

**Естественные
и
технические
науки[®]**

№ 11 (198) 2024 г.

ISSN 1684-2626

**Журнал «Естественные и технические науки» входит
в Перечень ВАК РФ и Международную базу данных
и систему цитирования Chemical Abstracts.**

Журнал публикует основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и на соискание ученой степени доктора наук по естественным и техническим наукам. В соответствии с пунктом 5 Правил издания, текущие номера которых или их переводные версии входят хотя бы в одну из международных реферативных баз данных и систем цитирования, считаются включенными в Перечень по отраслям науки, соответствующим их профилю. При рассмотрении вопроса о присвоении ученого звания публикации соискателя ученого звания в данных изданиях засчитываются в качестве научных трудов, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень (на основании пункта 5 Правил формирования перечня рецензируемых научных изданий, утвержденных приказом Минобрнауки России от 12.12.2016 № 1586, и письма Минобрнауки МН-06.2/1059 от 08.11.2018).

Учредитель – Издательство «Спутник+»

Компьютерный набор и верстка – Д. Абдулвахидова

Адрес редакции: 109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8А, стр. 1

Телефон: (495) 730-47-74, 778-45-60, 730-48-71 (с 9 до 18, обед с 14 до 15)

E-mail: print@sputnikplus.ru

**Издание зарегистрировано
Министерством Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций**

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-39983 от 20 мая 2010 г.**

Объем 39,5 печ. л.
Тираж 1000 экз. Заказ № 236.
Подписано в печать 29.11.2024.

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник+»

Электроника, фотоника, приборостроение и связь

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Абатуров М.А., кандидат химических наук, старший научный сотрудник

Андреев В.Н., доктор химических наук, зав. лабораторией

(Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук)

DOI: 10.25633/ETN.2024.11.12

УДК 550.34; 527.5

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ВАРИАЦИИ АЛЛАНА ПРИ АНАЛИЗЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА

В работе рассмотрен известный в прецизионной метрологии статистический метод вариации Аллана. На примере анализа микросейсмического шумового фона показано, что метод вариации Аллана может быть успешно применен для анализа случайных шумовых сигналов. С помощью анализа хода кривой на диаграмме вариации Аллана был отслежен процесс статистического накопления данных, имеющих квазистационарный случайный характер. Была достигнута предельно возможная для рассматриваемого случая достаточно высокая точность оценки шума 0.005 при длительности накопления 25 минут с учетом проявления фактора нестационарности. Сделан вывод о том, что метод может эффективно применяться в различных флуктуационно-шумовых исследованиях.

Ключевые слова: вариация Аллана, флуктуация, шумы, случайные сигналы.

SSIBILITIES OF USING THE ALLAN VARIATION METHOD IN THE ANALYSIS OF QUASI-STATIONARY MICROSEISMIC NOISE

Abaturov M.A.

Andreev V.N.

The paper considers the statistical method of Allan variation, well-known in precision metrology. Using the example of microseismic background noise analysis, it is shown that the Allan variation method can be successfully applied to the analysis of random noise signals. By analyzing the course of the curve on the Allan variation diagram, the process of statistical accumulation of data with a quasi-stationary random character was tracked. A sufficiently high accuracy of noise estimation, amounting to 0.005, which is extremely possible for the case under consideration, was achieved with an accumulation duration of 25 minutes, taking into account the manifestation of the non-stationarity factor. It is concluded that the method can be effectively applied in various fluctuation-noise studies.

Keywords: Allan variation, fluctuation, noise, random signals.

ВВЕДЕНИЕ

Метод вариации Аллана (ВА), как способ контроля погрешностей, был специально разработан для достижения максимально возможной точности в метрологии таких базовых эталонов, как эталоны времени и частоты [1]. Известно, что измерение именно этих фундаментальных величин позволяет достичь предельной точности порядка нескольких единиц пятнадцатого знака. Достижение таких сверхпрецизионных результатов возможно только при тщательном анализе погрешностей и требует убедительного обоснования достоверности измерений, что и обеспечивает уникальный метод ВА. В дальнейшем, метод нашел применение также и в области навигации и гироскопии, где необходима повышенная точность измерений. Но, не смотря на такую специфическую сферу применения, метод, по существу, достаточно универсален, и может быть востребован во многих областях.

Целью настоящей работы является рассмотрение возможности метода ВА для решения не только задач по прецизионному измерению четко детерминированных сигналов, но и для задач совершенно противоположного характера, а именно, для анализа случайного, хаотического сигнала, в частности, микросейсмического шума. Микросейсмические шумовые исследования в настоящее время становятся особенно **актуальны** в связи с развитием целого ряда таких технологий как АНЧАР, ДШП, микросейсмическая эмиссионная томография, микросейсмическое зондирования, контроль вибрационно шумового фона в среде обитания. При этом, одной из основных **задач** является извлечение однозначных, достоверных результатов из анализа таких случайных шумовых сигналов.

МЕТОД

Суть метода ВА сводится к статистической обработке разбросов результатов измерений и предполагает построение диаграммы двыхвыборочной дисперсии в зависимости от длительности выборок [2]. На рис. 1 показана реальная запись сигнала микросейсмического фона длительностью более 4-х часов, что необходимо для статистической обработки. Видно, что на анализируемом интервале длительностью 250 минут сигнал имеет случайный шумовой характер, близкий к стационарному и может быть использован для статистического анализа.

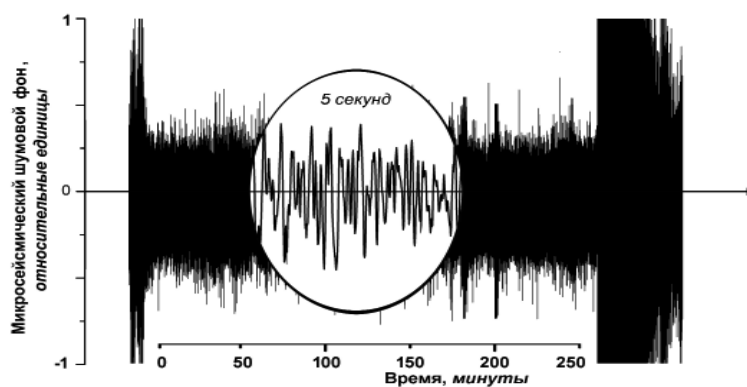


Рис. 1. Запись микросейсмического шумового фона

Для данного сигнала была построена соответствующая диаграмма ВА. Построение диаграммы проводилось по известному способу [2]. Диаграмма имеет типичный вид дуги с двумя ветвями и точкой минимума между ними.

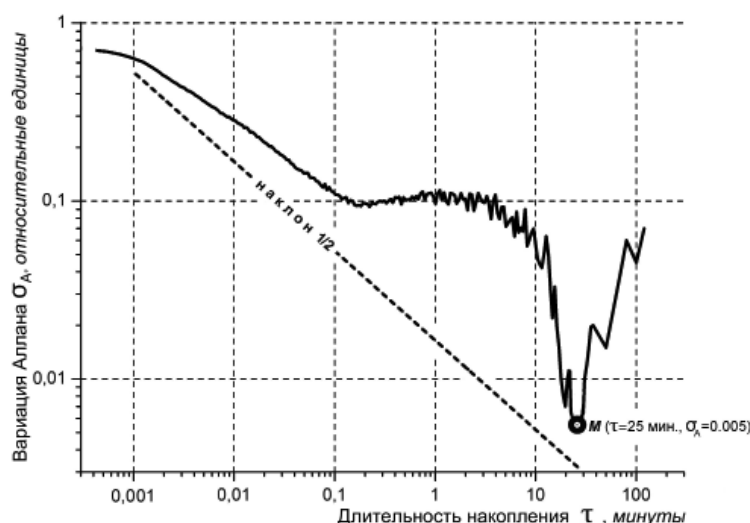


Рис. 2. Диаграмма вариации Аллана, построенная для микросейсмического шумового фона

РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Анализ временного хода этой дуги, построенной в двойных логарифмических координатах, позволяет на различных этапах выявить и идентифицировать природу возникающих ошибок. На начальном этапе измерений по мере накопления статистических данных, в соответствие со степенным законом $\frac{1}{2}$, разброс снижается, и кривая идет вниз с наклоном, близким к $\frac{1}{2}$. Начиная с определенного момента в процессе измерений начинает проявляться фактор нестациональности, присущий любому реальному эксперименту, что приводит к снижению эффективности статистического накопления данных. В результате снижение кривой замедляется, и она достигает некоего минимального значения. Далее, в ходе измерения условие стационарности полностью нарушается, система становится квазистационарной, и после момента «перелома» кривая начинает подниматься. Основным результатом такого анализа заключается в выявлении предельно возможной точности статистического накопления данных измерений с учетом фактора нестациональности. Как видно из рисунка, получаемую точность удалось довести до 0.005 отн.ед. при длительности накопления 25 минут (точка М на рис. 2), что является исключительно высоким показателем для микросейсмических измерений. И, что важно, метод ВА позволяет убедительно обосновать достоверность и корректность результата анализа случайного шумового сигнала.

ВЫВОДЫ

Показано, что применение метода ВА для анализа случайного квазистационарного микросейсмического шумового фона: 1) дает в наглядной виде четкую, исчерпывающую информацию о процессе статистического накопления результатов измерения; 2) позволяет выявить момент нарушения условий стационарности, установить предельно возможную точность измерения с учетом квазистационарности; 3) позволяет обосновать достоверность и корректность результата. Применение метода ВА может быть востребовано не только при исследовании микросейсмического фона, но и в других перспективных областях, например, при изучении флуктуационно-шумовых процессов в электрохимии и др.

Авторы выражают признательность А.Е. Кременецкому («НТК АНЧАР») за аппаратное обеспечение при проведении сейсмических измерений, а также профессору д.х.н. Б.М. Графову за ценные замечания при обсуждении результатов работы.

Работа выполнена в соответствии с Госзаданием и при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Синая Т.Н.* Статистическая интерпретация вариации Аллана как характеристики измерительных и навигационных устройств. // Гироскопия и навигация. 2020, № 1, с. 3–18. DOI: 10.17285/0869–7035.0027.
2. *Абатуров М.А.* Способ определения предельной точности оценки микросейсмического квазистационарного шумового фона. // Изобретение RU (11) 2 759 974(13) С.