

УДК 622.1:528.022.62

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ, ВЫДАВАЕМОЙ ГИРОКОМПАСОМ ВОГК-2

Кузьмич В.А., Кологривко А.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Штыков А.Н. (ФГУП НПОА «ОКБ Автоматика», г. Екатеринбург, Россия)

В статье изложены результаты исследований по определению дирекционного угла волоконно-оптическим гироскопом ВОГК-2 в лабораторных условиях. Представлен геометрический анализ первоначальной информации, выдаваемой гироскопом. Даны примеры построения динамических графиков, обобщенных графиков распределений полупериодов и амплитуды, обобщенных графиков спектральной плотности и спектральной функции.

Введение

Интенсификация и совершенствование технологии добычи полезных ископаемых, увеличение размеров шахтных полей и глубины разработки, введение в работу новых предприятий, горизонтов, горных выработок, обеспечение правильной и безопасной разработки месторождений предъявляют требования к повышению точности и надежности построения подземных маркшейдерских опорных сетей.

Перспективными в Республике Беларусь следует рассматривать Нежинский, Кривичский, Дарасинский, Смолковский, Дроздовский, Октябрьский, Любанский участки Старобинского месторождения калийных солей, а также Петриковское месторождение калийных солей, Бриневское месторождение гипса. Республика активно участвует в наращивании мощностей в области производства калийных удобрений за счет строящихся горно-обогатительных комбинатов на базах Гремячинского (Волгоградская область, Российская Федерация) и Гарлыкского (Койтендагский этрап, Лебапский вেলাят, Туркменистан) месторождений калийных солей.

К особенностям построения сетей, принимая во внимание современные методы измерений, применяемых в инженерной геодезии и маркшейдерии, стесненные условия их производства, следует отнести: небольшой выбор формы сети, зависящей от конфигурации и размеров выработок; изменение формы и состояния сети в течение всего периода эксплуатации месторождения вследствие непрерывного продвижения фронта горных работ; неблагоприятные, сложные условия для производства угловых и линейных измерений – стесненность, запыленность, обводненность, слабая освещенность, воздействие воздушной вентиляционной струи, помехи при работе машин и механизмов; небольшое число исходных данных; наличие соединительных съемок, связывающих в единую систему координат плановые и высотные сети на поверхности и в горных выработках, а также сети различных горизонтов между собой; нарушение стабильности пунктов сети вследствие влияния различных геомеханических процессов, создающих неустойчивые зоны как на поверхности, так и в горных выработках; прокладка висячих подземных сетей. Отметим, что в результате непрерывного продвижения фронта горных работ часть маркшейдерских сетей уничтожается. Появляются новые участки с новыми связями, что создает дополнительные трудности при обработке результатов измерений на производстве [1]. При выполнении маркшейдерских работ в

неустойчивых зонах или в зонах повышенного горного давления строят локальные сети.

Гироскопический способ ориентирования горных выработок представляется единственным надежным способом ориентирования благодаря следующим преимуществам: сокращается объем работ при создании опорных сетей в связи с тем, что гиростороны надежно контролируют угловые измерения, за счет чего исключается необходимость прокладки повторных ходов; снижается требование к точности измерения горизонтальных углов, что в свою очередь, повышает производительность труда при прокладке полигонометрических ходов; уменьшается влияние случайных ошибок угловых измерений, в результате чего значительно повышается точность планового положения пунктов сети.

Развитие научных знаний в области гироскопического ориентирования, внедрение в практику производства маркшейдерских работ новейших гирокомпасов (гиротеодолитов) позволяют обеспечить необходимую точность и надежность планового положения пунктов подземной маркшейдерской опорной сети и решить актуальную задачу ориентирования горных выработок на глубоких горизонтах.

Так, новейшей разработкой является волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2 (рисунок 1), созданный специалистами филиала ФГУП НПОА «ОКБ Автоматика» (г. Екатеринбург, Российская Федерация) [2, 3]. Гирокомпас предназначен для определения дирекционного угла заданного направления при установке на неподвижном относительно Земли основании. Он представляет собой волоконно-оптический интерферометр, в котором распространяются встречные электромагнитные волны. Чувствительный элемент прибора размещен на поворотном устройстве и имеет в своем составе катушку и электронные блоки. Развороты чувствительного элемента в измерительные положения производятся автоматически. Чувствительный элемент и поворотное устройство размещены в едином корпусе. Сверху на корпусе находится основание теодолита, с помощью которого гирокомпас ориентируется в заданном направлении. В состав прибора также входят: теодолит, штатив, компьютер, кабель сигнальный, кабель питания, компакт диск с ПМО и ИЭ, источник питания с зарядным устройством, паспорт, транспортная тара, палатка (для специального назначения).

Важнейшей составляющей оценки результатов измерений является анализ первоначальной информации, выдаваемой гирокомпасом. Представительность оценки результатов изменения во времени обеспечивает геометрический анализ информации, в части установления ее закономерности, подчинения ее законам распределения, установления пределов колебания.

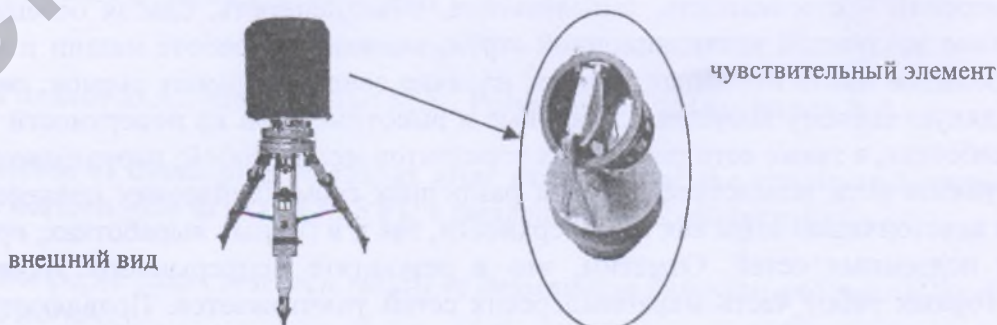


Рисунок 1 – Волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2

Результаты исследований

Принципом действия ВОГК-2 является измерение высокочувствительным волоконно-оптическим датчиком четырех проекций угловой скорости вращения Земли (далее – УСВЗ) на ось чувствительности датчика, механически устанавливаемую в четырех ортогональных положениях под углом 45° к горизонту [2], и последующее аналитическое определение дирекционного угла с использованием программы Python.

Результаты измерений обрабатываются автоматически. После производства измерений и обработки полученных данных программой выдаются графики расчетов и азимут направления (рисунок 2). Прибор весьма чувствителен к внешним шумам. В основе программы лежит полиномиальный метод, что позволяет автоматически производить статистическую обработку данных и устранять значительные шумовые помехи [4, 5]. После каждого проведенного измерения необходимо просматривать результат и производить визуальную выбраковку по предоставленным графикам. На рисунке 2 представлены «хороший» и «плохой» результаты измерений. При виде плохого результата необходимо произвести повторную серию наблюдений.

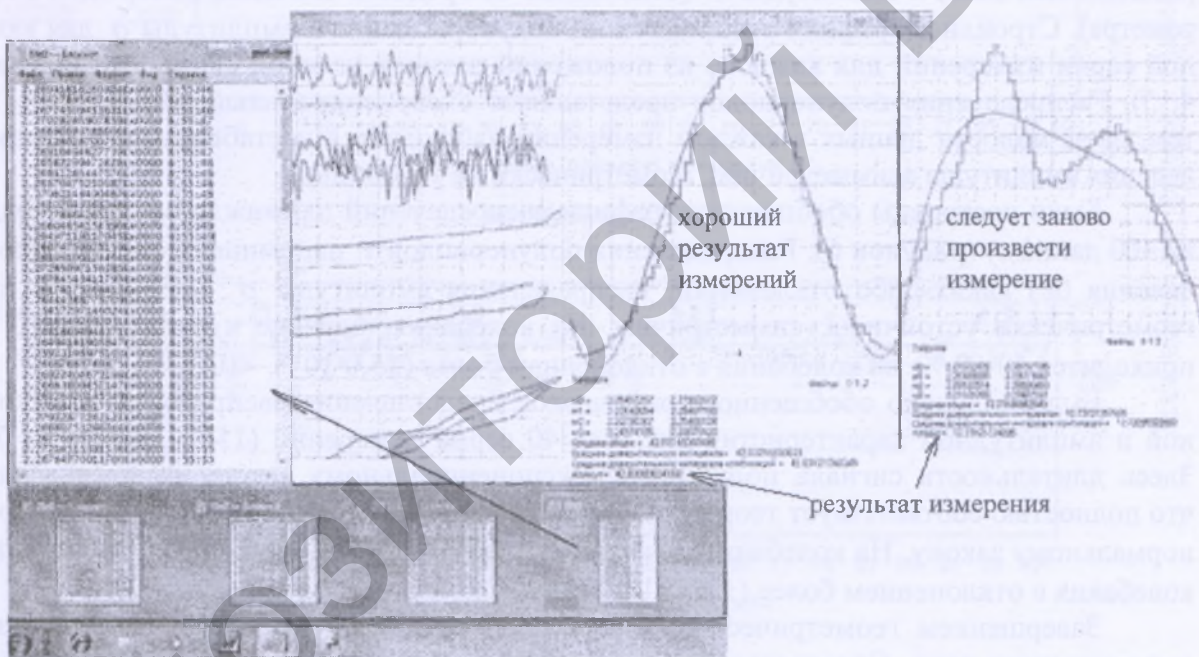


Рисунок 2 – Запись параметра, пропорционального угловой скорости вращения Земли, и окно с окончательным решением

Существует возможность просмотра первоначальных данных, выдаваемых прибором. Это четыре информационных файла, записанных в Блокноте, которые содержат информацию в виде параметра, пропорционального угловой скорости вращения Земли и времени проведения измерений (рисунок 2). Это дает возможность проанализировать эти данные. Каждый файл записывается в течение 30 секунд и содержит около 90-100 измерений.

Фундаментом для исследования данных взяты методические основы анализа динамических рядов, разработанные профессором А.В. Гальяновым [6]. Динамический ряд в рассматриваемом случае представляет собой последовательность измерений проекций УСВЗ на ось чувствительности в четырех ортогональных положениях (0°, 90°,

ЖУРНАЛУ «ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ» 15 ЛЕТ

180°, 270°). Динамический ряд обеспечивает наглядность изменения процесса во времени и проявляющихся закономерностей в нем. Он содержит в себе количественную амплитудно-частотную информацию, что позволяет использовать ее для принятия решения. Данный метод исключает необходимость применения сложного аналитического аппарата, заменяя его вполне строгой формой графической и табличной обработки.

Измерения проводились в лабораторных условиях. Далее производилась обработка результатов измерений по предложенной методике. Всего обрабатывалось 40 серий наблюдений. Задачей анализа данных являлось получение развернутой геометрической характеристики информации. Следует отметить, что под анализ данных попали измерения, которые необходимо было бы в реальных условиях отнести к «плохим».

Для каждой серии измерений строились динамические графики по каждому из положений датчика угловой скорости (рисунок 3). Анализ графиков позволяет сделать заключение о случайном характере процесса измерения (эргодический процесс). Находились так же и средние значения измеренных величин.

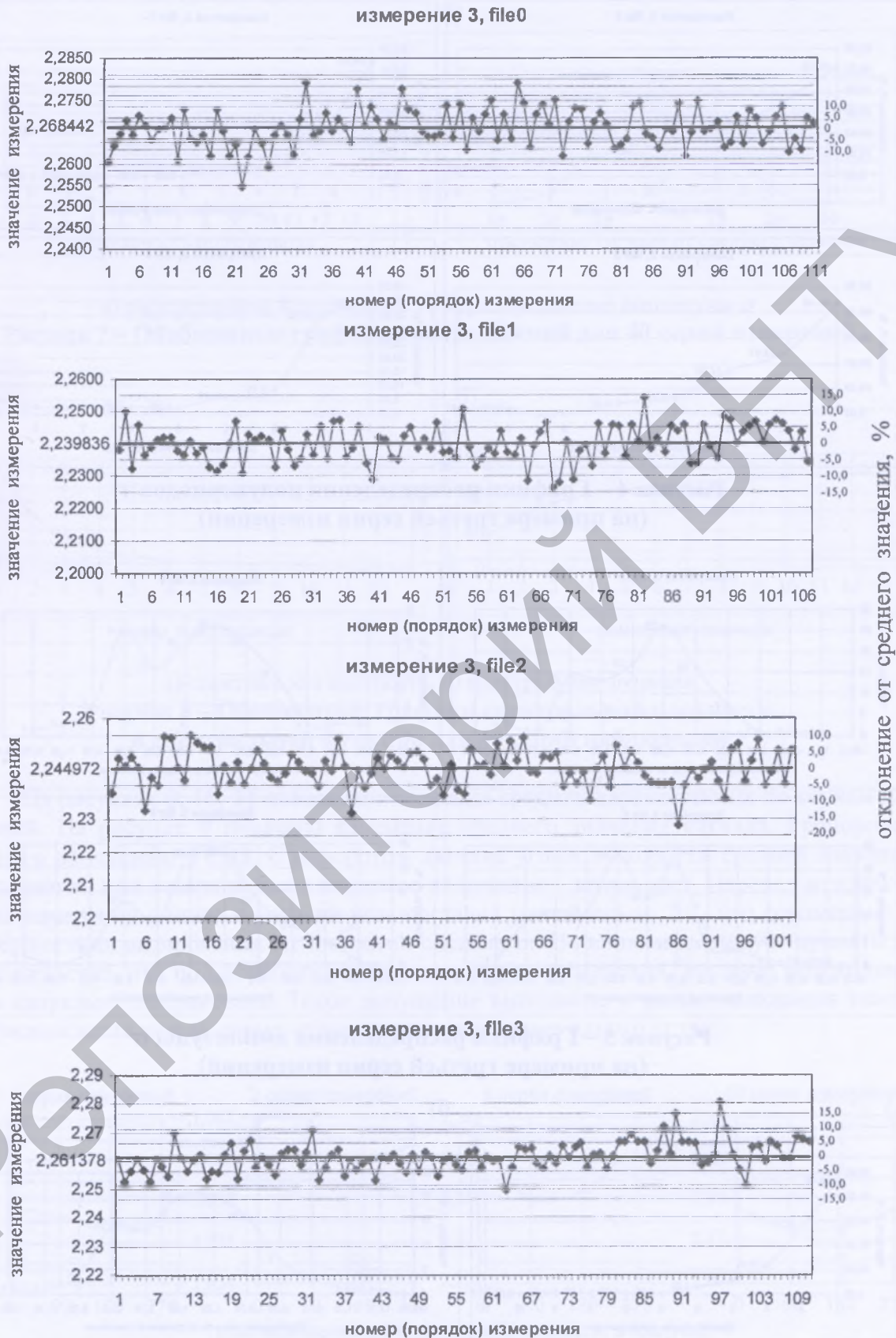
Далее определялись вероятностные характеристики распределения полупериодов длительности сигналов τ (длительность сигнала, имеющая положительный или отрицательный знак) и амплитуды σ (отклонение от среднего значения измеренного параметра). Строились графики распределений полупериодов τ и амплитуды σ для каждой серии измерений для каждого из положений датчика угловой скорости (рисунки 4, 5). Распределения полупериодов представляют экспоненциальный закон, вместе с тем, из-за малости данных в каждом измерении наблюдается нестабильность. Распределения амплитуды асимметричны, геометрически не устойчивы.

Были построены обобщенные графики распределений для каждой серии (порядка 400 данных) (рисунок 6). Распределения полупериодов τ напоминают закон распределения без каких-либо отклонений. Распределения амплитуды σ нестабильны, но геометрически устойчивы, симметричны. На колебания, близкие к нулю ($\pm 2,5 \cdot 10^{-3}$), приходится 40-60 %; на колебания с отклонением более ($\pm 5,0 \cdot 10^{-3}$) – 10-30 %.

Было получено обобщенное графическое представление распределения частотной и амплитудной характеристик для всех 40 серий измерений (15520) (рисунок 7). Здесь длительность сигнала подчинилась экспоненциальному закону распределения, что полностью соответствует теории. Амплитудное распределение достаточно близко к нормальному закону. На колебания, близкие к нулю ($\pm 2,5 \cdot 10^{-3}$), приходится 70-80 %; на колебания с отклонением более ($\pm 12,5 \cdot 10^{-3}$) – 5 %.

Завершением геометрического анализа является спектральная характеристика динамического ряда. Спектральный анализ предусматривает различие общей дисперсии по длительности (полупериоду колебаний). Спектральная плотность S_f показывает, какая доля в общей дисперсии приходится на колебание сигнала с длительностью τ . Для каждого положения датчика угловой скорости каждой серии измерений были составлены таблицы спектрального разложения дисперсии. Были построены графики спектральной плотности и спектральной функции для всех положений датчика угловой скорости всех серий измерений. Они являются неустойчивыми. В этой связи, были объединены измерения в каждой серии, однако отклонения также наблюдались.

На рисунке 8 представлены обобщенные графики спектральных характеристик для 40 серий измерений. Анализ показал их устойчивость. Спектральная плотность и спектральная функция напоминают экспоненциальный закон распределения. В спектре дисперсии колебания не отмечаются.



file 0 – 0°; file 1 – 90°; file 2 – 180°; file 3 – 270°

Рисунок 3 – Пример построения динамических графиков (измерение 3)

ЖУРНАЛУ «ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ» 15 ЛЕТ

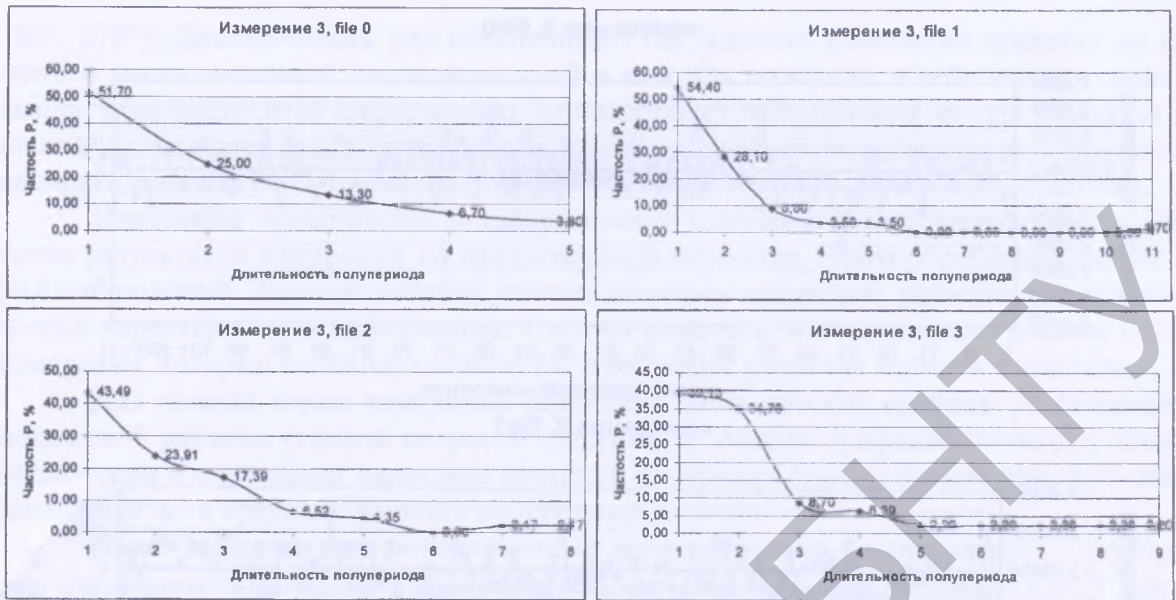


Рисунок 4 – Графики распределения полупериодов τ (на примере третьей серии измерений)

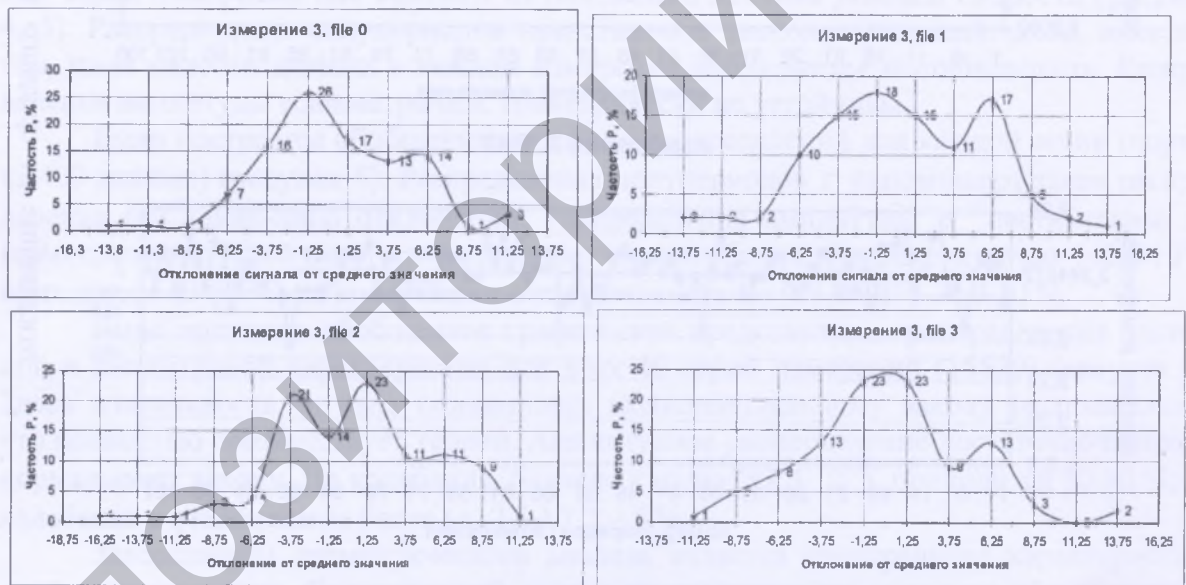
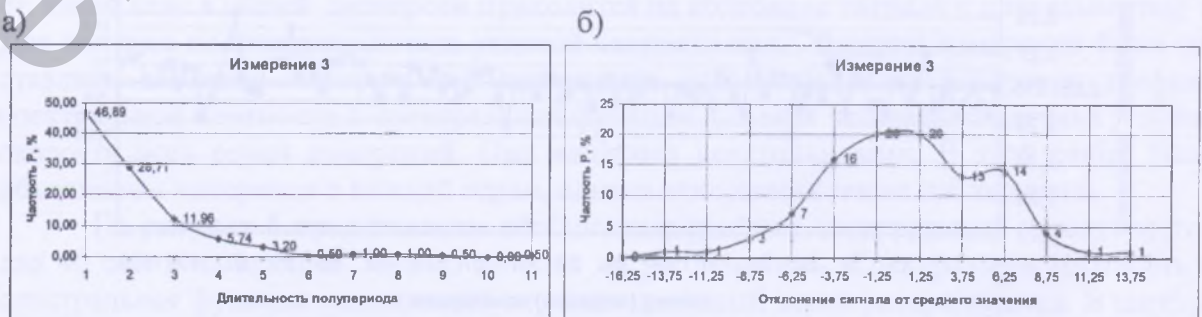
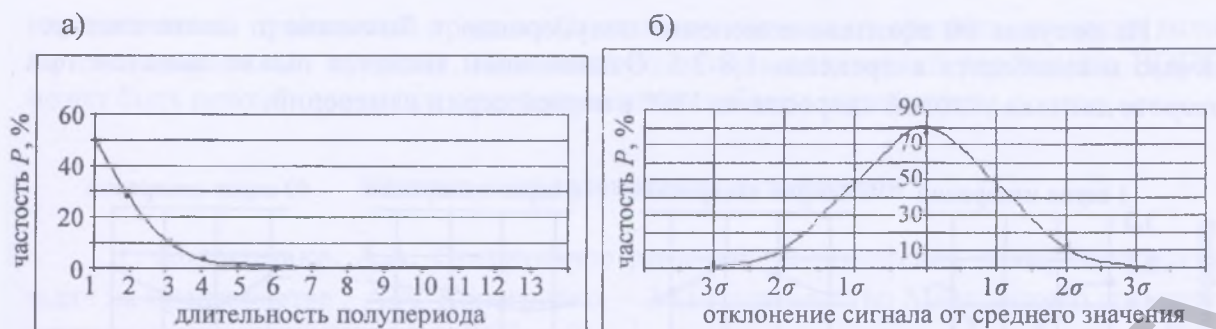


Рисунок 5 – Графики распределения амплитуды σ (на примере третьей серии измерений)



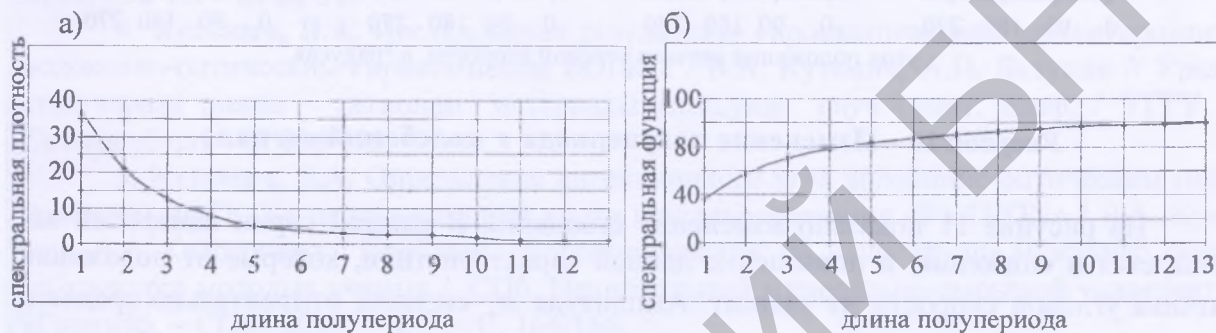
а) распределение полупериода τ ; б) распределение амплитуды σ
 Рисунок 6 – Обобщенные графики распределений для серии измерений (на примере третьей серии)

ЖУРНАЛУ «ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ» 15 ЛЕТ



а) распределение полупериода τ ; б) распределение амплитуды σ

Рисунок 7 – Обобщенные графики распределений для 40 серий измерений



а) спектральная плотность; б) спектральная функция

Рисунок 8 – Обобщенные графики спектральной плотности и спектральной функции для 40 серий наблюдений

На рисунках 9, 10, 11 показаны изменения средних характеристик по сериям измерений. На рисунке 9 показано изменение среднего значения сигнала, пропорционального изменению УСВЗ. С поворотом датчика угловой скорости среднее значение уменьшается, при возвращении в исходное положение – возрастает. Перепад между сериями измерений одного и того же угла составил максимально 20", что соизмеримо с погрешностями визирования оптическими системами. Во внимание следует принять то обстоятельство, что под обработку попали несколько измерений, которые необходимо было визуально выбраковать. Такое допущение выполнено с целью выяснения значения расхождения между двумя «плохими» измерениями одного угла.



Рисунок 9 – Изменение среднего значения сигнала, пропорционального изменению УСВЗ

На рисунке 10 показано изменение полупериода τ . Значение τ достаточно устойчиво и колеблется в пределах 1,8-2,5. Отклонением является только значение при повороте датчика угловой скорости на 180° в первой серии измерений.

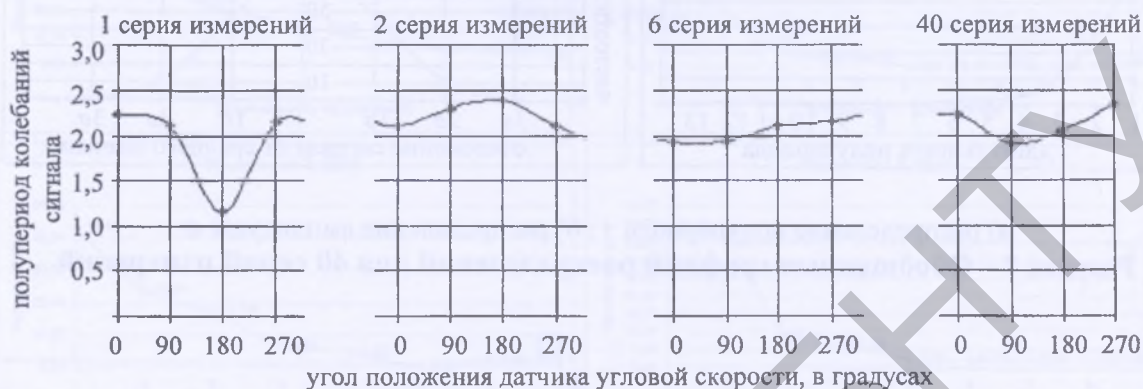


Рисунок 10 – Изменение полупериода τ колебаний сигнала

На рисунке 11 показано изменение стандарта. В каждой серии измерений наблюдается и снижение, и повышение данной характеристики, которые от положения датчика угловой скорости не зависят. Амплитуда σ_r сигнала, относительно среднего значения, достигла своего максимального отклонения во второй серии наблюдений (90°) – 2,41 секунды.

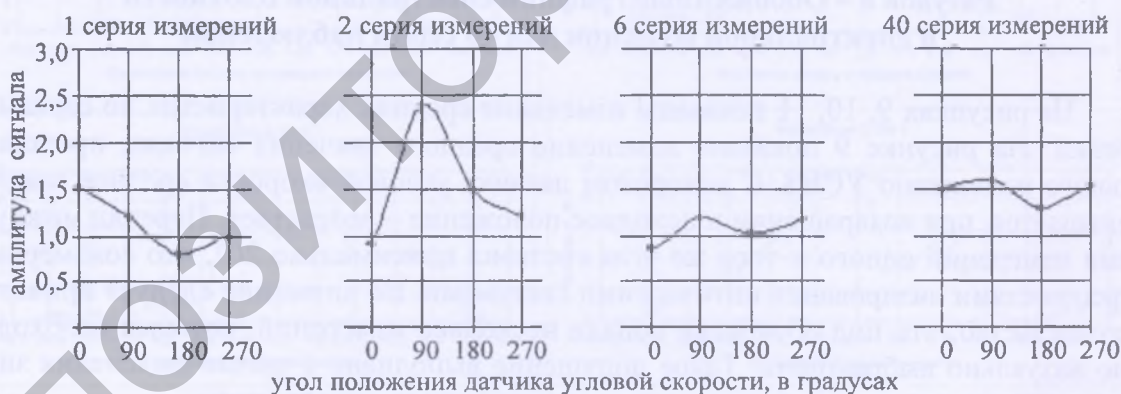


Рисунок 11 – Изменение амплитуды σ_r сигнала относительно среднего значения

Выводы

Представленный геометрический анализ первоначальной информации, выдаваемой гирокомпасом ВОГК-2, позволил оценить получаемую информацию как случайный процесс и выявить закономерности в нем. Распределения полупериодов, амплитудное распределение, нормированная спектральная плотность и спектральная функция динамических рядов первоначальной информации подчиняются законам распределения и гармонируют с методическими основами анализа динамических рядов, что позволяет оценить результаты измерений дирекционного угла рассматриваемым прибором как

технологически правильный процесс. Отклонения сигнала от среднего значения колеблются в допустимых пределах. Новейший волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2 может быть рекомендован при ориентировании глубоких горизонтов.

Список использованных источников

1. Кологривко, А.А. Оперативное решение геодезических и маркшейдерских задач на производстве / А.А. Кологривко. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 63 с.
2. Волоконно-оптический гирокомпас ВОГК-2. Патент № 2340875 / Л. Шалимов, А. Штыков, Н. Манько, Г. Шестаков.
3. Ноу-Хау уральских разработчиков / Л. Шалимов [и др.] // Деловая Россия. – 2010. – № 10. – С. 30-31.
4. Кузьмич, В.А. Исследование результатов гироскопического ориентирования волоконно-оптическим гирокомпасом ВОГК-2 / В.А. Кузьмич, А.П. Бадулин // Уральская горная школа – регионам: материалы междунар. науч.-практ. конф. / УГГУ. – Екатеринбург. – С. 194-195.
5. Кузьмич, В.А. Определение дирекционного угла волоконно-оптическим гирокомпасом ВОГК-2 с использованием языка программирования «PYTHON» / В.А. Кузьмич, А.А. Кологривко // Проблемы недропользования: сб. науч. трудов междунар. форума-конкурса молодых ученых / СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб., 2013. – Ч. 1. – С. 164-166.
6. Гальянов, А.В. Теоретические основы геометризации процессов в горном деле: научная монография / А.В. Гальянов. – Екатеринбург: УГГУ, 2010. – 250 с.

Kuzmich V.A., Kologrivko A.A., Shtykov A.N.

Geometric analysis of information supplied by gyrocompass FOGC-2

In this article the researches results for determination of directional angle by the fiber-optical gyrocompass FOGC-2 in the laboratory conditions are described. The geometrical analysis of the initial information shown by the gyrocompass is presented. Examples of drawing the dynamic graphs, generalized graphs of distribution of half-cycles and amplitude, generalized graphs of spectral density and spectral function are given.

Поступила в редакцию 25.11.2013 г.