

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.13.3.005

УДК 622.831.322

© Ю.А. Диюк, А.В. Шадрин, 2019

Ю.А. ДИЮК

аспирант

Институт угля ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН,
г. Кемерово

e-mail: juliabireva@gmail.com



А.В. ШАДРИН

д-р техн. наук,

главный научный сотрудник

Институт угля ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН,
г. Кемерово

e-mail: avsh-357@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ПОМЕХ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛЬ ВЫБРОСООПАСНОСТИ СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Излагается методика определения основных параметров цифровой обработки акустических сигналов: частоты дискретизации и длины экспериментальных выборок, чтобы обеспечить в заданных пределах погрешность определения показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности. В качестве зондирующего призабойное пространство горных выработок акустического сигнала используется «шум» исполнительного органа работающего горного оборудования, на который накладываются помехи различной амплитуды и спектрального состава.

Ключевые слова: ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ, СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД, ПОГРЕШНОСТЬ ПРОГНОЗА, ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА, ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ, ДЛИНА ВЫБОРКИ.

Введение

В соответствии с Федеральными нормами и правилами безопасности в области угольной промышленности в последние годы в России разрабатываются и оснащаются угольные предприятия десятками многофункциональных систем безопасности (МФСБ), предназ-

наченных для уменьшения риска возникновения аварийных ситуаций при проведении подземных работ [1]. В их число входят и системы геодинамического контроля для прогноза газодинамических явлений: горных ударов, внезапных выбросов угля и газа и им подобных явлений. Со значительными достижениями в сфере информационных техноло-

гий разработка таких систем стала возможна благодаря электронным приборам с малым потреблением мощности при обработке информации, что позволяет создавать оборудование в искрозащищенном исполнении.

В настоящее время обработка аналоговых сигналов с использованием цифровых преобразований все шире используется для решения множества задач на угольных предприятиях и в других областях науки и техники, в которых прежде доминировали аналоговые системы. Одной из таких задач является текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов. Для ее решения применяются геофизические методы, в частности на угольных шахтах России наибольшее применение находят микросейсмический (или «...по акустической эмиссии»), спектрально-акустический (или «...по параметрам искусственного акустического сигнала») [2]. Геофизические методы прогноза выбросоопасности широко применяются также на шахтах Китая, Австралии, США и других государств [3–5].

Достоверность прогноза помимо качества обоснования используемого алгоритма расчета критерия выбросоопасности существенно зависит от выбора параметров цифровой обработки сигнала (ЦОС). Основным из этих параметров помимо частоты дискретизации является длина экспериментальных выборок. Между тем в руководствах по применению оборудования для прогноза выбросоопасности этот параметр чаще всего не указывают, по-видимому, считая его второстепенным [6, 7]. И поскольку увеличение этого параметра ведет к увеличению продолжительности расчета микропроцессором показателя выбросоопасности, его стараются ограничить величиной 512 отсчетов без достаточного обоснования.

Цель данной работы: обосновать методику определения основных параметров цифровой обработки акустических сигналов в условиях помех, обеспечивающих в заданных пределах погрешность определения показателя выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза выбросоопасности.

Влияние параметров ЦОС на погрешность определения показателя выбросоопасности

Преимущества цифровых систем обусловлены рядом факторов. Прежде всего это фактор качества. Качество цифровой обработки сигнала зависит от параметров преобразования аналогового сигнала, снимаемого с датчика, в цифровую форму. К этим параметрам относятся частота дискретизации и длина экспериментальных выборок (блоков, разбивающих отсчеты измеряемого сигнала), с которыми проводится быстрое преобразование Фурье (БПФ) для определения спектрального состава сигнала [8, 9].

В соответствии с теоремой отсчетов Котельникова В.А. [10] частота дискретизации аналогового сигнала должна превышать верхнее значение частоты спектра преобразуемого сигнала не менее чем в два раза:

$$f_{\partial} \geq 2f_{\epsilon}, \quad (1)$$

где f_{∂} — частота дискретизации; f_{ϵ} — верхняя (максимальная) частота в спектре оцифровываемого сигнала.

Во всех известных многофункциональных системах безопасности угольных шахт это правило используется, и в технических характеристиках частота дискретизации обязательно указывается.

Из (1) видно, что чем выше частота дискретизации, тем более широкополосный сигнал сохранит свой спектр после восстановления оцифрованного сигнала. Однако при этом возрастает количество отсчетов, что требует увеличения памяти для их хранения и дополнительного времени на обработку.

Второй важный параметр — длина экспериментальных выборок N — определяет разрешение по частоте Δf в спектре восстановленного после БПФ оцифрованного сигнала в соответствии с выражением [11]:

$$\Delta f = \frac{f_{\partial}}{N}. \quad (2)$$

Из (2) видно: чем длиннее экспериментальные выборки, тем выше разрешение по частоте сигнала после БПФ, что снижает по-

грешность восстановления исходного сигнала после его цифровой обработки. Однако с увеличением длины выборки растет и число вычислений M процедуры БПФ в соответствии с выражением [11]:

$$M = (N/2) \cdot \log_2(N). \quad (3)$$

Выбор параметров f_0 и N определяется:

1. Параметрами входного сигнала системы и помех, которые могут наводиться на токопроводящие линии, соединяющие датчики с устройствами обработки входного сигнала (спектральным составом, амплитудой).

2. Алгоритмом обработки входного сигнала.

3. Сложностью устройства для его обработки, зависящей от допустимого им электропотребления, которое, в свою очередь, определяется требованиями искрозащиты при использовании оборудования в шахтах, опасных по внезапным выбросам.

4. Допустимой погрешностью определения искомой величины.

При прогнозе выбросоопасности спектрально-акустическим методом входным полезным сигналом является акустический, генерируемый в контролируемую зону угольного пласта режущим органом работающего горного оборудования (комбайна, струга, буровой коронки, отбойного молотка). Частотный спектр этого сигнала лежит в пределах от нескольких герц до нескольких килогерц, в зависимости от структуры горного массива, напряженного состояния пласта, состояния между источником и приемником звука и ряда других параметров. Он может быть ограничен сверху и снизу рабочим диапазоном приемника акустических сигналов, например, геофона. При использовании такого приемника, например, СВ-20, диапазон регистрируемых частот составляет примерно 10 Гц–1,5 кГц. При использовании пьезоэлектрического преобразователя частотный диапазон может быть значительно шире. Поэтому в исследованиях мы использовали значения f_0 , равные 4; 8 и 12 кГц. При этих значениях удовлетворяется условие (1) для полезного сигнала, а также обеспечивается исключение «эффекта наложения спектра»

при наличии помех, частота которых лежит выше частоты полезного сигнала, но не выше половины частоты дискретизации. Расчеты амплитуд спектральных составляющих проводили для длин выборки N , равных 64; 128; 256; 512; 1024; 2048 и 4096 отсчетов.

Источником акустических помех могут быть работающие в радиусе чувствительности приемника акустических сигналов горные машины. Помимо акустических помех на приемный тракт устройства прогноза газодинамических явлений могут воздействовать электромагнитные помехи, генерируемые силовыми электрическими установками. Причем непрерывно работающие установки могут генерировать непрерывные помехи, а в моменты включения-выключения мощных силовых установок приводов конвейеров, комбайнов, вентиляторов местного проветривания и пр. могут генерироваться мощные импульсные помехи. В случае передачи сигнала от подземных устройств предварительной обработки к поверхностным блокам многофункциональных систем безопасности по свободной паре телефонного кабеля или другим токопроводящим каналам электромагнитные наводки могут иметь значительную амплитуду.

В настоящее время при прогнозе внезапных выбросов угля и газа спектрально-акустическим методом известны три основных алгоритма обработки входного сигнала. Исторически первый заключается в разбиении диапазона рабочих частот на две области: высокочастотную (ВЧ) и низкочастотную (НЧ), причем между ними существует область неиспользованных частот. Разбиение осуществляют ВЧ и НЧ фильтры. Затем измеряют амплитуды протектированных амплитудными детекторами сигналов в низкочастотной A_n и высокочастотной A_v областях и в качестве показателя выбросоопасности K используют величину, получаемую при их делении [12–14]:

$$K = A_v / A_n. \quad (4)$$

Данный алгоритм использовался в приборах с аналоговой системой обработки полезного сигнала.

Второй алгоритм обработки сигнала заключается в оцифровывании входного сигнала, определении всего спектра входного сигнала с помощью БПФ, разбиении его на две граничащие друг с другом низкочастотную и высокочастотную области, определении сумм амплитуд гармоник, входящих в высокочастотную и низкочастотную области и расчете показателя выбросоопасности путем деления суммы амплитуд спектральных составляющих высокочастотной области на сумму амплитуд гармоник низкочастотной области [15]:

$$K = \frac{\sum_i A_{в,i}}{\sum_j A_{н,j}}. \quad (5)$$

Третий алгоритм отличается от второго тем, что определяет не суммы амплитуд гармоник, а нормы сигнала в высокочастотной и низкочастотной областях спектра и показатель выбросоопасности определяет как отношение этих норм [11]:

$$K = \frac{\sqrt{\sum_i A_{в,i}^2}}{\sqrt{\sum_j A_{н,j}^2}}. \quad (6)$$

Рассмотрим влияние параметров цифровой обработки сигнала на точность определения показателя выбросоопасности при втором и третьем алгоритмах обработки входного сигнала при наличии непрерывной широкополосной помехи, амплитудой от минимальной до соизмеримой с амплитудой полезного сигнала, а также в случае наличия узкополосной помехи большой амплитуды.

Влияние на определение показателя выбросоопасности узкополосных помех, одновременно присутствующих в ВН и НЧ областях зондирующего сигнала

Методика оценки зависимости погрешности измерения показателя выбросоопасности от параметров ЦОС и параметров помех состояла в следующем. Для моделирования по-

лезного сигнала и шумов, а также выполнения необходимых расчетов, включая расчет БПФ, использовали высокоуровневый язык и интерактивную среду для программирования, численных расчетов и визуализации результатов MATLAB.

Полезный акустический сигнал, генерируемый в угольный пласт работающим горным оборудованием (пример записи такого сигнала приведен на рис. 1), моделировали широкополосным однородным сигналом с квазинепрерывным спектром, составленным из суммы гармоник, имеющих одинаковую амплитуду. Под однородностью, в данном случае, понимается равенство амплитуд и одинаковость начальной фазы всех гармоник, образующих помеху. Спектр всех моделируемых гармоник перекрывает практически весь рабочий диапазон шумов работающего горного оборудования. Области нижних и верхних частот лежат соответственно в диапазонах: 10–730 Гц — область нижних частот и 760–1480 Гц — область верхних частот, причем каждая область имеет по 25 гармоник, с разницей между соседними в 30 Гц (рис. 2).

В качестве помех использовали белый шум амплитудой 0,3; 0,5 и 0,7 В и узкополосные помехи в виде трех гармоник с частотой в 3100; 4100 и 5100 Гц, амплитудой 1 В. Эти значения частоты помехи были выбраны так, чтобы при низкой частоте дискретизации (4 кГц) требование теоремы Котельникова не выполнялось (1), а при высокой f_d ($f_d = 12$ кГц), наоборот, выполнялось бы, с тем, чтобы оценить влияние частоты дискретизации на погрешность определения показателя выбросоопасности. Также использовались узкополосные однородные помехи в виде 5, 10 и 15 гармоник с частотой от 300 Гц с шагом 10 Гц в низкочастотной области и от 1000 Гц с шагом 10 Гц в высокочастотной области амплитудой 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 В каждая.

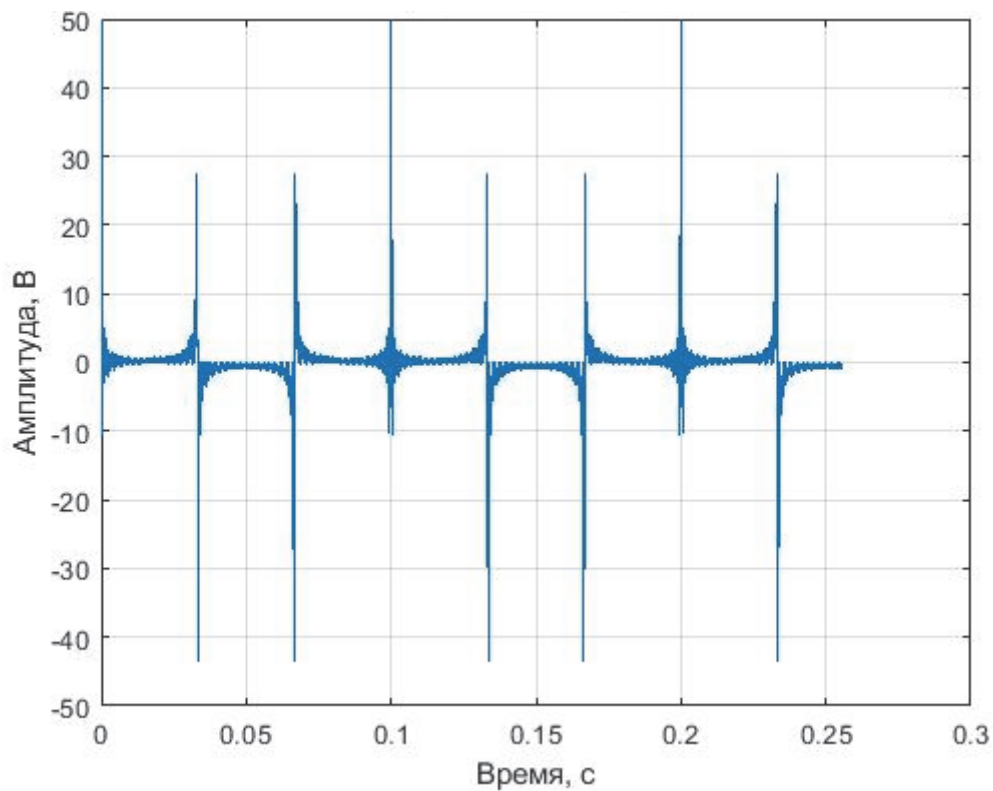


Рис. 1. Амплитудно-временная форма смоделированного зондирующего акустического сигнала, генерируемого в угольный пласт работающим горным оборудованием

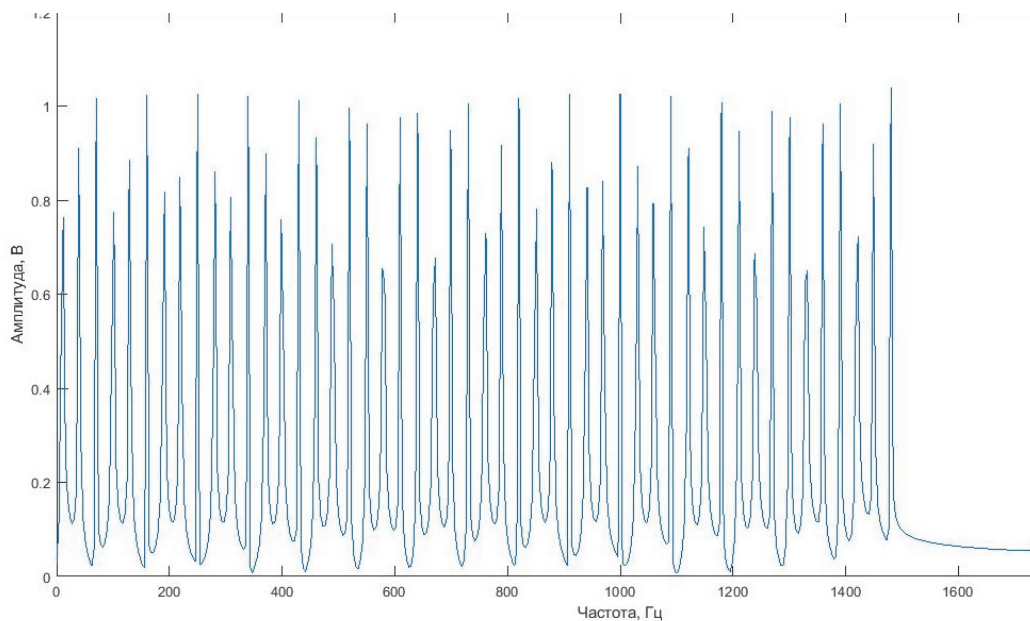


Рис. 2. Спектр смоделированного зондирующего акустического сигнала после БПФ

Предполагалось, что ошибка определения показателя выбросоопасности обусловлена отличиями спектров сигнала от исходного, появившимися в процессе оцифровывания смоделированного сигнала и БПФ с некорректным выбором параметров ЦОС и добавлением в обрабатываемый сигнал помех. Показатель выбросоопасности до ЦОС и добавления помех K_D рассчитывался по формулам (5) и (6), в которых использовались только по 25 гармоник полезного сигнала в низкочастотном и высокочастотном диапазонах. Показатель выбросоопасности после ЦОС и добавления в полезный сигнал помех K_n рассчитывался также по формулам (5) и (6), но амплитуды низкочастотных и высокочастотных гармоник рассчитывались после БПФ, выполненного над выборками оцифрованного сигнала, составленного из гармоник зондирующего (полезного) сигнала и шумов. При этом относительная погрешность опре-

деления показателя выбросоопасности ΔK рассчитывалась по формуле

$$\Delta K = \left| \frac{K_D - K_n}{K_D} \right| \cdot 100. \quad (7)$$

Ошибкой, вносимой в расчеты пакетом программ MATLAB при моделировании гармоник, моделирующих зондирующий сигнал и помехи, пренебрегали.

На рис. 3 показана зависимость относительной погрешности определения показателя выбросоопасности в соответствии с выражением (7) от частоты дискретизации и длины экспериментальной выборки для двух вариантов определения показателя выбросоопасности: в форме отношения норм сигналов и в форме отношения сумм амплитуд гармоник в высокочастотной и низкочастотной областях спектра, каждая из которых содержит по 25 гармоник амплитудой 1 В, без наложения на полезный сигнал каких-либо помех.

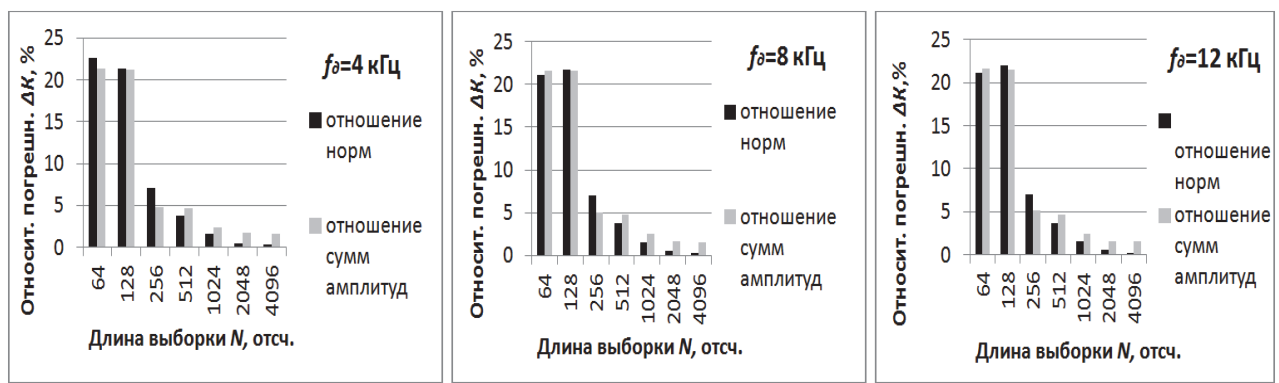


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности ΔK от длины выборки N при трех значениях частоты дискретизации: 4; 8 и 12 кГц и двух вариантах определения показателя выбросоопасности

Из данных, представленных на рисунке, следует, что в отсутствии помех относительная погрешность определения показателя выбросоопасности ΔK с ростом длины выборки N снижается. При этом для обеспечения относительной погрешности не выше 5% достаточно выбрать длину выборки $N \geq 512$ отсчетов.

Также следует и то, что увеличение частоты дискретизации в отсутствии помех при

прочих равных условиях не привело к существенному изменению относительной погрешности определения ΔK .

Из сравнения значений ΔK для двух вариантов определения показателя выбросоопасности следует, что при $N \geq 512$ отсчетов для обеспечения меньшей погрешности целесообразно проводить его расчет в форме отношения норм сигнала высокочастотной и низкочастотной частей спектра.

На рис. 4 показана зависимость относительной погрешности определения показателя выбросоопасности в соответствии с выражением (7) от частоты дискретизации и длины экспериментальной выборки для варианта определения показателя выбросоопасности в

форме отношения норм сигналов в высокочастотной и низкочастотной областях спектра, каждая из которых содержит по 25 гармоник амплитудой 1 В, при наложении на полезный сигнал помехи в форме белого шума амплитудой 0; 0,3; 0,5 и 0,7 В.

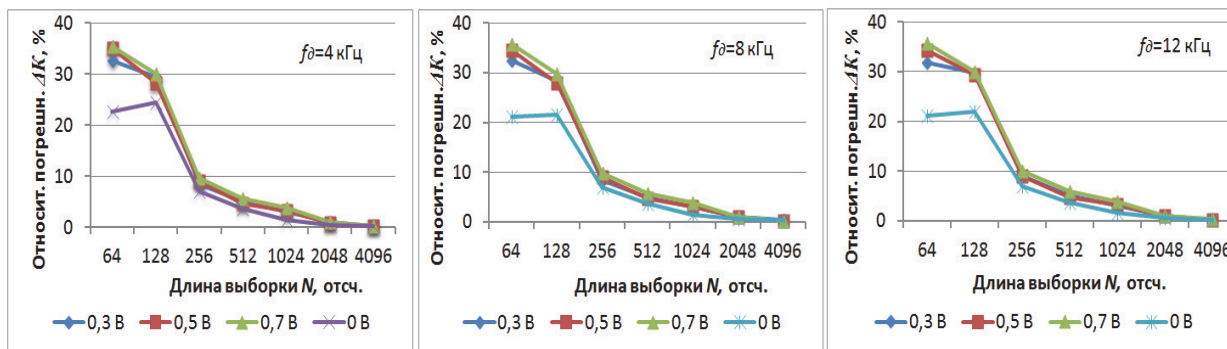


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности ΔK от длины выборки N при трех значениях частоты дискретизации: 4; 8 и 12 кГц при наложении на полезный сигнал помехи в форме белого шума амплитудой 0; 0,3; 0,5 и 0,7 В

Из данных, представленных на рисунке, следует, что с увеличением амплитуды белого шума от 0 до 0,7 В относительная погрешность определения показателя выбросоопасности при $N = 64$ отсчетов возрастает примерно на 15 %. При увеличении длины выборки до $N = 4096$ отсчетов разница в относительной погрешности определения ΔK при изменении амплитуды белого шума от 0 до 0,7 В уменьшается почти до нуля. При этом частота дискретизации на погрешность практически не повлияла.

При наложении на полезный сигнал помехи в виде белого шума относительная погрешность определения показателя выбросоопасности при длине выборки 512 отсчетов может превышать 5 %. При такой помехе относительная погрешность менее 5 % достигается при $N \geq 1024$ отсчетов.

На рис. 5 показано влияние узкополосной помехи, составленной из трех гармоник с частотами соответственно равными 3100; 4100 и 5100 Гц и амплитудой 1 В, на относительную погрешность ΔK определения показателя выбросоопасности по формуле (6).

Из данных, представленных на рисунке, следует, что при рассматриваемых параметрах полезного сигнала и набора узкополосных помех из трех гармоник максимальная относительная погрешность наблюдается при частоте дискретизации $f_\delta = 8$ кГц. Несмотря на то, что при $f_\delta = 4$ кГц, когда условие (1) не выполняется ни для одной гармоники помехи, относительная погрешность определения ΔK оказалась ниже, чем при $f_\delta = 8$ кГц. Минимальная погрешность определения ΔK отмечена при $f_\delta = 12$ кГц.

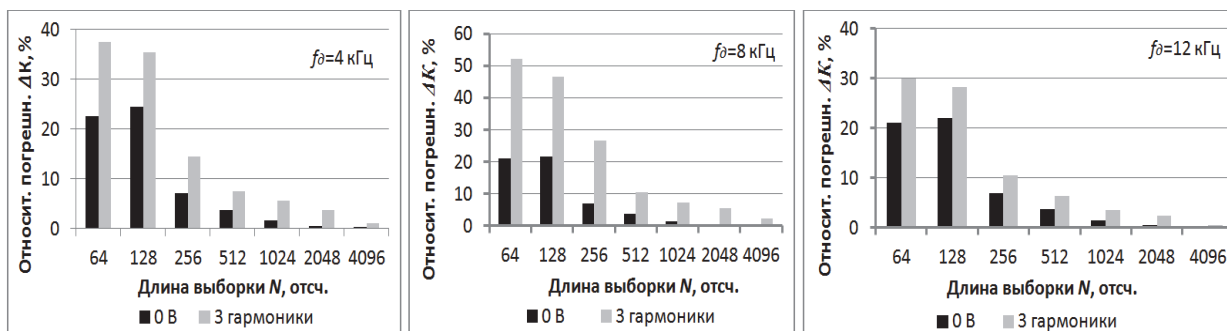


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности ΔK от длины выборки N при трех значениях частоты дискретизации: 4; 8 и 12 кГц при наложении на полезный сигнал помехи в форме трех гармоник с частотами 3100; 4100 и 5100 Гц и амплитудой 1 В

Условие $\Delta K \leq 5\%$ для этого вида помехи достигается соответственно: для $f_0 = 4$ кГц при $N \geq 2048$ отсчетов; для $f_0 = 8$ кГц при $N \geq 4096$ отсчетов; для $f_0 = 12$ кГц при $N \geq 1024$ отсчетов.

Влияние на определение показателя выбросоопасности однородных помех с разной шириной спектра, расположенных либо только в НЧ, либо только ВЧ области зондирующего сигнала

Из приведенных данных следует, что при расчете показателя выбросоопасности спектрально-акустического прогноза выбросоопасности по наиболее часто применяемой в настоящее время формуле (5) при отсутствии помех для обеспечения относительной погрешности менее 5 % достаточно выбрать частоту дискретизации $f_0 = 4$ кГц и длину выборки $N = 512$ отсчетов. При наложении на полезный сигнал помехи в виде белого шума амплитудой в 70 % от амплитуды полезного сигнала длина выборки должна быть $N \geq 1024$ отсчета, при этом частота дискретизации практически не влияет на относительную погрешность определения. При наложении на полезный сигнал узкополосных помех амплитудой, соизмеримой с амплитудой полезного сигнала, условие $\Delta K \leq 5\%$ достигается соответственно: для $f_0 = 4$ кГц при $N \geq 2048$ отсчетов; для $f_0 = 8$ кГц при $N \geq 4096$ отсчетов; для $f_0 = 12$ кГц при $N \geq 1024$ отсчетов.

Из выше сказанного следует, что для выполнения условий $\Delta K \leq 5\%$ достаточно выбрать частоту дискретизации $f_0 = 4$ кГц и длину выборки $N \geq 1024$ отсчетов.

При аналогичных параметрах ЦОС было рассмотрено влияние однородной помехи, расположенной в нижней области спектра зондирующего сигнала, на относительную погрешность ΔK (рис. 6). Рассматривались варианты ширины полосы частот помехи, составленной из 5, 10 и 15 гармоник. Для каждого варианта полосы частот помехи рассматривались подварианты с амплитудой гармоник помехи, равной соответственно в 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 В каждая. Частота первой гармоники — 300 Гц, частота последующих гармоник возрастала с шагом 10 Гц. Показатель выбросоопасности определяли по формуле (6), результаты представлены в табл. 1, исходное значение показателя выбросоопасности (до ЦОС) $K = 0,801$.

Из данных, представленных на рисунке, следует, что при рассматриваемых параметрах полезного сигнала и набора однородных, достаточно широкополосных, помех из 5, 10 и 15 гармоник с частотами от 300 Гц с шагом 10 Гц амплитудой 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 В максимальная относительная погрешность наблюдается при помехе в форме 15 гармоник амплитудой 0,7 В. Минимальная погрешность определения ΔK отмечена при наложении на полезный сигнал помехи в форме 5 гармоник амплитудой 0,1 В.

Таблица 1

Значение коэффициента выбросоопасности при условии узкополосной помехи в низкочастотной области спектра

Амплитуда, В	0,1	0,3	0,5	0,7
Кол-во гармоник, шт.	Значения коэффициента выбросоопасности			
5	0,799	0,793	0,786	0,779
10	0,797	0,786	0,774	0,760
15	0,761	0,761	0,753	0,745

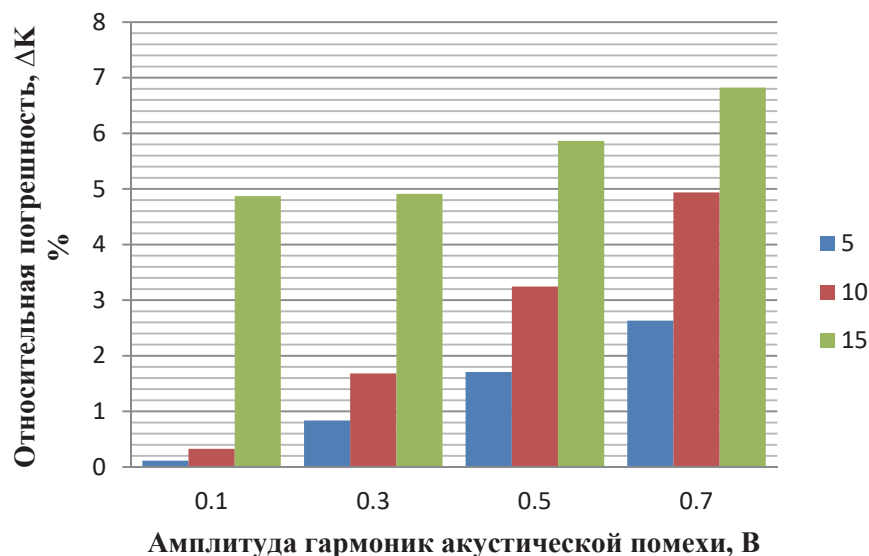


Рис. 6. Относительная погрешность ΔK при наложении на полезный сигнал однородной помехи в форме 5, 10 и 15 гармоник в нижней части спектра зондирующего сигнала

Далее было рассмотрено аналогичное влияние на относительную погрешность ΔK однородных узкополосных акустических помех в форме 5, 10 и 15 гармоник, расположенных в высокочастотной области полезного сигнала (рис. 7). Частота первой гармоники равнялась 1000 Гц, частота последующих гармоник возрастала с шагом 10 Гц. Для каждого варианта полосы частот помехи рассматривались подварианты с амплитудой гармоник помехи, равной соответственно в 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 В каждая. Показатель выбороопасности определяли по формуле (6), результаты представлены в табл. 2, исходное значение показателя

выбороопасности $K = 0,801$.

Из данных, представленных на рисунке, следует, что при рассматриваемых параметрах полезного сигнала и набора однородных широкополосных помех из 5, 10 и 15 гармоник с частотами от 1000 Гц с шагом 10 Гц амплитудой 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 В максимальная относительная погрешность наблюдается при наложении на полезный сигнал широкополосных помех в форме 15 гармоник амплитудой 0,7 В. Минимальная погрешность определения ΔK отмечена при наложении на полезный сигнал однородных помех минимальной ширины из 5 гармоник амплитудой 0,1 В.

Таблица 2

Значение коэффициента выбороопасности при условии узкополосной помехи в высокочастотной области спектра

Амплитуда, В	0,1	0,3	0,5	0,7
Кол-во гармоник, шт.	Значения коэффициента выбороопасности			
5	0,805018	0,818091	0,832194	0,846748
10	0,809184	0,833534	0,860511	0,886671
15	0,813664	0,849091	0,886134	0,922439

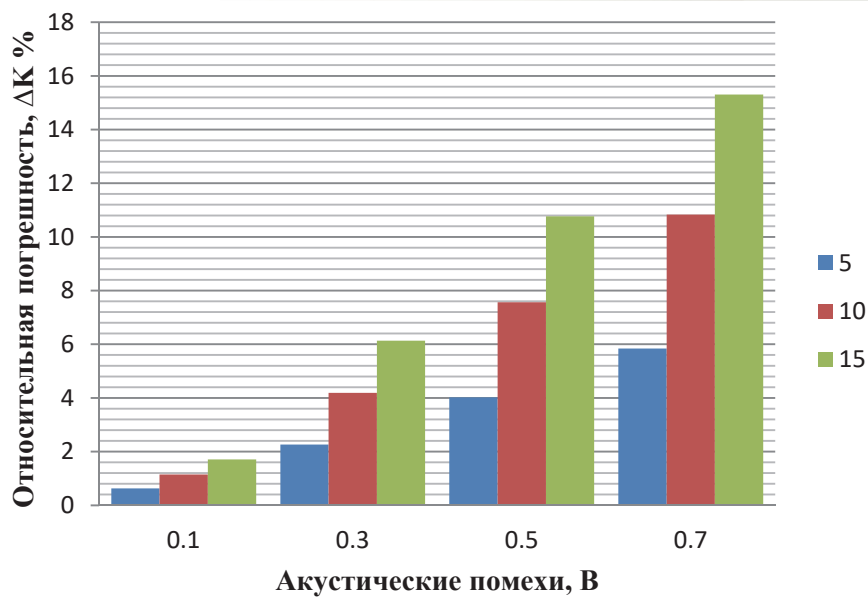


Рис. 7. Относительная погрешность ΔK при наложении на полезный сигнал однородной помехи в форме 5, 10 и 15 гармоник в верхней части спектра зондирующего сигнала

Из представленных данных следует, что условие $\Delta K \leq 5\%$ для этого вида помех при $f_0 = 4$ кГц и при $N \geq 1024$ отсчетов не выполняется при наличии однородных акустических помех в форме 10 и 15 гармоник амплитудой от 0,3 В и выше.

Обсуждение результатов и выводы

Выполненный анализ свидетельствует о том, что оба основных параметра ЦОС: частота дискретизации f_0 и длина выборки N существенно влияют на погрешность определения показателя выбросоопасности. Показано, что при использовании приемных преобразователей акустического сигнала с рабочим диапазоном частот до 1,5 кГц (геофонов) для обеспечения относительной погрешности определения показателя выбросоопасности, не превышающей 5%, в случаях, когда спектр помехи равномерно распределен по НЧ и ВЧ областям рабочего диапазона, достаточно установить эти параметры на значения: $f_0 = 4$ кГц и $N = 512$ отсчетов. Если спектр помехи распределен неравномерно между НЧ и ВЧ областями рабочего диапазона, длину выборки необходимо увеличить до значения 1024 отсч. или даже более.

Влияние акустических помех на относительную погрешность определения показате-

ля выбросоопасности существенно зависит от их параметров. А именно, если спектральные составляющие помехи одинаковой амплитуды равномерно распределены между областями низких и высоких частот рабочего диапазона, то величина амплитуды и количество гармоник практически не влияют на погрешность. Если же спектр помехи расположен преимущественно в области низких частот или преимущественно в области высоких частот рабочего диапазона, то чем выше амплитуда спектральных составляющих помехи и их количество, тем больше погрешность. Причем если спектр помехи расположен преимущественно в области низких частот, то увеличение числа и амплитуды ее спектральных составляющих ведет к занижению показателя выбросоопасности относительно его реального значения. И наоборот, если спектр помехи расположен преимущественно в области высоких частот рабочего диапазона, то увеличение числа и амплитуды ее спектральных составляющих ведет к превышению показателя выбросоопасности относительно его реального значения.

Таким образом, в методах контроля, основанных на спектральном анализе акустического сигнала (например, спектрально-акустическом методе прогноза выбросоопасности) с целью исключения ошибки прогноза сигнал

до оцифровывания должен быть пропущен через антиэлайзинговые фильтры нижних и верхних частот, подавляющие помехи за пределами рабочей области частотного спектра. Параметры помехи в области рабочих частот методов контроля выбросоопасности должны быть измерены до начала внедрения метода и учтены специальным алгоритмом обработки полезного сигнала.

При прочих равных условиях относительная погрешность определения показателя выбросоопасности зависит от алгоритма его определения. Для рассмотренных алгоритмов вариант с отношением норм сигнала в высокочастотной и низкочастотной областях спектра зондирующего сигнала дает меньшую погрешность, чем вариант с отношением

сумм амплитуд гармоник в ВЧ и НЧ областях спектра.

Нам представляется, что изложенная методика определения приемлемых параметров ЦОС, обеспечивающих допустимую погрешность контроля искомой величины, путем симулирования спектров полезных сигналов и помех с помощью пакета прикладных программ MATLAB может применяться для любых экспериментальных методов изучения состояния объектов, если известен алгоритм обработки полезного сигнала, его параметры и параметры возможных помех.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-01143).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: Федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. Сер. 05. Вып. 40. 200 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2016 г. № 339. 129 с.
3. Lu C.; Dou L.; Liu H., et al. Case study on microseismic effect of coal and gas outburst process // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2012, 53, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.009>.
4. Fan C.J., Li S., Luo M.K., Du W.Z. Coal and gas outburst dynamic system // International Journal of Mining Science and Technology, 2017. P. 49–55.
5. Zhang H.W., Li S. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst // Chin J Rock Mech Eng, 24 (19) (2005). P. 3577–3581.
6. Методика выполнения акустических зондирований горного массива с применением программно-аппаратного комплекса. М.: МНТЛ РИВАС, 2016. 36 с.
7. Руководство по применению системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений (САКСМ). М.: МНТЛ РИВАС, 2016. 49 с.
8. Шадрин А.В., Бирева Ю.А. Влияние параметров цифровой обработки сигнала на точность спектрально-акустического прогноза выбросоопасности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 6. С. 36–38.
9. Карташов В.Я., Самойленко С.С. Влияние вариации периода дискретизации на свойства цифровых систем управления // Вестник Кемеровского государственного университета. 2013. № 4. С. 39–44.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. 448 с.
11. Стивен Смит Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. М.: Додэка–XXI, 2012, 720 с.
12. Мирер С.В., Храма О.И., Шадрин А.В. Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. С. 22–92.
13. Шадрин А.В. Геофизический критерий предвыбросного развития трещин в угольном пласте // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 4. С. 48–62.

14. Shadrin A., Diyuk Y. Geophysical criterion of pre-outburst coal out squeezing from the face space into the working // International Journal of Mining Science and Technology, 2019. Vol. 29, Issue 3. P. 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.IJMST.2018.11.001>.

15. Пат. 43239 А Украина, МКИ E21F 5/00. Спосіб діагностики гірського масиву / Шашенко О.М., Масленников Е.В.; заявл. 24.04.2001; опубл. 15.11.2001, Бюл. № 10.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.13.3.005

UDC 622.831.322

© Yu.A. Diyuk, A.V. Shadrin, 2019

YU.A. DIYUK

Graduate Student

Institute of Coal

FSBSI «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», Kemerovo

e-mail: juliabireva@gmail.com

A.V. SHADRIN

Doctor of Engineering Sciences,

Member Correspondent of the Russian Academy of Natural Sciences,

Chief Researcher

Institute of Coal

FSBSI «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», Kemerovo

e-mail: avsh-357@mail.ru

RESEARCH OF INFLUENCE OF ACOUSTIC HINDRANCES OF VARIOUS SPECTRAL STRUCTURES ON OUTBURST HAZARD INDICATOR OF THE SPECTRAL AND ACOUSTIC METHOD

The technique of determining the main parameters of digital processing of acoustic signals is described: sampling rates and experimental sample lengths, to provide an error of definition of an indicator of outburst hazard of a spectral and acoustic method of the forecast of outburst hazard in the set limits. An acoustic signal is used as a sounding bottom-hole space of mining «noise» of the executive body of the mining equipment working, to which interference of various amplitudes and spectral composition is imposed.

Keywords: PREDICATION OF THE OUTBURST HAZARD, SPECTRAL-ACOUSTIC METHOD, MEASUREMENT ERROR, DIGITAL SIGNAL PROCESSING, SIGNAL MODELING, SAMPLING FREQUENCY, SAMPLE LENGTH.

REFERENCES

1. Safety regulations in coal mines: Feder. rules and regulations in the region. Industrial Security. M.: CJSC STC PB, 2014. Ser. 05. Issue 40. 200 p. (In Russ.).
2. Federal norms and rules in the field of industrial safety «Instructions for predicting dynamic phenomena and monitoring the massif of rocks during mining of coal deposits». Approved by order of the Federal Service for Ecological, Technological and Atomic Supervision of August 15, 2016. № 339. 129 p. (In Russ.).
3. Lu C., Dou L., Liu H. et al., Case study on microseismic effect of coal and gas outburst process // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2012, 53, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.009>.
4. Fan C.J., Li S., Luo M.K., Du W.Z. Coal and gas outburst dynamic system // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. P. 49–55.

5. Zhang H.W., Li S. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst // *Chin J Rock Mech Eng*, 24 (19), (2005). P. 3577–3581.
6. Methodology for performing acoustic soundings of a rock mass using a hardware-software complex. M.: MNTL RIVAS, 2016. 36 p. (In Russ.).
7. Guidance on the use of the system of acoustic monitoring of the state of a rock mass and forecast of dynamic phenomena (SAKSM). M.: MNTL RIVAS, 2016. 49 p. (In Russ.).
8. Shadrin A.V., Bireva Yu.A. The influence of digital signal processing parameters on the accuracy of the spectral-acoustic forecast of outburst hazard // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2014. № 6. P. 36–38. (In Russ.).
9. Kartashov V.Ya., Samoilenko S.S. The effect of variation of the sampling period on the properties of digital control systems // *Vestnik kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Kemerovo State University]. 2013. № 4. P. 39–44. (In Russ.).
10. Baskakov S.I. Radio circuits and signals. M.: Higher school, 1988. 448 p. (In Russ.).
11. Smith S. Digital signal processing. A practical guide for engineers and scientists M.: Dodeka – XXI, 2012. 720 p. (In Russ.).
12. Mirer S.V., Temple O.I., Shadrin A.V. Spectral-acoustic forecast of outburst hazard of coal seams. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1999. P. 22–92. (In Russ.).
13. Shadrin A.V. Geophysical criterion for the pre-developmental development of cracks in a coal seam // *Physical and technical problems mining operations*. 2016. № 4. P. 48–62. (In Russ.).
14. Shadrin A., Diyuk Y. Geophysical criterion of pre-outburst coal out squeezing from the face space into the working // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29, Issue 3. P. 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.IJMST.2018.11.001>
15. Pat. 43239 A Ukraine, MKI E21F 5/00. Method for the diagnosis of girsky massiv / Shashenko O.M., Maslennikov E.V.; declared 04/24/2001; publ. 11/15/2001, Bull. № 10. (In Ukr.).