалов микросейсмического мониторинга, которые в конечном итоге способствуют обеспечению устойчивости пород исследуемого борта [4].

1. Оценка влияния интенсивности горных работ на макроскопическую устойчивость пород борта. Микросейсмический мониторинг позволяет количественно оценить степень влияния горных работ на состояние пород борта.

2. Идентификация сейсмически активных геологических структур. Микросейсмический мониторинг способен прояснить, является ли какая-либо конкретная известная геологическая структура сейсмически активной или нет.

3. Корреляция с результатами маркшейдерских измерений и прогноз сдвижений.

Положение очагов микросейсмических событий и их деформационные характеристики позволяют оценить ко-сейсмическую составляющую смещения борта. Подобная оценка, выполненная в рамках упругой модели породного массива, выявила интересную особенность. Оказалось, что рассчитываемая по сейсмическим данным деформация борта опережает реально фиксируемое (по результатам маркшейдерских измерений) сдвижение на 1-2 месяца.

В конце ноября 2002 г. по данным маркшейдерских измерений была отмечена интенсификация смещений для участка поверхности борта ниже зоны обрушения. Примерно за полтора месяца до этого (в октябре 2002 г.) на данном участке отмечался существенный рост модельной ко-сейсмической деформации. Причину данного опережения можно объяснить реологией породного массива. Так, согласно расчетам в рамках упругой модели среды, деформация, вызываемая микросейсмическим событием (сдвиговым или отрывным разрушением) в окружающем массиве, распространяется от очага мгновенно. В реальности данный процесс может развиваться постепенно, приводя к наблюдаемому запаздыванию реальных смещений поверхности борта относительно модельных. Сравнительная динамика рассчитанной ко-сейсмической деформации и реально наблюдаемых смещений для одного из реперов в зоне интенсивного сдвижения показана на рис. 3.

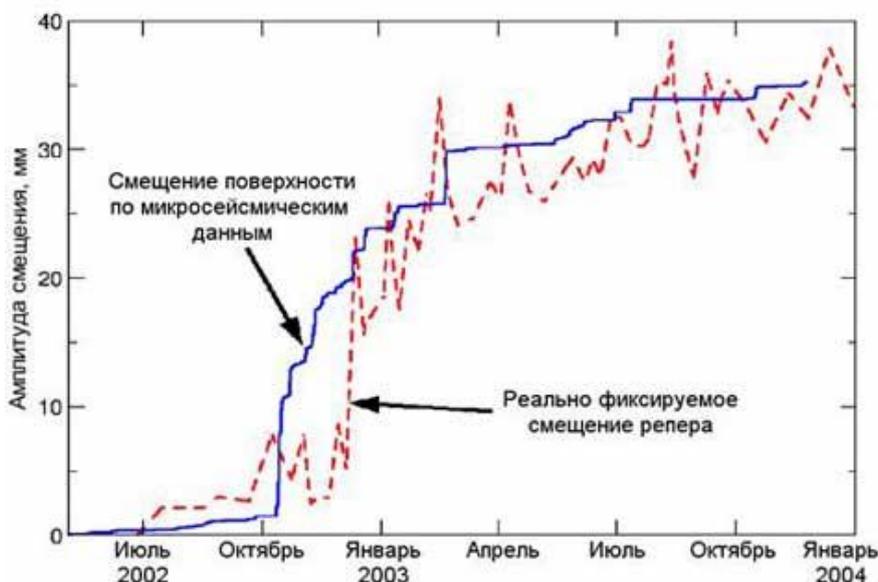


Рис. 3. Углубленная обработка материалов наблюдений

Информация, которую можно извлечь из волновых форм сейсмических событий, не ограничивается получаемыми в результате стандартной обработки характеристиками. К примеру, для очага события в виде сдвигового разрушения по сейсмическим записям можно оценить ориентировку сдвиговой плоскости, а также направление и амплитуду подвижки. Подобные методики обработки сейсмических сигналов используются в «большой» сейсмологии и при сейсмомониторинге в подземных рудниках.

В последние годы накоплен положительный опыт использования микросейсмического мониторинга в качестве метода контроля устойчивости бортов карьеров [4]. Одно из главных преимуществ микросейсмического метода перед другими (маркшейдерскими измерениями, визуальными осмотрами) состоит в том, что наблюдениями охватывается 3-х мерный объем пород. Другой плюс данного метода заключается в непрерывности проведения наблюдений и в возможности оперативного получения результатов. В то же время существует ряд специфических сложностей реализации микросейсмического мониторинга:

- создание представительной расстановки сейсмических датчиков требует бурения нескольких глубоких (100-200 м) скважин;
- необходимо обеспечивать сохранность и работоспособность наземных регистрирующих модулей и каналов передачи данных (в частности, во время проведения взрывов);
- на этапе обработки материалов мониторинга необходимо выделять и устранять импульсные сейсмические сигналы, связанные с работой горного оборудования и другими внешними воздействиями.

Микросейсмический мониторинг не следует рассматривать как средство объявления тревоги неустойчивого состояния пород борта (наподобие струнных датчиков). Скорее его следует рассматривать как инструмент, позволяющий понять закономерности деформирования исследуемого массива.

Выявленная корреляционная зависимость имеет высокую практическую значимость, т. к. на ее основе можно осуществлять прогноз сдвижения пород борта по данным микросейсмического мониторинга. Однако гарантировать работоспособность подобного прогнозирования на любых карьерах в настоящее время еще сложно. Требуется накопление большего объема статистических данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: «Недра», 1989.
2. Отчет «ТЭР целесообразности проведения геологоразведочных работ и разработки участка «Центральный» и Северо-Западного фланга месторождения «Восточный Камыс» / ТОО «Горно-экономический Консалтинг». – Алматы, 2001.
3. Методологические основы мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов. КарГТУ, 2006.

4. Хмырова Е. Н, Бесимбаева О. Г. Сейсмомониторинг состояния приботовых массивов карьера «Восточный Камыс» // Научный журнал Вестник ЕНУ. – 2014. – № 4 (101). – С. 116 – 125.

© *О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. Н. Олейникова, Б. А. Бесимбаев, 2016*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ MICROMINE

Андрей Александрович Басаргин

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

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

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

MODELING OF ORE MINERAL DEPOSITS USING MICROMINE GIS

Andrey A. Basargin

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

The issues of geoinformation technologies application are considered. They are to be used for creation and operation of automated management systems for mining enterprises. Micromine GIS is presented as an example.

Key words: geospatial data bank, unified storage, digital models, database structure, wireframes.

Одной из основных особенностей формирования и ведения базы разведочных скважин для месторождений рудных полезных ископаемых является наличие механизма усреднения интервалов первичного геологического опробования. База данных содержит средства структурной фильтрации по совокупности показателей, триггеров, вычисляемых полей (математические, статистические и логические функции), статистического анализа, построения графиков. С помощью аппарата математической статистики определяют правильность ввода первичных данных, а также наличие смешанных популяций содержания, бортовое содержание полезного компонента в руде. Также этот аппарат позволяет выявить закономерности распределения содержания в выборке для оценки возможности использования различных методов и способов интерполяции распределения значений в пространстве.

Для выполнения интерпретации геологических данных в скважинах используются стратиграфические и литологические индексы пород, а также данные опробования (химическое или физико-технологическое). Оконтуривание зон минерализации выполняется по значениям бортового

содержания полезного компонента. В результате интерпретации создаются замкнутые контуры, которые описывают минеральные разновидности и породы на рис. 1 [5].

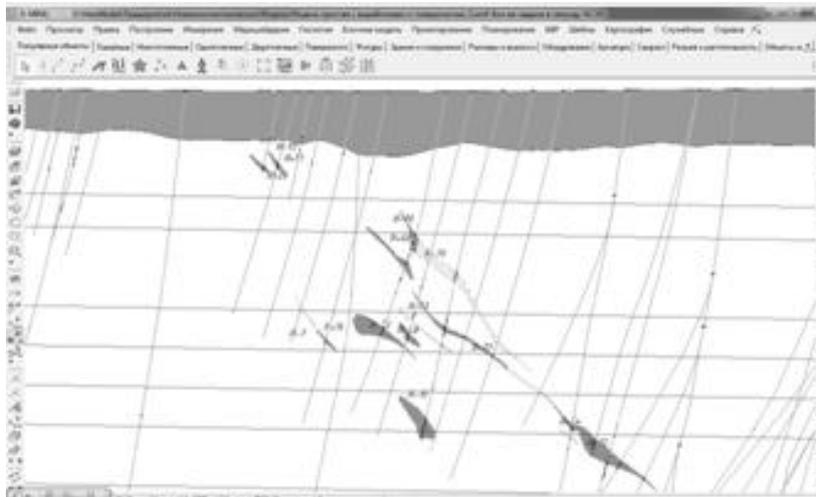


Рис. 1. Интерпретация рудных тел по данным разведочных скважин для одного разведочного профиля

Подобным образом выполняется оконтуривание рудных тел для всех геологических профилей. После интерпретации данных они загружаются в трехмерное пространство для проверки правильности построения и увязки (рис. 2.) [5].

Следующим этапом моделирования является создание каркасных моделей. Они строятся для рудных тел, для минеральных разновидностей в контурах рудных тел и разновидностей пород вскрыши (пустых пород). При создании каркасов используются различные алгоритмы связывания граней каркасных фигур [2], а также ограничения на распространение каркасов на участках с различной конфигурацией на рис. 2 [5].

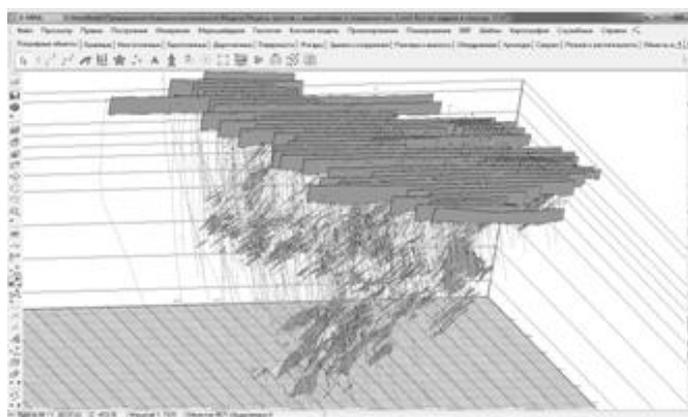


Рис. 2. Интерпретация рудных тел по разведочным профилям

Каркасы подвергаются детальной проверке, что обеспечивает правильность триангуляции и отсутствие ошибок в моделях на рис. 3.

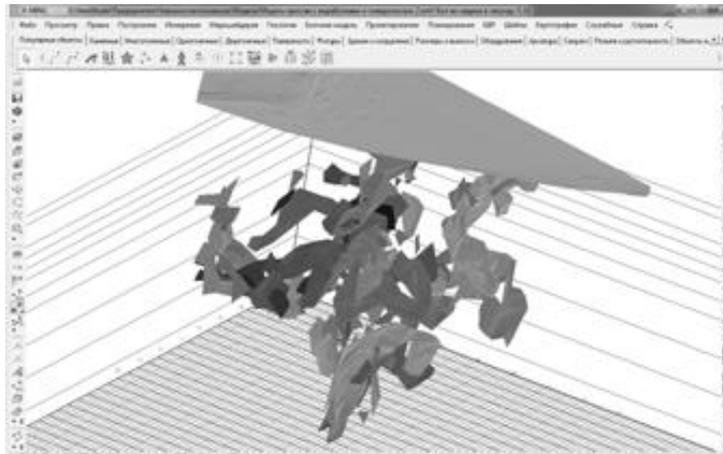


Рис. 3. Результат каркасного моделирования месторождения

Для месторождений рудных полезных ископаемых при уточнении контуров простираения рудных тел и оценки запасов используется блочное моделирование с интерполяцией содержания компонентов. Если классический статистический анализ дает четко ограниченные популяции и закон распределения выборки близкий к нормальному или со смещением, то для моделирования различных геологических величин в пространстве модели, ограниченному каркасами используется геостатистический анализ.

В системе присутствует инструментарий для выполнения такого анализа. Он включает построение и моделирование вариограмм. Последовательность действий при их создании и расчете классическая. Первоначально выполняется построение всенаправленной вариограммы. На ее основе выполняется построение розы направленных вариограмм, из которой, в свою очередь, определяется направление максимальной непрерывности. Строится роза вертикальных вариограмм в плоскости максимальной непрерывности и определяется угол ее падения. Далее определяются углы и азимуты падения основных осей пространственной анизотропии минерализации на рис. 4 [5].

По данным вариограмм для каждого направления по заданной модели (линейная, экспоненциальная, логарифмическая или сферическая) формируются соответствующие модели интерполяции значений содержания (учет эффекта самородком, пороговые значения и интервалы влияния для каждой структуры).

Завершающим этапом для создания моделей месторождений руд является блочное моделирование. Этот процесс заключается в создании пустых блочных моделей, ограниченных каркасами; интерполяция значений содержания

компонентов на базе установленного закона распределения и уточнение контуров пород по заданным кондициям.



Рис. 4. Построение вариограмм для определения пространственной анизотропии минерализации

При моделировании распределения компонентов учитывается большое число факторов: характер изменчивости геологических характеристик, структура и морфология месторождения, густота и равномерность разведочной сети. В связи с этим используются различные методы пространственной интерполяции: полигональный, обратных расстояний в степени IDW, крайгинга (обычный, индикативный, полииндикативный) [4]. После формирования блочной структуры выполняют корректировку каркасных моделей путем исключения областей с некондиционными породами на рис. 5 [5].

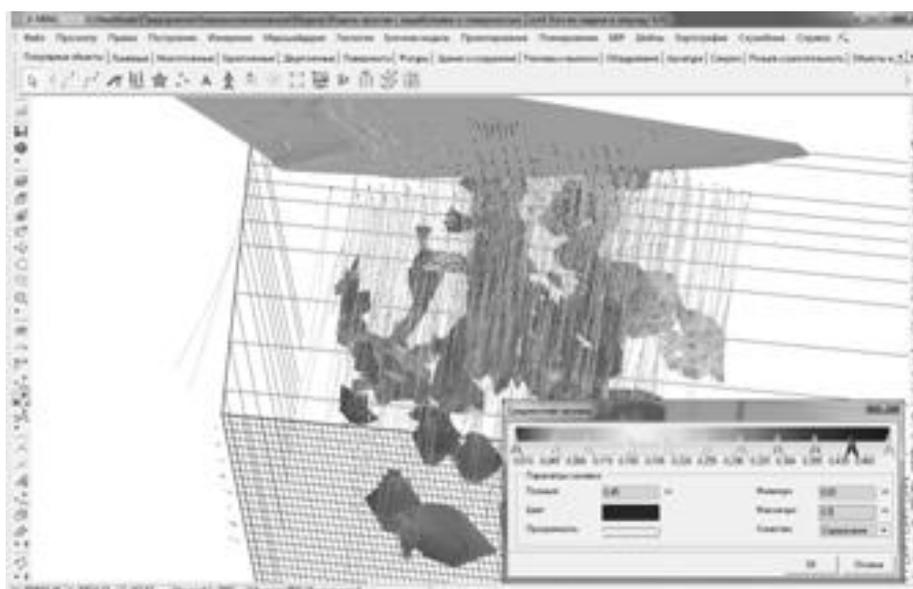


Рис. 5. Блочная модель месторождения для различных видов
полезного компонента

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кормен, Т. Алгоритмы: Построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО. – 2012. – 560 с.
2. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд: Пер. с англ. / М. Давид. – Л.: "Недра". – 2010. – 360 с.
3. Groshong R. H., Jr. 3D structural geology: a practical guide to surface and subsurface map interpretation / Groshong R. H., Jr. – Berlin: SpringerVerlag. – 1999. – 324 p.
4. Капутин, Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Недра. – 2002. – 424 с.
5. Автоматизация горных работ с ГИС Micromine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL : <http://kai.com.ua>. – Название с экрана.

© А. А. Басаргин, 2016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ

Фарит Камалович Низаметдинов

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: mdig_kstu@mail.ru

Елена Николаевна Хмырова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (701)825-24-53, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Ольга Газисовна Бесимбаева

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (701)244-99-15, e-mail: bog250456@mail.ru

Наиль Фаритович Низаметдинов

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: mdig_kstu@mail.ru

Елена Алексеевна Олейникова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (705)1403-778, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

В статье предложено использование мультисистемного тахеометра с функцией сканирования MultiStation Leica Nova в результате, которого можно получить высокоточное 3D сканирования, широчайшие возможности тахеометра, цифровые изображения и GNSS подключения. Революционное решение с использованием новейших технологий измерений, обеспечивая безо всяких оговорок точность и качество, просто в использовании в беспрецедентном спектре применения.

Ключевые слова: моделирование, программный комплекс, база данных, модель, облако точек, карьер, пласт, трещина, запасы.

USE LASER SCANNING TECHNOLOGY FOR MONITORING THE STATUS OF SUSTAINABLE MASSIF

Farit K. Nizametdinov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Head of Mine surveying and geodesy department, doc. of tech. sci., prof., tel. (7212)56-26-27, e-mail: mdig_kstu@mail.ru

Elena N. Hmyrova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Candidate of Technical Sciences, professor of mine surveying and geodesy department, tel. (7212)72-26-65, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Olga G. Besimbaeva

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira St., associate professor of mine surveying and geodesy department, cand. tech. sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

Nail F. Nizametdinov

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, associate professor of mine surveying and geodesy department, cand. tech. sci., tel. (7212)56-26-27, e-mail: mdig_kstu@mail.ru

Elena A. Oleynikova

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, Teacher of mine surveying and geodesy department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

The article suggested the use of multi-system instrument with scanning function MultiStation Leica Nova as a result, which you can get high-precision 3D scanning, the broadest possible instrument, digital images and GNSS connection. The revolutionary solution using the latest measurement technology to provide without reservation accuracy and quality, easy to use in an unprecedented range of applications.

Key words: modeling, software system, the database, model, cloud point, quarry, reservoir, crack, stocks.

Обеспечение устойчивости карьерных откосов – важная задача для эффективного и безопасного ведения горных работ. Современные способы наблюдений за происходящими геомеханическими процессами в бортах карьеров весьма разнообразны. Наиболее перспективными из них являются способы с использованием современного электронного оборудования.

Анализ полученных результатов наблюдений за сдвижением прибортовых массивов на примере карьера «Кентобе» выполнен на основе результатов измерений локальных участков карьера Кентобе. Для определения состояния устойчивости откосов уступов и бортов карьера необходимо произвести сравнение как минимум двух «сканов» локальных участков.

Технология лазерного сканирования становится неотъемлемой частью работы маркшейдерско-геодезических предприятий за счет получения в кратчайшие сроки полной и достоверной информации о деформациях, оползнях и обрушениях на основе цифровой модели карьера.

На горнодобывающих предприятиях маркшейдерская служба должна внедрять современные методы контроля и проведения геомониторинга за состоянием устойчивости бортов карьеров. Как говорил один из выдающихся стратегов «кто предупрежден, тот вооружен», и, исходя из этого принципа, были созданы технологии на базе использования современных маркшейдерско-

геодезических приборов, позволяющие осуществлять мониторинг объектов с высокой точностью в реальном времени для предупреждения различного рода катастроф и аварий [3].

Производство инструментальных наблюдений на карьере имеет важное значение для безопасной отработки месторождения полезного ископаемого.

Инструментальный контроль состояния прибортовых и отвальных массивов на карьере «Кентобе» с использованием лазерного сканера необходимо проводить не реже 2-ух раз в год в соответствии с маркшейдерской инструкцией. При обнаружении деформации массива инструментальные наблюдения должны выполняться ежедневно, изменение скорости движения массива в сторону уменьшения позволит пересмотреть периодичность наблюдений [1].

На карьере «Кентобе» использовался Тахеометр Leica NOVA MS50 (рисунок 1) новый высокоточный сканирующий тахеометр, реализующий полный функционал тахеометра + возможность фотографирования + 3D сканирование.

Принцип работы использованного лазерного сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра и заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от излучателя до отражающей поверхности и обратно до приёмника. Путём деления этого времени на скорость распространения лазерного луча определяется расстояние до объекта.

Для производства работ не нужен непосредственный доступ к объекту, не нужны отражатели или другие приспособления, необходима лишь прямая видимость. Конечно, любой объект не будет виден целиком с одной точки. Чем сложнее поверхность, тем больше нужно точек, с которых будет производиться сканирование.

Leica Nova MS50 совмещает обычную съемку с возможностью создания 3D облаков точек. Технология позволяет собирать и визуализировать данные топосъемки и создавать детальные высокоточные сканы.



Рис. 1. Производство сканирования локальных участков карьера Кентобе

Полная автоматизация процесса съемки. Наличие камеры обзора и оптического 30-кратного увеличения с автоматической фокусировкой

позволяет получать непрерывный видеопоток в реальном времени с высочайшим качеством изображения. MS50 обладает широкоугольным объективом, что делает его незаменимым для мониторинга широко разнесенных объектов городской застройки. Программа позволяет производить съемку по заданным заранее точкам, после чего программное обеспечение, интегрированное в тахеометр, обработает данные и автоматически построит модель.

Leica Nova MS50 интегрирует облако точек 3D измерений в стандартный технологический поток съемочных операций. Это позволяет накапливать и визуализировать данные топографической съемки совместно с подробными высокоточными сканами. Благодаря контролю данных на целостность и достоверность экономятся время и средства средства на повторные полевые съемки.

Методика выполнения измерений с помощью лазерного сканера производится в следующей последовательности:

- а) устанавливают тахеометр (лазерный сканер) над опорным пунктом с известными координатами;
- б) центрируют на точку с использованием оптического центрира;
- в) горизонтируют прибор благодаря встроенному электронному компенсатору, который значительно повышает точность горизонтирования;
- г) выполняют настройку лазерного сканера;
- д) вводят название и координаты точки стояния сканера, высоту инструмента;
- е) название и координаты точки ориентирования сканера;
- ж) выполняют ориентирование прибора;
- з) заходят в режим измерения программы, где выделяют область сканирования прибора и производят запуск измерения.

Получение цифровой модели прибортовых массивов карьера возможна благодаря использованию программного комплекса «MaptekI-SiteStudio», где вычисляются значения элементов залегания трещин: азимута простираения, углов падения и размеров породных блоков. При этом цифровая модель содержит полную информацию о прибортовом массиве горных пород. Используя программу по обработке данных трещиноватости пород, выделяются системы трещин, размеры блоков для использования их в паспорте прочности применительно к массиву.

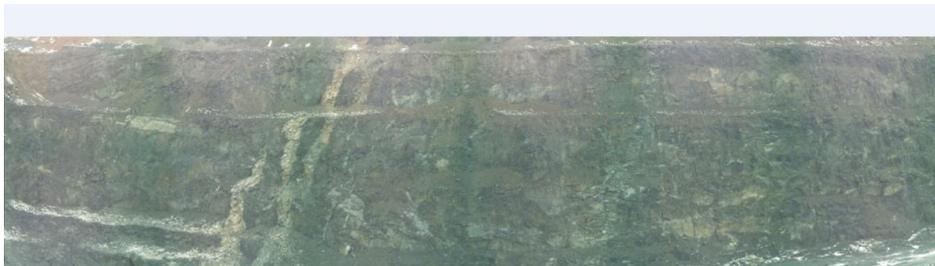
Используя такую модель, возможно создание любых сечений, моделей отдельно взятых элементов и измерение любых геометрических параметров. И, конечно, составление обычных топографических планов.

Результаты локального участка на карьере «Кентобе» (рис. 2).

Получаемые с каждой сканпозиции облака точек объединяются в единую систему координат, в результате чего формируется единая высокодетальная точечная трехмерная модель карьера. Предварительная обработка данных начинается с фильтрации данных, т.е. удаляются точки, не принадлежащие моделируемому объекту съемки. Для этого используются различные фильтры.

После проведения фильтрации данных строится цифровая модель рельефа в виде топоповерхности представленной сетью треугольников.

а)



б)



Рис. 2. Станция 1 для северо-западного борта:
а) фото северо-западного борта сделанное сканером;
б) облако точек северо-западного борта

Конечным результатом сканирования является трехмерная модель, которую можно рассмотреть со всех сторон: наклонить, покрутить вокруг своей оси, передвигать, масштабировать и т.д. Благодаря интегрированной фотокамере совместно со сканированием ведется фотосъемка объекта, что позволяет раскрасить создаваемую модель карьера в реальные цвета.

Полученные с одних и тех же точек в разные промежутки времени сканы сопоставляются друг с другом, на основании чего делаются выводы о динамике происходящих деформационных процессов, откосов уступов и бортов карьера. Такой подход позволит разработать новый способ обнаружения смещений отдельных участков горного массива прибортовых массивов на карьере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от «22» сентября 2008. № 39;

2. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: «Недра», 1989.

3. Проект разработки месторождения «Кентобе» по доработке запасов руды в проектных контурах карьера согласно показателям Рабочей программы к Контракту недропользования// Челябинск, 2012.

© *Ф. К. Низаметдинов, Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева,
Н. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова, 2016*

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Светлана Борисовна Ожигина

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», тел. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Анатолий Дмитриевич Сашурин

Институт горного дела УрО РАН, 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, доктор технических наук, профессор, зав. отделом геомеханики, тел. (950)630-01-91, e-mail: sashour@igd.uran.ru

Сергей Георгиевич Ожигин

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доктор технических наук, декан горного факультета, профессор кафедры маркшейдерское дело и геодезия, тел. (7212)56-26-27, e-mail: osg62@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Ожигин

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, магистр, докторант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», тел. (7212)56-26-27, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

Дмитрий Александрович Кулыгин

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, студент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», тел. (7212) 56-26-27, e-mail: kulygin.1994@bk.ru

На примере Соколовского карьера в статье представлена система мониторинга прибортовых и отвальных массивов, включающая геомеханические исследования состояния карьерных откосов на основе инструментальных наблюдений с использованием современного геодезического оборудования.

Ключевые слова: мониторинг, инструментальный контроль, наблюдательная станция, профильная линия, опорный (рабочий) репер.

MONITORING SYSTEM STABILITY OF OPEN PIT SLOPES

Svetlana B. Ozhigina

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, cand. of tech.sci., associate professor of «Mine survey and geodesy» department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: osb66@mail.ru

Anatoly D. Sashourin

The Institute of Mining UB RAS, Russia, Yekaterinburg, Mamin-Sibiryak st., 58, Doctor of technical sciences, the head of geo-mechanics department, tel. (950)630-01-91, sashur@igd.uran.ru

Sergey G. Ozhigin

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, doct. of tech.sci., dean of Mining faculty, professor of «Mine survey and geodesy» department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: osg62@mail.ru

Dmitriy S. Ozhigin

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, master, Ph. D. candidate of «Development of mineral deposits» department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

Dmitriy A. Kulygin

Karaganda state technical university, 100027, Kazakhstan Republic, Karaganda, 56 Mira avenue, student of «Mine survey and geodesy» department, tel. (7212)56-26-27, e-mail: kulygin.1994@bk.ru

In article is presented for example of Sokolovsky career, the monitoring system stability of boards and dump massif , including research geomechanical state - open pit slope based on instrumental monitoring using modern surveying tools.

Key words: monitoring, tool supervision, monitoring station, profile line, base point.

Увеличение глубины и объемов открытых горных работ, усложнение инженерно-геологических условий разработки месторождений определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов карьеров и формируемых отвалов [1].

Масштабы современного горнодобывающего производства (рис. 1) требуют углубленного изучения и постоянного контроля за происходящими в прибортовых массивах геомеханическими процессами, вызванными нарушением равновесия в земной коре, во избежание неконтролируемых катастрофических проявлений в карьерах, таких как крупные оползни и обрушения [2].



Рис. 1. Общий вид Соколовского карьера

Проблема обеспечения и контроля устойчивости откосов уступов и бортов глубоких карьеров в современных условиях горнодобывающего производства является актуальной. Решение этой проблемы обеспечивается комплексными исследованиями состояния прибортовых массивов горных пород.

Современные способы наблюдений за геомеханическим состоянием бортов карьеров весьма разнообразны. В последние годы актуальными являются методы дистанционного зондирования Земли с применением спутниковой радарной интерферометрии [3]. В настоящее время наиболее перспективными являются способы с использованием современного электронного оборудования, основанные на определении отклонения координат рабочих реперов наблюдательных станций от их начального положения.

Инструментальный маркшейдерско-геодезический контроль состояния устойчивости карьерных откосов выполняется путем создания сети наблюдательных станций в виде профильных линий реперов, закладываемых на прибортовой полосе, на бермах уступов или на отвалах, перпендикулярно верхней бровке карьера (откосу яруса отвала) на наиболее неблагоприятных по устойчивости участках, и производства высокоточных инструментальных наблюдений по ним [4].

На основе геомеханического исследования прибортовых и отвальных массивов Соколовского карьера сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Маркшейдерия, геомеханика и геометризация недр» КарГТУ создана система мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов, состоящая из 7 наблюдательных станций (19 профильных линий), включающих 311 реперов, из них 14 опорных.

Наблюдательная станция I заложена в районе трещин (гор. -40/-125м) на западном борту карьера, является площадной и состоит из девяти профилей, включающих 2 опорных и 140 рабочих реперов. В районе трещин отрыва заложена специальная наблюдательная станция TR (как часть наблюдательной станции I), имеющая две профильные линии. Профильная линия TRV расположена на верхней площадке уступа у трещин (гор. - 50 м), на нижней площадке уступа у трещин на гор. -80м заложена профильная линия TRN. Каждая профильная линия включает в себя по 4 рабочих репера. Данный локальный участок станции I предназначен для контроля состояния горного массива непосредственно в районе трещин (рис. 2).

Станция II расположена в районе деформаций на западном борту карьера (гор. +174м/+120м), состоит из двух профильных линий, включающих 40 рабочих и 4 опорных реперов, и предназначена для ведения контроля устойчивости борта карьера над железнодорожно-транспортной бермой.

Станция III проходит через деформацию на северном борту карьера (гор. + 168м/+ 154 м), включает один профиль из 18 рабочих и 2-х опорных реперов.

В связи с развитием горных работ на юго-восточном борту карьера станция IV заложена на двух верхних горизонтах карьера (до гор. + 170м) и земной поверхности. В дальнейшем, по мере постановки юго-восточного борта

карьера в стационарное положение предусматривается ее реконструкция. Станция IV состоит из одного профиля, включающего 2 опорных и 20 рабочих реперов.

Наблюдательная станция V предназначена для контроля устойчивости ярусов в районе деформации северной части Центрального отвала и состоит из двух профильных линий V^A и V^B , включающих каждая по 13 рабочих реперов. Закладка опорных реперов в настоящее время невозможна из-за скопления воды в основании отвала.

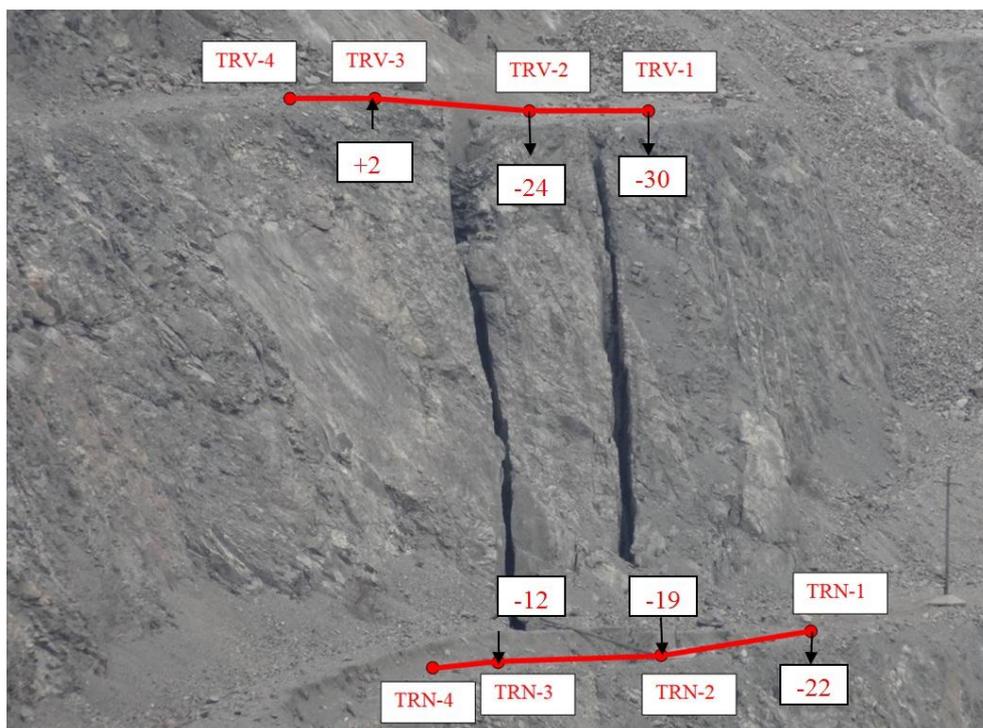


Рис. 2. Наблюдательная станция TR (гор. -40/-125м)

Станция VI заложена в районе деформации в восточной части Центрального отвала, состоит из двух профильных линий VI^A (16 рабочих реперов) и VI^B (17 рабочих реперов), включает 33 рабочих и 2 опорных репера.

Наблюдательная станция VII предназначена для контроля устойчивости ярусов в районе деформации в южной части Центрального отвала у пруда накопителя и состоит из двух профильных линий VII^A и VII^B , включающих 2 опорных и 20 рабочих реперов.

Инструментальные маркшейдерско-геодезические наблюдения за состоянием устойчивости прибортовых и отвальных массивов Соколовского карьера выполняются с использованием роботизированного электронного тахеометра TCA1201, GPS-систем 1200, 3D - лазерного сканирования.

По мере создания наблюдательных станций системы мониторинга на Соколовском карьере в период с 2009 по 2015 годы выполнены до 10 серий инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости карьерных

откосов. На основе анализа результатов инструментальных наблюдений по состоянию на 20.09.2015 года сделаны следующие выводы:

На станции I деформации борта карьера в целом не обнаружены, имеются локальные вывалы породных блоков и осыпи, имеются локальные деформации откосов уступов верхних горизонтов +120,0м и +164,0м, произошедшие из-за избытка влаги. Дренажная система на данном участке не функционирует должным образом. Для предотвращения развития деформаций необходимо восстановить дренажную систему и не допускать обводнения данного участка.

На станциях II, IV, V, IV смещения реперов не обнаружены.

На станции III в период между 8^й (21.04.2014г.) и 10^й (20.09.2015 г.) сериями наблюдений были выявлены деформации в виде оползня откосов уступов между горизонтами +155,0м и +165,0м. Зона деформирования горного массива находится между реперами II-15 и II-19. Максимальное оседание репера II-16 составило 1868мм. Его горизонтальное смещение в сторону выработанного пространства - 3988 мм. Причиной возникновения деформаций на данном участке является увлажнение массива горных пород из-за нарушения функционирования дренажной системы.

На станции VII в период между 4^й (21.04.2014г.) и 5^й (20.04.2015г.) сериями наблюдений установлено смещение реперов на горизонтах +190,0м и +210,0м. Максимальные оседания проявились у репера VII^A-11 и составили 216 мм. Горизонтальное смещение репера VII^A-11 - 44 мм. Скорость деформирования - 0,6 мм/сут (<1 мм/сут).

В период с 20.04.2015 г. (5^я серия) по 20.09.15 г. (6^я серия) максимальные оседания репера VII^A-11 составили 42 мм. Скорость деформирования - 0,3 мм/сут (<1 мм/сут), что свидетельствует о постепенной стабилизации состояния отвала на исследуемом участке. Причина возникновения данных деформаций - избыточное увлажнение основания отвала.

Анализ результатов наблюдений за сдвижением карьерных откосов Соколовского карьера показал, что устойчивое состояние бортов и отвалов карьера в целом обеспечивается, имеются локальные деформации на отдельных участках отвала и карьера, связанные с увлажнением основания отвала и откосов уступов из-за нарушения функционирования дренажной системы в карьере.

Вывод: создание системы геомеханического мониторинга за состоянием устойчивости прибортовых и отвальных массивов Соколовского карьера дает возможность установить характер деформаций карьерных откосов, спрогнозировать развитие их во времени и пространстве, что в свою очередь позволяет наметить мероприятия по устранению причин их развития и повысить безопасность разработки месторождения открытым способом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б. Управление устойчивостью бортов карьеров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч.

конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 30–34.

2. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Ожигин Д.С. Мониторинг устойчивости бортов карьеров Казахстана // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 3. – С. 19–24.

3. Мозер Д. В., Сатбергенова А. К., Туякбай А. С., Нагибин А. А. Применение спутниковой радарной интерферометрии в Казахстане // XV International ISM Congress 2013 (International Society for Mine Surveying, Aachen, Septebtr 16-20, 2013). – Aachen, 2013. – С. 213 – 221.

4. Ожигина С.Б., Урдубаев Р.А., Ожигин Д.С., Ожигин С.Г. Мониторинг состояния бортов глубоких карьеров АО «ССГПО» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 210–215.

© С. Б. Ожигина, А. Д. Сашурин, С. Г. Ожигин, Д. С. Ожигин, Д. А. Кулыгин, 2016

РАЗРАБОТКА СХЕМ БЕСКОНТАКТНОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ЗЕРНОХРАНИЛИЩА

Кайрат Темирбаевич Кошек

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, 150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, доктор технических наук, профессор кафедры энергетики и радиоэлектроники, тел. (7152)49-34-67, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Николай Юрьевич Гури

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, 150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, магистрант специальности 6M071600 «Приборостроение», тел. (777)357-31-08, e-mail: Gurin-nikoLay@mail.ru

Наталья Владимировна Астаненко

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, 150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, докторант специальности 6D075100 «Информатика, вычислительная техника и управление», тел. (705)652-96-52, e-mail: astankin@mail.ru

Александр Александрович Кашевкин

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, 150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, докторант специальности 6D071500 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», тел. (777)357-31-08, e-mail: kashevkin2004@mail.ru

В статье предлагаются схемы мониторинга и управления технологическими процессами хранения зерна на основе применения беспроводных инфокоммуникационных технологий, методов и алгоритмов сбора и анализа информационных сигналов и изображений, и формирования на их основе управляющих воздействий. Объектом автоматизации является зернохранилище инновационного типа.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, автоматизированная система управления технологическими процессами, зернохранилище инновационного типа.

DEVELOPMENT OF SCHEMES OF NON-CONTACT MONITORING AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES GRANARY

Kairat T. Koshekov

North Kazakhstan state University named after M. Kozybayev 150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin, St., 86, doctor of technical Sciences, Professor of «energetic and Radioelectronics», tel. (7152)49-34-67, e-mail: kkoshekov@mail.ru

Nikolay Yu. Gurin

North Kazakhstan state University named after M. Kozybayev 150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin, St., 86, undergraduate specialty 6M071600 «Instrumentation», tel. (777)357-31-08, e-mail: Gurin-nikoLay@mail.ru

Natalya V. Astapenko

North Kazakhstan state University named after M. Kozybayev 150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin, St., 86, doctoral specialty 6D075100 «Informatics, computer facilities and management», tel. (705)652-96-52, e-mail: astankin@mail.ru

Alexander A. Kashevkin

North Kazakhstan state University named after M. Kozybayev 150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin, St., 86, 6D071500 doctoral candidate of the speciality «radio engineering, electronics and telecommunications», tel. (777)357-31-08, e-mail: kashevkin2004@mail.ru

This article describes the process monitoring and control system of grain storage through the use of wireless communication technologies, methods and algorithms for the collection and analysis of information signals and images, and the formation on the basis of their control actions. The object of automation is the granary of innovative type.

Key words: programmable logic controller, an automated process control system, innovative type of granary.

Для повышения качества, выпускаемой продукции и конкурентоспособности на рынке, рано или поздно производство сталкивается с необходимостью его автоматизации. На сегодняшний день существуют различные схемы автоматизации данного технологического процесса, построенные на базе релейно-контактной логики. Построение алгоритмов на данной логике выполняется с определенной последовательностью контактов реле и магнитных пускателей. Расширение таких схем управления связано с внедрением новых контактов, и как следствие полное изменение схемы управления. Сложность передачи данных на расстояние, организация архива, удаленное управление – это лишь небольшой перечень недостатков схем управления на релейно-контактной логике, которые делают данные схемы управления не конкурентоспособными на рынке.

Сегодня очень многие схемы управления, традиционно работавшие на релейно-контактной логике, переходят на логику управления ПЛК (программируемый логический контроллер). Управление посредством ПЛК позволяет организовать схему управления, которую в любое время подлежит расширению, причем базовое аппаратное обеспечение остается без изменений. Удаленное управление возможно посредством различных протоколов передачи данных, а хранение архива данных возможно на удаленной рабочей станции (ПК).

Авторы статьи проводят научно-исследовательскую работу (НИР), финансируемую за счет гранта Комитета Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. Основной целью НИР является усовершенствование процесса хранения зерна путем внедрения комплекса интеллектуальных решений, включающих новые беспроводные инфокоммуникационные технологии, инновационные методы и алгоритмы сбора, первичной обработки и анализа информационных сигналов и изображений и формировании на их основе управляющих воздействий.

Особенностью данной НИР является соотношение «Цена-Качество». Основной особенностью данной схемы управления является применение более дешевого аппаратного обеспечения компании «ОВЕН». Многие схемы управления на сегодняшний день реализуются на базе контроллеров фирм «Siemens», «Schneider Electric», «Legrand» и т.д. С нынешним курсом доллара и евро схемы, реализованные на данных контроллерах, не будут «бюджетным вариантом». И как следствие многие потенциальные заказчики отказываются от автоматизации, а у многих складывается мнение об автоматизации производства, как об очень дорогом «удовольствии», которое никогда не окупится. При грамотном подходе к реализации схемы управления можно добиться высоких показателей в производстве, оптимизации штатного состава, мониторинга технологического процесса, а также выявления неисправностей и нештатных ситуаций на их ранних стадиях. Основным вопросом является детальное изучение технологического процесса производства.

В рассматриваемом зернохранилище применяется технология горизонтальных силосов, которая снижает стоимость строительства зернохранилищ, улучшает качество и увеличивает сроки хранения зерна, способствует снижению себестоимости зерна и повышению его конкурентоспособности. Особенностью горизонтальных силосов инновационного типа является способ и устройство выгрузки зерна из силоса [1]. Этот способ отличается тем, что транспортер для выгрузки зерна из силосов находится внутри силоса, а не под ним, и для этого не нужен дополнительный подземный этаж. Устройство выгрузочного конвейера представлено на рисунке 2. По наклонным поверхностям 1 (рис. 1) зерно поступает к загрузочным щелям 2 и через них на нижнюю ветвь скребкового конвейера 3. Для настройки проходного сечения загрузочных щелей в каждой секции выгрузочного конвейера имеется регулируемое (посредством винтов 5) затворное устройство 4. Каждая секция выгрузочного конвейера оборудована защитным коробом 6, в котором размещаются все составные части выгрузочного конвейера.

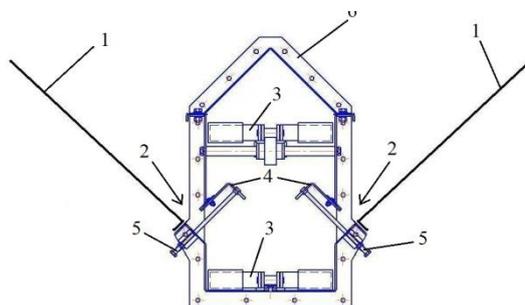


Рис. 1. Устройство выгрузочного конвейера:

- 1 – наклонные полы горизонтального силоса; 2 – загрузочные щели; 3 – скребковый транспортер; 4 – регулируемое затворное устройство; 5 – регулировочный винт регулируемого затворного устройства; 6 – защитный короб

Процесс погрузки зерна в бункера выполнен при помощи погрузочной нории. Принцип действия нории основан на зачерпывании ковшами подаваемого в бункер зерна, подъеме его на необходимую высоту и выгрузке, посредством центробежных сил, в переходник и далее в зернопроводе [2].

Представленное зернохранилище имеет ряд отличительных особенностей над аналогами, а основным превосходством является возможность автоматизации параметров. Существующие схемы автоматизации и мониторинга не позволяют следить за промежуточными значениями. Например, релейно-контактная схема управления дает возможность мониторинга только нескольких уровней зерна в бункере, а число уровней напрямую зависит от количества датчиков уровня.

Авторами статьи была проведена модернизация системы управления технологическими процессами зернохранилища. Это позволило более работоспособную схему управления с возможностью удалённого управления и мониторинга. Структура схемы приведена на рис. 2.

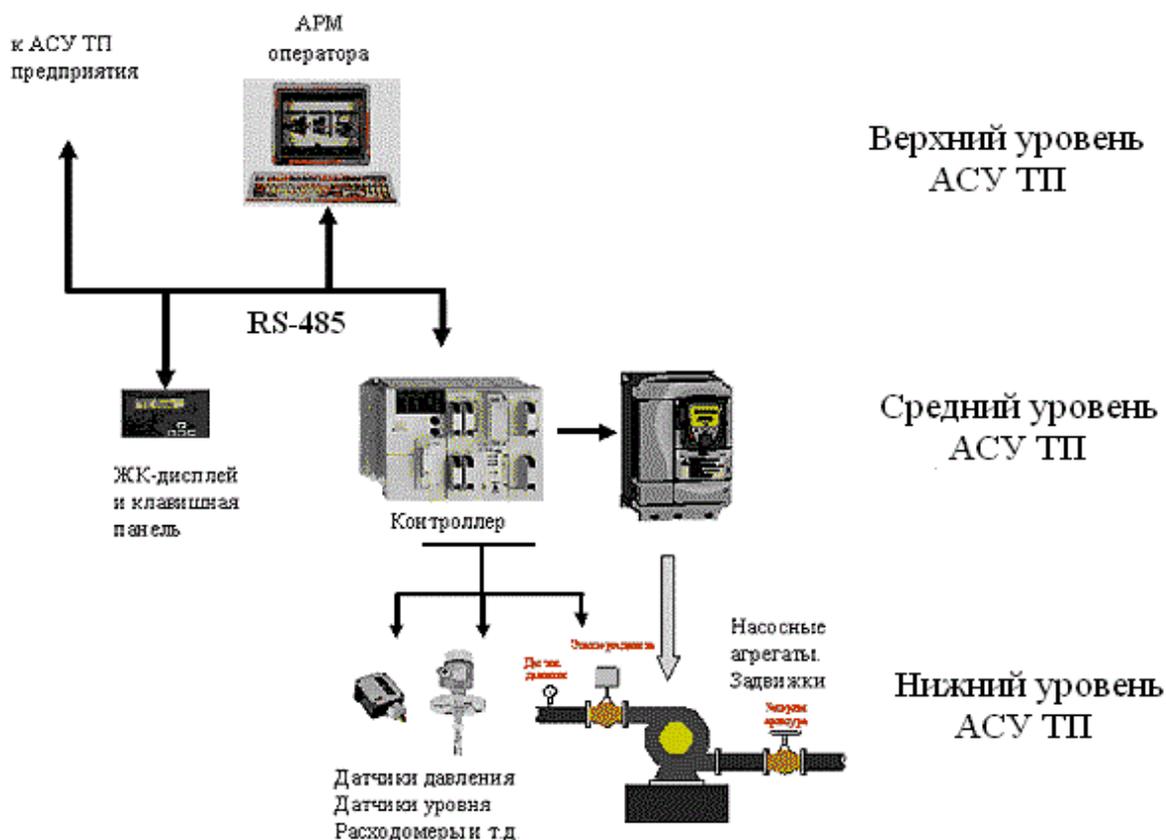


Рис. 2. Структурная схема управления АСУ ТП

Основной частью схемы является контроллер ОВЕН ПЛК 160, в который загружен алгоритм управления. Емкость ПЛК 160 позволяет выполнить автоматизацию зернохранилища без модулей расширения. В случае если в

связи с увеличением производства будет необходимо увеличить емкость контроллера, то необходимо воспользоваться модулями расширения. На базе контроллера образован средний уровень АСУ ТП. Данный уровень выполняет роль мозга системы, либо локального уровня (домена). Измерительные датчики Sensor 1 – Sensor N выполняют роль сбора и первичной обработки сигналов, которые в дальнейшем подаются на входы ПЛК. В зависимости от типа сигнала применяются 2 типа входов: 1 – дискретные сигналы, 2 – аналоговые сигналы. На базе датчиков – sensors выстраивается полевой уровень АСУ ТП. Данный уровень отвечает за сбор информации. Верхний уровень АСУ ТП – это человеко-машинный интерфейс. Здесь происходит сбор и хранение информации. Основным элементом данного уровня является человек, и данный уровень является главным в иерархии управления.

Для предотвращения нештатных операций на базе существующего технологического оборудования, предусмотрены защитные блокировки. Управление электроприводами посредством ЧРП, позволяет ограничить пусковые токи и предотвратить поломку оборудования. Для исключения разрыва транспортера схемой управления предусмотрена блокировка запуска транспортера под нагрузкой, а в случае порыва ленты выдачи тревожного сигнала дежурному. Порыв транспортера контролируется индукционными датчиками, а запуск под нагрузкой датчиками давления.

Особое внимание уделяется мониторингу технологического процесса. Основным протоколом передачи данных между интеллектуальными элементами системы является распространённый протокол Modbus RTU. Передача данных на удаленную рабочую станцию выполняется посредством GSM/GPRS. Аппаратное обеспечение реализована на модулях ОВЕН ПМ01. Для удаленного управления зернохранилищем предусмотрена организация связи с OPC сервером типа Modbus OPC/DDE. Данный сервер позволяет осуществить связь с аппаратным обеспечением разных фирм-производителей, но работающих посредством протокола Modbus RTU. Данный OPC сервер позволяет организовать передачу данных до 9000 бод/с, при количестве входных сигналов до 300, система будет работать без ожидания отклика системы. При организации OPC сервера появляется возможность управления несколькими отдельными зернохранилищами (доменами) с одного рабочего места. На рис. 3 предоставлена полная схема организации передачи данных и удаленного управления.

Представленная схема управления, обеспечивает мониторинг, управление следующими параметрами: хранение зерна; выгрузка зерна; погрузка зерна; контроль параметров хранения зерна; ведение архива данных; формирование отчетов о неисправности; удаленное управление.



Рис. 3. Структурная схема мониторинга технологических процессов

Разработаны алгоритмы управления при помощи алгебры логики, подобрано аппаратное обеспечение системы, рассчитаны контрольные линии к датчикам, для обеспечения непрерывной и эффективной работы зернохранилища. Особое внимание уделено гибкости системы, что обеспечивается возможностью ее интеграции в существующую схему управления, даже релейно-контактную. Работа проводится в рамках северного региона Казахстана и не рассматривает использование данного объекта в районах с сейсмической активности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tuleshov A.K., Dilmagambetov Sh.N., Baibolov K.B., Kozhakov K.S., Dilmagambetov R.P., Innovative patent №25280 (Republic of Kazakhstan), 2011.
2. Нория НПК-50А Руководство по эксплуатации.

© К. Т. Кошеков, Н. Ю. Гурин, Н. В. Астапенко, А. А. Кашевкин, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>Ж. З. Толеубекова, Р. К. Камаров, А. З. Капасова, О. М. Тусупханов, Н. А. Кудеринова.</i> Технологии подавления серосодержащих газов с использованием физико-химических методов в угольных бассейнах.....	3
2. <i>А. М. Яковенко, А. Х. Абишев.</i> Проведение геодезического мониторинга на приустьевой площадке скважины № 104 участка Сары-Узень на бывшем Семипалатинском испытательном ядерном полигоне	8
3. <i>С. Ю. Малышков, В. Ф. Гордеев, В. И. Поливач.</i> Картирование аномалий напряженно-деформированного состояния грунтов и оценка опасности разрывных нарушений для промышленных объектов.....	13
4. <i>Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов.</i> Построение прогнозной модели для изучения процесса перемещений гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС по геодезическим данным.....	19
5. <i>А. Г. Малков, Н. Н. Кобелева.</i> Разработка программы наблюдения за осадками сооружений на основе системного подхода.....	26
6. <i>И. Е. Дорогова.</i> Исследование смещений и деформаций бортов карьера по результатам повторных геодезических измерений	31
7. <i>А. А. Силаева.</i> К вопросу оптимизации геодезических наблюдений на техногенных геодинамических полигонах	37
8. <i>Б. Т. Мазуров, Д. А. Абжапарова.</i> Изучение геодинамики Центральной Азии геодезическими методами.....	42
9. <i>Б. Т. Мазуров.</i> Представление геодинамических систем в фазовом пространстве	47
10. <i>Б. Т. Мазуров.</i> Теоретические основы качественного исследования горизонтальных движений геодинамических систем	53
11. <i>П. А. Медведев, Б. Т. Мазуров.</i> Алгоритм прямого вычисления пространственных геодезических координат по прямоугольным координатам.....	59
12. <i>К. Ф. Афонин.</i> Вычисление площадей территорий в новой государственной системе координат ГСК-2011.....	64
13. <i>С. О. Шевчук, Н. С. Косарев.</i> Исследование коммерческих программ постобработки измерений ГНСС в режиме кинематики для геодезического обеспечения аэрогеофизических работ. Первые результаты	69
14. <i>А. А. Земерова.</i> Методика создания электронных проектов по данным натурной съемки АПК «Профиль»	77
15. <i>С. А. Третьяков.</i> Создание электронных проектов для систем автоматизированного управления щебнеочистительных машин.....	82

16. <i>Л. А. Липатников.</i> Проверка опубликованных значений скоростей пунктов ФАГС в новой государственной системе координат ГСК-2011	86
17. <i>Л. А. Липатников.</i> О возможности применения неравенства Высочанского – Петунина для надежной оценки точности геодезических измерений	92
18. <i>Д. Ш. Фазилова.</i> Определение элементов ориентировки общеземного эллипсоида WGS-84 для пункта «Китаб»	97
19. <i>К. А. Ыстыкул, В. А. Середович, Ж. Д. Байгурин.</i> Картографирование лавиноопасных зон в высокогорной рекреационной зоне Иле Алатау по данным лазерного сканирования	101
20. <i>М. А. Алтынцев.</i> Автоматизированное определение характерных линий автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования.....	108
21. <i>О. Г. Бесимбаева, И. Е. Нургысанова, Г. К. Серикова, М. И. Кириллина, Ю. Б. Воробьева, Б. В. Скакунов.</i> Создание высокоточной трехмерной модели здания «Хан-Шатыр» в программном комплексе Cyclone	117
22. <i>Л. В. Татаурова, Л. В. Быков, А. З. Светлейший, П. В. Орлов.</i> Создание ландшафтных моделей местности и трехмерная реконструкция археологических памятников	123
23. <i>С. Б. Ожигина, Т. А. Жумабеков, Г. В. Сиренко, Д. С. Ожигин.</i> Создание пространственной модели прибортового массива карьера при помощи ГИС ArcGIS	129
24. <i>И. С. Камнев, В. А. Середович.</i> Исследование точности современных методов измерения	135
25. <i>В. Н. Долгоносков, П. С. Шпаков, О. В. Старостина, М. В. Шпакова.</i> Аналитический способ расчета параметров устойчивого откоса на слабом основании большой мощности.....	141
26. <i>О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Б. А. Бесимбаев.</i> Использование сейсмомониторинга для оценки состояния устойчивости прибортового массива.....	146
27. <i>А. А. Басаргин.</i> Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы Micromine	151
28. <i>Ф. К. Низаметдинов, Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Н. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова.</i> Использование технологии лазерного сканирования для наблюдения за состоянием устойчивости прибортовых массивов.....	156
29. <i>С. Б. Ожигина, А. Д. Сашурин, С. Г. Ожигин, Д. С. Ожигин, Д. А. Кулыгин.</i> Мониторинг состояния устойчивости карьерных откосов.....	161
30. <i>К. Т. Кошеков, Н. Ю. Гурин, Н. В. Астапенко, А. А. Кашевкин.</i> Разработка схем бесконтактного мониторинга и управления технологическими процессами зернохранилища	167

CONTENTS

1. <i>J. Z. Toleubekova, R. K. Kamarov, A. Z. Kapasova, O. M. Tussupkhanov, N. A. Kuderinova.</i> Sulfur gas suppression technology with using physics-chemical methods in coal basins.....	3
2. <i>A. M. Yakovenko, A. H. Abichev.</i> Geodetic monitoring well site wellhead number 104 site Sary-Uzen on the former Semipalatinsk nuclear test site	8
3. <i>S. Yu. Malyshkov, V. F. Gordeev, V. I. Polivach.</i> Stress-deformed state of the soils anomaly mapping and fracture hazard assessment for industrial sites.....	13
4. <i>N. N. Kobeleva, V. S. Khoroshilov.</i> Building a predictive model for the study of movements of the crest of the dam Sayano-SHushenskaya HPP on geodetic data.....	19
5. <i>A. G. Malkov, N. N. Kobeleva.</i> The development of a programme for monitoring precipitation structures based on system approach system study of deformations of structures.....	26
6. <i>I. E. Dorogova.</i> Research of pit walls displacement and deformation by results of repeated geodetic measurements	31
7. <i>A. A. Silaeva.</i> To the problem of optimization geodetic observations on technogenic geodynamic polygons.....	37
8. <i>B. T. Mazurov, D. A. Abjaparova.</i> The study of Central Asia geodynamics geodetic methods.....	42
9. <i>B. T. Mazurov.</i> Performance of geodynamic systems in phase space.....	47
10. <i>B. T. Mazurov.</i> Theoretical basis a qualitative study of horizontal movements of the geodynamic systems	53
11. <i>P. A. Medvedev, B. T. Mazurov.</i> The algorithm of direct calculation of the spatial geodetic coordinates at the rectangular coordinates	59
12. <i>K. F. Afonin.</i> Calculation of areas of territories in new state system of coordinates of GSK-2011	64
13. <i>S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev.</i> Comparing results of GNSS kinematic postprocessing by commercial program products for geodetic support of aerial geophysical works. The first conclusions	69
14. <i>A. A. Zemerova.</i> The technique of creating electronic projects according to the full-scale survey of hardware-software system «Profile».....	77
15. <i>S. A. Tretyakov.</i> Creating projects for electronic systems management ballast cleaner.....	82
16. <i>L. A. Lipatnikov.</i> Validation of the published velocities of FAGS reference points in the new reference frame GSC-2011	86
17. <i>L. A. Lipatnikov.</i> Applicability of Visochansky and Petunin inequality for reliable assessment of geodetic measurements accuracy	92

18. <i>D. Sh. Fazilova</i> . Definition of orientation WGS-84 ellipsoid elements for the «Kitab» station.....	97
19. <i>K. A. Ystykul, V. A. Seredovich, Zh. D. Baigurin</i> . Mapping the avalanche zones in the mountainous recreation area of Ile Alatau with laser scanning.....	101
20. <i>M. A. Altyntsev</i> . Semi-automatic detection of road breaklines using mobile laser scanning data.....	108
21. <i>O. G. Besimbaeva, I. E. Nurgyssanova, G. K. Serikova, M. I. Kirillina, Yu. B. Vorobyova, B. V. Skakunov</i> . Development of high-precision three-dimensional construction's model with applying the programme complex Cyclone	117
22. <i>L. V. Tataurova, L. V. Bykov, A. Z. Svetleyshy, P. V. Orlov</i> . Creation of landscape models of the terrain and three-dimensional reconstruction of archaeological monuments.....	123
23. <i>S. B. Ozhigina, T. A. Zhumabekov, G. V. Sirenko, D. S. Ozhigin</i> . Creation of the spatial model of the career cutoff massif by means of GIS ArcGIS	129
24. <i>I. S. Kamnev, V. A. Seredovich</i> . Investigation of accuracy of modern method of metering	135
25. <i>V. N. Dolgonosov, P. S. Shpakov, O. V. Starostina, M. V. Shpakova</i> . Analytical method of parameters calculation of stability slopes on high capacity weak bases	141
26. <i>O. G. Besimbaeva, E. N. Khmyrova, E. A. Oleynikova, B. A. Beisembaev</i> . Seismomonitoring use for assessment of stability massif.....	146
27. <i>A. A. Basargin</i> . Modeling of ore mineral deposits using Micromine GIS.....	151
28. <i>F. K. Nizametdinov, E. N. Hmyrova, O. G. Besimbaeva, N. F. Nizametdinov, E. A. Oleynikova</i> . Use laser scanning technology for monitoring the status of sustainable massif.....	156
29. <i>S. B. Ozhigina, A. D. Sashourin, S. G. Ozhigin, D. S. Ozhigin, D. A. Kulygin</i> . Monitoring system stability of open pit slopes	161
30. <i>K. T. Koshekov, N. Yu. Gurin, N. V. Astapenko, A. A. Kashevkin</i> . Development of schemes of non-contact monitoring and control of technological processes granary.....	167