

# Использование вариации Аллана при обработке измеренных величин параметров рудничной атмосферы и параметров метановоздушной смеси дегазационной системы угольной шахты

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-7-39-44>

*В настоящее время для анализа параметров измерений используется регрессивный метод. Тренды изменения параметров характеризуются линейными, степенными и периодическими функциями, но при таком анализе точность и достоверность прогноза мала, а вероятность ошибки велика. В приборостроении используется наиболее точный метод вариации Аллана, который позволяет выявить тип возникающих стохастических процессов и может быть использован для эмпирической оценки рассеивания (дисперсии) при исследовании параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты. В этом случае представляется возможным выявить вид стохастического процесса, а также учесть его влияние по отклонению моментов проведения измерений и по самим измерениям. Сопоставление процессов, влияющих на измеренные временные ряды параметров, характеризующих массоперенос метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты, в работах отечественных и зарубежных исследований не производилось.*

**Ключевые слова:** регрессионный анализ рядов измерений, дегазационные установки и сети, достоверность прогноза, точность измерений, метановоздушная смесь, стохастические процессы, вариация Аллана, эмпирическая оценка рассеивания.

**Для цитирования:** Использование вариации Аллана при обработке измеренных величин параметров рудничной атмосферы и параметров метановоздушной смеси дегазационной системы угольной шахты / В.Н. Захаров, С.С. Кубрин, О.В. Тайлаков и др. // Уголь. 2021. № 7. С. 39-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-39-44.

## ВВЕДЕНИЕ

Для анализа полученных временных рядов измерений наиболее часто используется регрессионный анализ, позволяющий оценить влияние одной независимой величины (в данном контексте – рассматриваемых процессов

во времени) на некоторую зависимую переменную параметров, характеризующих работу подсистемы контроля и управления дегазационными установками и подземной дегазационной сетью угольной шахты. Построенные регрессионные модели (линейные и нелинейные) позволя-

## ЗАХАРОВ В.Н.

Доктор техн. наук,  
профессор, чл.-корр. РАН,  
директор ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: dir\_ipkonran@mail.ru

## КУБРИН С.С.

Доктор техн. наук, профессор,  
заведующий лабораторией ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: kubrin\_s@ipkonran.ru

## ТАЙЛАКОВ О.В.

Доктор техн. наук, профессор,  
генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

## СОБОЛЕВ В.В.

Доктор техн. наук,  
заместитель генерального директора  
АО «НЦ ВостНИИ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: Sobolev567@gmail.com

ют предвидеть (предсказать) грядущие изменения величины контролируемого параметра, т.е. построить так называемые тренды их изменений. Полученные тренды можно описать различными математическими зависимостями. В основном тренды изменения параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты характеризуются линейными, степенными и периодическими функциями. Анализ полученной зависимости тренда параметра позволяет заблаговременно выявить неблагоприятные тенденции его изменения и предотвратить или снизить связанные с этим изменением неблагоприятные события или процессы и тем самым предотвратить возникновение инцидентов и аварийных происшествий [1]. К сожалению, прогнозный горизонт (максимально возможный период упреждения прогноза с требуемой точностью изменения величины прогнозируемого параметра) мал. Соответственно точность и достоверность прогноза малы, а ошибка прогноза, наоборот, велика.

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Сегодня при анализе временных рядов параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты не производится анализ характера или, точнее, причин, определяющих изменения параметров. В первом приближении считается, что изменения появляются вследствие неизвестных случайных стохастических процессов и, следовательно, знание их (прогнозируемых параметров) на следующем интервале времени можно оценить только на основе общих вероятностных оценок, полученных до прогнозного периода. При этом для определения этих вероятностных оценок желательно исключить ошибки и погрешности, вносимые измерениями. Структура и характер ошибок и погрешностей, появляющихся в каналах измерения вследствие случайных стохастических процессов, оказывают существенное влияние на достоверность оценки самой измеряемой величины. Классические методы исследования с целью определения параметров случайных процессов (выборочная дисперсия, спектральная плотность) не всегда позволяют идентифицировать вид этих стохастических процессов и их количественный вклад в конечный результат. При исследовании параметров метановоздушной смеси при дегазации первоначально принимается, что параметры этой метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты независимы. На самом деле это не так. При повышении концентрации одного газа концентрации других газов изменяются, увеличение разряжения ведет к увеличению объемов и падению концентрации метана и т.д. Таким образом, наблюдаются несколько характеристик сложного стохастического процесса, являющегося, по сути, массопереносом с частичным извлечением и последующим смешиванием (разбавлением) метаном газовой смеси в дегазационной системе угольной шахты.

Для решения подобных задач в приборостроении используется метод вариации Аллана (Allan Variance) [2]. Перспективность его применения при анализе временных рядов параметров рудничной атмосферы или параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе уголь-

ной шахты обосновывается тем, что он позволяет выявить тип возникающих стохастических процессов.

При обработке полученных временных рядов изменения параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты используется некоторое среднее значение – математическое ожидание  $M(X)$  вектора  $X$  временного ряда. Математическое ожидание параметра или параметра метановоздушной смеси ( $x$ ) в дегазационной системе угольной шахты – это есть взвешенное по плотности распределение  $f(x)$  на интервале его возможного изменения  $[a, b]$ :

$$M(X) = \int_a^b xf(x)dx. \tag{1}$$

Мерой оценки разброса значений параметра метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты относительно величины ее математического ожидания является дисперсия:

$$D(X) = \int_a^b (x - M(X))^2 f(x)dx. \tag{2}$$

К сожалению, функция плотности  $f(x)$  распределения параметра метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты неизвестна. Тогда предполагается, что функция плотности распределения равномерная, и для нахождения математического ожидания дисперсии используют следующие формулы:

$$M(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i. \tag{3}$$

$$D(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (M(X) - x_i)^2. \tag{4}$$

Для того чтобы оценить теоретическую дисперсию распределения, используют несмещенную (исправленную) дисперсию распределения параметра:

$$D(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (M(X) - x_i)^2. \tag{5}$$

Кроме этого, возможна оценка дисперсии на основе последовательных разностей измеренных значений параметра:

$$D(X) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{k=2}^{k=n} (x_k - x_{k-1})^2. \tag{6}$$

Сам случайный процесс изменения параметра метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты оценивается с помощью дисперсии  $DX(t)$  и корреляционной функции (связи):

$$R(s, t) = M \{ [X(s) - MX(x)][X(t) - MX(t)] \} \tag{7}$$

В настоящее время наиболее развиты методы оценки дисперсии и корреляционной функции стационарных процессов изменения параметра метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты [3, 4, 5]. В стационарных процессах дисперсия процесса постоянна ( $DX(t) = const$ ), тогда корреляционная функция зависит только от продолжительности прогноза, то есть от разности моментов времени:

$$R(s, t) = R_0(s - t). \tag{8}$$

Для нестационарных процессов изменения параметра метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты такие оценки не годятся. В этом случае при исследовании нестационарного процесса изменения значения параметра необходимо использовать другие оценки. К такой оценке относится вариация Аллана, использующая разности средних значений величины измеряемого параметра (математических ожиданий) происходящего процесса [6]. Эти разности определяют на последовательных интервалах времени проведенных измерений [7, 8]:

$$\sigma_a^2(\tau) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{k=2}^{k=n} (x_k(\tau) - x_{k-1}(\tau))^2, \quad (9)$$

где  $x_k(\tau)$ ,  $k = 1 \dots n$  – средние значения параметра процесса на интервалах  $I_k$  продолжительностью  $\tau$ :

$$I_k = [t_0 + (k-1)\tau, t_0 + k\tau] \quad (10)$$

Описанный метод разделения данных на группы проиллюстрирован на рис. 1. При этом градация групп от одной к другой выбирается кратной логарифму по основанию, совпадающему с длиной элементарной группы величин измеренных параметров временного ряда. На практике используют элементарные длины групп в две или в десять измеренных величин параметров временного ряда, чтобы в дальнейшем использовать логарифмы по основанию два или десять. Натуральные логарифмы для вычисления эмпирических вариаций Аллана не подходят потому, что число Эйлера ( $e = 2,718\dots$ ) нецелочисленное.

В этом случае вариация Аллана является эмпирической оценкой рассеивания (дисперсии) при исследовании параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты, позволяющей выявить вид стохастического процесса и учесть его влияние на отклонения моментов проведения измерений и на сами измерения.

В общем случае стохастические процессы, описывающие измерения параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты – спектральные плотности, вследствие влияния случайных стохастических процессов на измерения параметров имеют вид:

$$S(\omega) = c/\omega, \quad (11)$$

где  $c$  – некоторая постоянная. В этом случае, как показано в работе [9], классическая оценка с помощью дисперсии невозможна. Таким образом, вариация Аллана, имеющая более общий вид, чем дисперсия, применяется в областях, где классические оценки дисперсии неприменимы. Легко видеть, что вариация Аллана в некотором смысле является обобщением классической дисперсии.

Для целей анализа процессов, связанных с массопереносом метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты, вариации Аллана следует применять прежде всего, во-первых, в качестве альтернативной оценки дисперсии, во-вторых, как аппарат для выделения из измеренных величин параметров, характеризующих некоторые нестационарные процессы. Первый вариант уже давно используется в математической статистике. Следует отметить, что несмещенная оценка дисперсии является частным случаем вариации Аллана. Она используется при проверке гипотез, например, в критерии Аббе (проверка гипотезы о постоянном среднем или наличии постоянного приращения), также при проверке гипотезы наличия или отсутствия некоррелированных случайных приращений. С помощью вариации Аллана легко исключить систематическую погрешность [10, 11] при оценке дисперсии временного ряда, при этом для некоррелированных данных оценка дисперсии будет несмещенной [12]. Вариация Аллана полезна для определения интервала осреднения измеренных величин параметра.

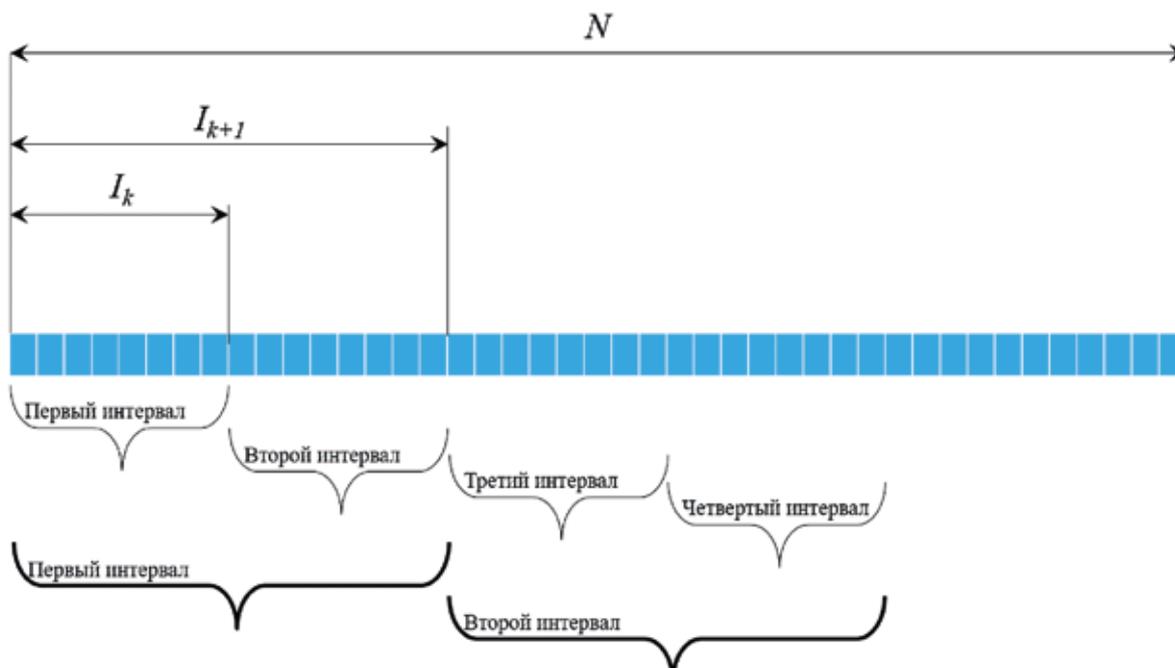


Рис. 1. Схема формирования структур данных для вычисления вариации Аллана

Математический аппарат вариации Аллана при анализе процессов, по измеренным временным рядам параметров, характеризующих массоперенос метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты, необходимо использовать для декомпозиции стохастического процесса на ряд составляющих в следующей последовательности. Первоначально необходимо произвести разложение исследуемого процесса на некоторые типичные составляющие с известными корреляционными функциями. Для этого можно использовать описания в полиномиальном виде квазидетерминированных процессов. Далее, произвести исследование поведения вариации Аллана полученных типичных составляющих в зависимости от продолжительности отрезков времени  $t$ . Произвести анализ полученной вариации Аллана по обработке экспериментальных данных параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты с выявления типичных, наиболее значимых стохастических процессов и определения их математических параметров. И, наконец, применение полученных видов типичных стохастических процессов во временных рядах параметров с целью прогнозирования и текущей оценки риска инцидентов и аварийных происшествий [13, 14, 15, 16, 17].

Важным вопросом остается выбор типичных стохастических процессов, присутствующих во временных рядах наблюдаемых параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты. В целом изменение параметров метановоздушной смеси представляет собой последовательность случайных процессов, то есть это стохастический процесс, описываемый броуновским движением (Винеровский процесс). Так как все первичные преобразователи датчиков представляют собой некоторые аналоговые электронные устройства, то для учета и последующего анализа погрешностей, возникающих вследствие неоднородности проводящей среды систем мониторинга, необходимо учитывать возникающий в системе, осуществляющей мониторинг параметров дегазационной системы, стохастический процесс, называемый «розовым шумом» – фликкер-шум. Для учета влияния внешних помех от различных электрических машин и механизмов, расположенных в угольных шахтах, требуется учитывать процессы, результат которых проявляется в виде случайной стационарной помехи, то есть стохастический процесс, называемый «белым шумом». Для этих трех типовых стохастических процессов должны быть вычислены их математические ожидания вариации Аллана  $M\sigma_a^2(\tau)$  как функции выбранных временных отрезков  $\tau$  и параметры каждого процесса. Кроме этого, вычисляются эмпирические (по наблюдаемым временным рядам) оценки вариации Аллана по формуле (9). В качестве типовых процессов следует использовать стационарные Марковские процессы. Для всех стационарных процессов со спектральной плотностью  $S(\omega)$  для теоретического определения вариации Аллана справедлива формула:

$$M\sigma_a^2(\tau) = \frac{4}{\pi} \int S(\omega) \frac{[\sin \frac{\omega\tau}{2}]^2}{(\omega\tau)^2} d\omega. \quad (12)$$

Следует отметить, что вариация Аллана не является монотонной (все время либо не убывающей, либо все время не возрастающей) функцией от выбранных временных отрезков  $\tau$  для многих теоретически описанных стационарных процессов. Поэтому для идентификации эмпирически определенной вариации Аллана с одним из таких стационарных стохастических процессов требуются дополнительные исследования. Следует отметить, что сопоставление процессов, влияющих на измеренные временные ряды параметров, характеризующих массоперенос метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты, в работах отечественных и зарубежных исследователей, не производилось. Это по всей видимости, связано со специфичностью математического аппарата вариации Аллана, так как этот аппарат получил развитие в основном в области точного приборостроения и еще не нашел распространения в науках, связанных с горным делом. Обычно исследуемые погрешности измерений [2] представляют в виде разложения на типовые составляющие:

$$x(\tau) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) + x_4(t) + x_5(t), \quad (13)$$

где  $x_1(t)$  – дрейф показаний, прямо пропорциональный времени (линейный);  $x_2(t)$  – случайное блуждание измеряемого параметра;  $x_3(t)$  – нестабильность нуля прибора измерения;  $x_4(t)$  – случайное блуждание временного интервала измерений;  $x_5(t)$  – шумы, связанные с квантованием выходного сигнала, вызванные разбиением диапазона отсчетных значений сигнала на конечное число уровней и округлением этих значений до одного из двух ближайших к ним уровней.

Всем перечисленным типовым составляющим [2] соответствуют определенные стохастические модели. Набор типовых моделей стохастических процессов (см. таблицу) достаточно полно отражает стохастические процессы, актуальные для практических задач прогнозирования и оценки рисков на основе анализа изменения параметров метановоздушной смеси в дегазационных трубопроводах угольных шахт. Теоретическое разложение вариации Аллана  $M\sigma_a^2(\tau)$  представляется в виде суммы математических ожиданий каждого стохастического процесса:

$$M\sigma_a^2(\tau) = \sum M\sigma_{ai}^2(\tau) = \frac{R^2\tau^2}{2} + \frac{K^2\tau}{3} + \frac{B^2 2 \ln 2}{\pi} + \frac{N^2}{\tau} + \frac{3Q^2}{\tau^2}. \quad (14)$$

Такое разложение вариации Аллана на типовые стохастические процессы является стандартным [2], и для наглядности выражение приводится в графическом виде (рис. 2). Оси берутся в логарифмическом масштабе. Ось абсцисс представляет временные интервалы  $\tau$ , а ось ординат – квадратный корень вариации Аллана –  $\sqrt{\sigma_a^2(\tau)}$  [2].

В целом интерпретация полученных результатов использования вариации Аллана  $\sigma_a^2(\tau)$  при анализе временных рядов измеренных величин параметров метановоздушной смеси в дегазационной системе угольной шахты еще не производилась.

**Модели основных типовых стохастических процессов, влияющих на величины временных рядов и соответствующие теоретические модели**

Обозначение	Наименование стохастического процесса	Модель стохастического процесса	Математическое ожидание вариации Аллана $M\sigma_a^2(\tau)$
$x_1(t)$	Линейный дрейф	$x_1(t) = Rt$	$\frac{R^2 \tau^2}{2}$
$x_2(t)$	Случайное блуждание первого измеряемого параметра или параметра и его производного	Винеровский стохастический процесс с корреляционной функцией $R(s, t) = K^2 \min(s, t)$	$\frac{K^2 \tau}{3}$
$x_3(t)$	Нестабильность нуля датчика	Фликкер-шум со спектральной плотностью $S(\omega) = B/\omega$	$\frac{B^2 2 \ln 2}{\pi}$
$x_4(t)$	Случайное блуждание временного интервала измерений	Белый шум со спектральной плотностью $S(\omega) = N$	$\frac{N^2}{\tau}$
$x_5(t)$	Шумы, связанные с квантованием выходного сигнала	Шум квантования с параметрами масштаба $Q$	$\frac{3Q^2}{\tau^2}$

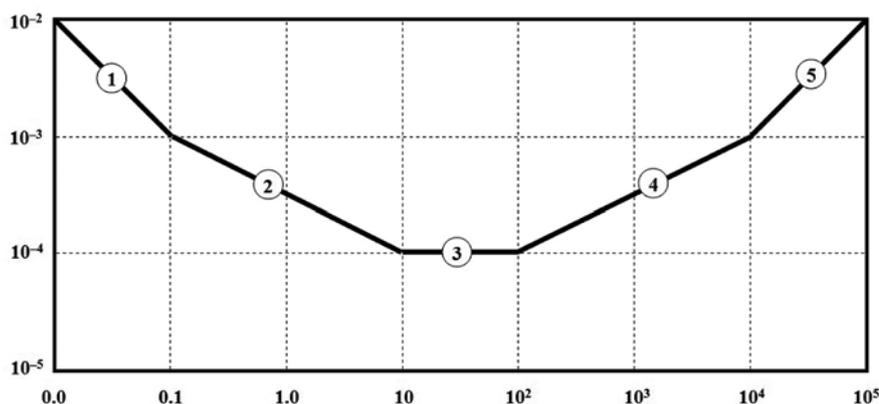


Рис. 2. Графики вариаций Аллана (в логарифмическом масштабе) для типовых стохастических процессов, влияющих на временные ряды измеренных величин параметров: 1 – шумы, связанные с квантованием выходного сигнала; 2 – белый шум; 3 – фликкер-шум; 4 – Винеровский процесс; 5 – линейный дрейф

**Выводы**

В данной статье приводятся результаты анализа временных рядов с целью выявления составляющих процесса. Проведенный анализ не претендует на строгость и четкость, но используемый метод дает хорошую качественную картину протекания процесса. Строго говоря, метод вариации Аллана следует относить к предварительным этапам статистического анализа. Для получения более основательных и подтвержденных результатов необходимо привлекать информацию, учитывающую специфику вопросов массопереноса метановоздушной смеси. Таких данных и накопленного опыта анализа данных по влиянию различных стохастических процессов (Винеровский процесс, фликкер-шум, белый шум и другое) на формирование временных рядов измеренных величин параметров метановоздушной смеси на сегодняшний день нет.

**Список литературы**

- Glyn Jones. Trolex Group. Cost and Complexity vs Health and Safety // American coal. January/February 2019. Vol. 28. N 1. P. 22–25.
- IEEE Std 1554-2005 IEEE recommended practice for inertial sensor test equipment, instrumentation, data acquisition, and analysis. [Электронный ресурс]. URL: IEEE 1554-2005 (techstreet.com) (дата обращения: 15.06.2021).

- Кramer Г., Лидбеттер М. Стационарные случайные процессы. М.: Мир, 1969.
- Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 464 с.
- Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
- Аллан Д.У. Вариации Аллана: история создания, преимущества и недостатки, основные области применения / XXII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2015.
- Allan D.W. Statistics of atomic frequency standards // Proceedings of the IEEE. 1966. Vol. 54. N 2. P. 221.
- Barnes J.A., Allan D.W. A Statistical model of Flicker noise // Proceedings of the IEEE. 1966. Vol. 54. N 2.
- Barnes J.A. Atomic timekeeping and statistics of precision signal generators // Proceedings of the IEEE. 1966. Vol. 54. N 2.
- Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М.: Физматгиз, 1962.
- Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике. М.: Наука, 1977.
- Аллан Д.У. Вариации Аллана: история создания, преимущества и недостатки, основные области применения // Гирскопия и навигация. 2015. № 4(91).

13. Mitri, Hani S. Special issue on advances in mine safety science & engineering // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27. P. 589–590.

14. Hani S., Mitri, Beisheng Nie. Special issue on recent advances in mine safety // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29. P. 527.

15. Li S., Sari Y.A., Kumral M. New approaches to cognitive work analysis through latent variable modeling in mining operations // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29. P. 549–556.

16. Управление рисками при подземной добыче угля / К.Н. Копылов, И.М. Загоршменный, С.С. Кубрин и др. // *Уголь*. 2016. № 7. С. 39–43. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-39-43.

17. Кубрин С.С., Мещеряков Д.А. Система контроля и мониторинга объема газа метана и его концентрации в погашенных пространствах и техногенных коллекторах // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. Специальный выпуск № 1. Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2017». С. 424–439.

#### Original Paper

UDC 622.41:622.412:622.817.47 © V.N. Zakharov, S.S. Kubrin, O.V. Tailakov, V.V. Sobolev, 2021  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 7, pp. 39-44  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-7-39-44>

#### Title

**USE OF ALLAN VARIATION IN PROCESSING OF MEASURED VALUES OF PARAMETERS OF MINE ATMOSPHERE AND PARAMETERS OF METHANE-AIR MIXTURE OF COAL MINE DEGASSING SYSTEM**

#### Authors

Zakharov V.N.<sup>1</sup>, Kubrin S.S.<sup>1</sup>, Tailakov O.V.<sup>2</sup>, Sobolev V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (IPKON RAN), Moscow, 111020, Russian Federation

<sup>2</sup>Scientific Centre "VostNII" for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry" JSC, Kemerovo, 650000, Russian Federation

#### Authors Information

**Zakharov V.N.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAS, Director, e-mail: [dir\\_ipkonran@mail.ru](mailto:dir_ipkonran@mail.ru)

**Kubrin S.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the laboratory, e-mail: [kubrin\\_s@ipkonran.ru](mailto:kubrin_s@ipkonran.ru)

**Tailakov O.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, e-mail: [tailakov@nc-vostnii.ru](mailto:tailakov@nc-vostnii.ru)

**Sobolev V.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Deputy General Director, e-mail: [Sobolev567@gmail.com](mailto:Sobolev567@gmail.com)

#### Abstract

Currently, a regressive method is used to analyze the parameters of measurements. Trends of parameters change are characterized by linear, power and periodic functions, but with such analysis the accuracy and reliability of the forecast is small, and the probability of error is high. Instrumentation uses the most accurate Allan variation method, which allows you to identify the type of stochastic processes that arise and is an empirical assessment of dispersion (dispersion) when studying the parameters of the methane-air mixture in the degassing system of the coal mine and allows you to identify the type of stochastic process, as well as take into account its influence on the deviation of measurement moments and on the measurements themselves. Comparison of processes affecting the measured time series of parameters characterizing the mass transfer of methane-air mixture in the degassing system of the coal mine was not carried out in the works of domestic and foreign researchers.

#### Keywords

Regressive analysis of series of measurements, Degassing plants and networks, Forecast reliability, Measurement accuracy, Methane-air mixture, Stochastic processes, Allan variation, Empirical estimation of dispersion.

#### References

- Glyn Jones. Trolex Group. Cost and Complexity vs Health and Safety. *American coal*, January/February 2019, Vol. 28(1), pp. 22–25.
- IEEE Std 1554-2005 IEEE recommended practice for inertial sensor test equipment, instrumentation, data acquisition, and analysis. [Electronic resource]. Available at: [IEEE 1554-2005 \(techstreet.com\)](http://www.techstreet.com) (accessed 15.06.2021).
- Cramer H., Leadbetter M. R. *Stationary and Related Stochastic Processes*. Moscow, Mir Publ., 1969. (In Russ.).
- Sveshnikov A.A. *Applied methods of the theory of random functions*. Moscow, Nauka Publ., 1968, 464 p. (In Russ.).
- Yaglom A.M. *Correlational theory of stationary random functions*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1981. (In Russ.).

6. Allan D.W. Allan variations: history of creation, advantages and disadvantages, main applications / XXII St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, State Research Centre of the Russian Federation, Concern CSRI Elektropribor, JSC, 2015. (In Russ.).

7. Allan D.W. Statistics of atomic frequency standards. *Proceedings of the IEEE*, 1966, Vol. 54(2), pp. 221.

8. Barnes J.A. & Allan D.W. A Statistical model of Flicker noise. *Proceedings of the IEEE*, 1966, Vol. 54(2).

9. Barnes J.A. Atomic timekeeping and statistics of precision signal generators. *Proceedings of the IEEE*, 1966, Vol. 54(2).

10. Linnik Yu.V. *Least Squares Method and Bases of Observational Processing Theory*. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. (In Russ.).

11. Brownlee K.A. *Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering*. Moscow, Nauka Publ., 1977.

12. Allan D.W. Allan variations: history of creation, advantages and disadvantages, main applications. *Girokopiya i navigatsiya*, 2015, No. 4(91). (In Russ.).

13. Mitri, Hani S. Special issue on advances in mine safety science & engineering. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2017, (27), pp. 589–590.

14. Hani S., Mitri, Beisheng Nie. Special issue on recent advances in mine safety. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, (29), pp. 527.

15. Li S., Sari Y.A. & Kumral M. New approaches to cognitive work analysis through latent variable modeling in mining operations. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2019, (29), pp. 549–556.

16. Kopylov K.N., Zakorshmennyi I.M., Kubrin S.S. & Korchak A.V. Risk management during underground coal production. *Ugol'*, 2016, (7), pp. 39–43. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-39-43.

17. Kubrin S.S. & Mescheryakov D.A. System of control and monitoring of methane gas volume and concentration in filled workings and man-made collectors. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2017, Special Issue No.1, Proceedings of the Miner's Week 2017 International Scientific Symposium, pp. 424–439. (In Russ.).

#### For citation

Zakharov V.N., Kubrin S.S., Tailakov O.V. & Sobolev V.V. Use of Allan variation in processing of measured values of parameters of mine atmosphere and parameters of methane-air mixture of coal mine degassing system. *Ugol'*, 2021, (7), pp. 39–44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-39-44.

#### Paper info

Received April 15, 2021

Reviewed May 26, 2021

Accepted June 15, 2021

#### SAFETY