© О.М. Пшонко, В.С. Галкин, А.А. Белишев, 2006

УДК 622.86:622.41

О.М. Пшонко, В.С. Галкин, А.А. Белишев

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АЭРОГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ШАХТ

Семинар № 22

Федеральное Государственное Унитарное Предприятие «Смоленское Производственное Объединение «Аналитприбор» – ведущее российское предприятие в области разработки и производства газоаналитической техники, способствующей эффективному решению задач в области безопасности и охраны труда, энерго- и ресурсосбережения, защиты окружающей среды и контроля технологических процессов. Это приборы для измерения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны и атмосферы, в технологических газах, в выбросах промышленных предприятий и в выхлопных газах двигателей.

ФГУП СПО «Аналитприбор» выпускает как отдельные газоанализаторы, так и комплексные системы для предприятий металлургии, нефтепереработки, нефтехимии, газодобычи, химических производств, предприятий энергетики, в том числе атомных станций, угольных шахт.

Предприятие имеет более чем 10-летний опыт разработки и производства газоаналитического оборудования для шахт, что с учетом многолетнего опыта эксплуатации позволило сформировать комплексный подход к проектированияю систем аэрогазового контроля, средства и методы которой используются для мониторинга взрыво-, пожаро-, выбрособезопасности, а также для контроля качества воздуха и наличия в нем вредных газов.

В настоящее время ФГУП СПО «Аналитприбор» серийно выпускает следующие шахтные приборы и системы контроля:

1) носимый газоанализатор метана АМТ-03. Газоанализатор относится к рудничному особовзрывобезопасному оборудованию (РО) с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» уровня «ia» группы I. Принцип действия газоанализатора – термохимический в диапазоне измерения от 0 до 2,5 % об. и термокондуктометрический в диапазоне измерения от 5 до 100 % об. Газоанализатор при минимальных масс-габарит-ных показателях (вес 240 грамм, 130x70x26), имеет цифровую индикацию контролируемого компонента, время непрерывной работы без подзаряда – 10 часов, хранение информации о результатах измерений за предыдущие 14 часов, возможность подключения к персональному компьютеру для просмотра и анализа результатов измерений.

2) переносной измеритель ИКВЧ-ВЗ для контроля запыленности воздуха в шахтах и горных выработках, а также для контроля пылеотложений с целью

прогнозирования накоплений взрывоопасных концентраций пыли. Измеритель относится к рудничному особовзрывобезопасному оборудованию (РО) с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» уровня «ia» группы I. Принцип работы оптический абсорбционный, основанный на методе определения оптической плотности пылегазовой среды по степени ослабления модулированного электромагнитного излучения и пересчета в массовую концентрацию взвешенных частиц через калибровочный коэффициент, определяемый сравнительным методом. Диапазон измерения массовых концентраций пыли – (0,9–3000) мг/м^3. Измеритель имеет стандартный цифровой интерфейс RS232 для подключения к персональному компьютеру для просмотра и анализа результатов измерений. Время работы без подзарядки 14 часов. Измеритель имеет малые габариты и массу не более 3,5 кг.

3) измеритель скорости воздушного потока ДСПШ-20 для непре-рывного автоматического измерения скорости воздушного потока в атмосфере угольных шахт – это совместная разработка с Московским государственным горным университетом. Измеритель относится к рудничному особовзрывобезопасному оборудованию (РО) с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» уровня «ia». Принцип действия измерителя – ультразвуковой. Измеритель состоит из блока питания и обработки и выносного измерительного преобразователя со штангой для крепления. Измеритель имеет три режима измерения:

- измерение мгновенной скорости воздушного потока;
- измерение средней скорости воздушного потока за заданный интервал времени (до 99 с);
- измерение расхода воздуха в сечении выработки с учетом расположения измерительного преобразователя в сечении выработки (задается с клавиатуры блока питания и обработки).

4) комплекс АКМР-М, предназначенный для:

- непрерывного измерения объемной доли метана, кислорода, оксида углерода в рудничном воздухе;
- измерения скорости воздушного потока при подключении ДСПШ-20;
- защитного отключения электропитания шахтного оборудования и выдачи сигналов при достижении предельно допускаемых значений объемной доли метана (автоматическая газовая защита АГЗ);
- выдачи управляющих сигналов при достижении предельно допускаемых значений объемной доли оксида углерода и кислорода;
- сбора и обработки информации о состоянии (включено/ выключено) технологического оборудования;
- передачи информации на диспетчерский пункт, ее обработки и отображения.

Все функции АГЗ реализуются подземной частью комплекса.

Наземная часть комплекса АКМР-М включает в себя блок КУСД, осуществляющий обмен информацией между устройствами подземной части комплекса и ПЭВМ. Связь КУСД с ПЭВМ осуществляется по стандартному интерфейсу RS232 (к блоку КУСД возможно подключение до двух ПЭВМ). ПЭВМ осуществляет обработку, отображение и архивирование информации. С ПЭВМ осуществляется также передача сигналов управления в подземную часть комплекса.

Максимальный состав комплекса АКМР-М:

- ПЭВМ – 2 шт.;
- КУСД – 1 шт.;
- КСД – 28 шт. (два луча по 14 шт.);
- аналоговые датчики – 448 шт.;
- дискретные датчики – 448 шт.;
- количество релейных выходов подземной части – 448 шт.;
- количество релейных выходов наземной части – 32 шт.

Длина линий связи:

- датчики – КСД – 3 км;
- датчики – аппараты питания - 3 км;
- КСД – КСД - 10 км;
- КСД – КУСД - 10 км.

Напряжение питания устройств подземной части комплекса от 36 В до 127 В переменного однофазного тока, имеется резервное питание на 8ч работы от встроенных аккумуляторов.

5) совместно с ФГУП ГУА подготовлен к выпуску комплекс ОПК – обнаружения пожаров на конвейерах, предназначенный для непрерывного автоматического дистанционного контроля распределения температуры вдоль конвейера с передачей информации на ПЭВМ об измеренной температуре и о превышении предельно допустимого значения интенсивности нагрева.

Особо взрывобезопасный уровень взрывозащиты обеспечивается видом взрывозащиты – «искробезопасная электрическая цепь».

Длина кабеля до 1 км, пределы измерения температуры воздушной среды от минус 30 до 95 ^{o}C, разрешающая способность 20 м.

Принцип действия – оптический без выхода оптического излучения за пределы оптического кабеля. Волоконно-оптический кабель монтируется в горной выработке вдоль конвейерной линии и преобразует температуру окружающей среды в оптический сигнал. Разделение по дальности осуществляется с учетом временной задержки относительно излученного лазерного импульса. Полученное распределение амплитуды сравнивается с записанным ранее эталонным и вычисляется значение температуры. Данные о температурном распределении передаются блоками передачи данных по последовательному интерфейсу RS485 через блок искробезопасного барьера на поверхность и отображаются на ПЭВМ.

Накопленный многолетний опыт проектирования и изготовления промышленного взрывозащищенного оборудования, прогресс в электронных комплектующих позволяет реализовать функции аэрогазового контроля и управления технологическим шахтным оборудованием на новом качественном уровне.

Первое направление развития системы аэрогазового контроля состоит в существенном расширении номенклатуры стационарных датчиков контроля шахтной атмосферы и окружающей среды с целью получения дополнительной информации, увеличивающей достоверность контроля и расширяющей его функциональные возможно.

Объединение имеет техническую базу и многолетний опыт производства электрохимических датчиков CO, H_2S, NO, NO_2, SO_2, HCl, Cl_2, NH_3, O_2, термохимических, термокондуктометрических, термомагнитных и оптических абсорбционных датчиков. Имеющиеся наработки и отлаженная технология позволяют в короткие сроки разработать в шахтном исполнении:

- датчики диоксида углерода (CO2) - Серийно выпускается датчик-газоанализатор на оптическом абсорбционном принципе измерения с марки-

ровкой 1ExibdIICT6X, энергетические характеристики соответствуют термохимическим датчикам;

- датчики водорода (H2) - Серийно выпускается датчик-газоанализатор с маркировкой 1ExibdIICT6X, энергетические характеристики соответствуют термохимическим датчикам;

- инфракрасные датчики метана (CH_4) - серийно выпускается датчик-газоанализатор на оптическом абсорбционном принципе измерения с маркировкой 1ExibdIICT6X, энергетические характеристики соответствуют термохимическим датчикам;

Технический уровень современных микромощных сенсоров атмосферного давления (P), депрессии (ΔP), температуры (T), влажности (W) в интегральном исполнении позволяют проектировать недорогие и компактные шахтные датчики.

В настоящее время на объединении ведется работа по унификации конструктивных и схемотехнических решений, что позволит при сохранении широкой номенклатуры выпускаемой продукции иметь в производстве ограниченный набор отлаженных электронных модулей. При этом каждый функциональный блок – это интеллектуальный элемент на ин-формационной шине. Так построен технологический многокомпонентный газоанализатор ГАММА-100, и практика доказала удобство этого подхода, который сейчас распространяется на все стационарное оборудование.

В рамках этого подхода ведется совместная работа с разработчиками и изготовителями специализированных интегральных микросхем по созданию серии микросхем для первичных преобразователей. Цель работы – создание интеллектуальных датчиков с унифицированными питанием и выходным сигналом, позволяющего устанавливать в газоанализатор предварительно откалиброванные датчики, непосредственно в датчиках осуществить компенсацию внешних воздействующих факторов, достичь взаимозаменяемости датчиков.

Следующее направление – уменьшение массогабаритных характеристик блоков системы. Применение современных преобразователей питания, одноплатных микроконтроллеров позволяет, применительно к характеристикам блоков комплекса АКМР-М, уменьшить массу датчиков до 2 кг, аппарата питания со встроенной аккумуляторной батареей и резервным источником до (10-12) кг; уменьшение функциональной и аппаратной насыщенности подземного контроллера за счет распределения его функций по устройствам, подключенным к локальной сети, также резко уменьшит массу и габариты блока.

Еще одно направление – изменение архитектуры информационной сети из централизованной в распределенную как на уровне подземных контроллеров, так на уровне информационной сети в целом. Построение подземного контроллера сбора данных предполагается не моноблочным, а наращиваемым из отдельных модулей согласно проекту привязки, и размещаемых в шкафу, обеспечивающем степень защиты от попадания твердых предметов и от проникновения воды не ниже IP55. Модульный принцип построения позволит избежать избыточности аппаратных средств, упростить текущий ремонт и снизить затраты на эксплуатацию. Электрически все модули – это самоопределяющиеся блоки на последовательной информационной магистрали контроллера, что позволяет производить автоконфигурирование контроллера после установки периферийных блоков и подключения датчиков.

Наиболее важным практическим следствием создания информационной сети является возможность осуществления удаленной параметризации и калибровки оконечных устройств. Наличие единой базы параметров, возможность обслуживания всех подключенных к сети оконечных устройств как с рабочего места оператора (диспетчера), так и с любого подземного контроллера выводит службу КИП предприятия на совершенно иной уровень оперативности и эффективности. Быстрая установка предельных уровней и режимов работы дает возможность гибко управлять производственным процессом, перенастраивать его согласно меняющимся условиям и задачам. Другая проблема, связанная с развитием системы, заключается в необходимости применять оборудование различных производителей. Сейчас практически все широко распространенные решения в этой сфере стандартизованы, что позволяет разработчикам выбирать оборудование из широкого спектра поставщиков, оптимизируя стоимость проекта и его технологическую структуру. Для жестких условий шахт главным требованием к сетям сбора данных, обмена информацией, контроля и управления технологическим оборудованием являются адаптивность и живучесть систем.

Адаптивность, т.е. возможность настройки при изменении конфигурации сети и ее элементов, обеспечивается применением датчиков с уникальным идентификационным номером, что обеспечивает автоматическую идентификацию при подключении к сети, реализуя функцию автоконфигурирования сети при развертывании и «горячей» замене датчиков в условиях шахты. Добавление или удаление отдельных точек ввода-вывода и даже целых узлов требует минимальных монтажных работ и производится без остановки системы автоматизации. Реконфигурация системы осуществляется на уровне программного обеспечения и также занимает минимальное время.

Живучесть, как способность выполнять установленные функции в условиях воздействия индустриальных помех и факторов внешней среды и отказов компонентов системы. Развитие системы АКМР-М в этом направлении базируется на применении открытых стандартных интерфейсов. В то же время накопленный собственный опыт при проектировании и реализации сетей передачи данных в рамках техники специального назначения, отработанные математические методы фильтрации, алгоритмические методы повышения надежности передачи, исключающие потерю данных, позволяют создавать быстродействующие, разветвленные сети с высокой помехоустойчивостью.

Опыт эксплуатации комплекса АКМР-М показал, что стандартные требования по ЭМС, предъявляемые к общепромышленным приборам, являются недостаточными для эксплуатации в жестких условиях шахт с электромагнитными помехами от работающего мощного электрооборудования и бросками питающего напряжения различной длительности и формы, что накладывает особые требования к помехоустойчивости аппаратно-программных средств. В настоящее время предприятие имеет опыт разработки, изготовления и эксплуатации не только шахтного, но и оборудования для атомных станций, которое прошло сертификацию на устойчивость к воздействию крайне жесткой электромагнитной обстановки.

С увеличением сложности производимых многокомпонентных и многоканальных газоаналитических и управ-

ляющих систем, в настоящее время производится сдача систем заказчику «под ключ», адаптация под конкретные задачи аппаратного и программного обеспечения, интеграция газоаналитических систем в общую АСУ ТП предприятия. ФГУП СПО «Аналитприбор» осуществляет также обучение специалистов шахт. Удобным и выгодным для потребителя стало заключение с нашим предприятием договоров на абонентское техническое обслуживание, включая калибровку, регулировку, замену первичных преобразователей, имеющих ограниченный ресурс, послегарантийный ремонт, техническую и методическую помощь в эксплуатации и метрологической поверке сложного взрывозащищенного оборудования и систем.

Коротко об авторах

Пшонко О.М., Галкин В.С., Белишев А.А. – ФГУП СПО «Аналитприбор», г. Смоленск.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ТАЛАНИН Владимир Вадимович	Обоснование параметров и технологии строительства карьера первой очереди при углубочно-сплошных поперечных системах разработки	25.00.22	к.т.н.
ТВЕРДОВ Андрей Александрович	Разработка метода определения коэффициента запаса при расчетах устойчивости карьерных откосов	25.00.16	к.т.н.
ФЕДОСЕЕВ Алексей Иванович	Инженерно-геологическое обоснование частичной ликвидации гидроотвалов вскрышных пород	25.00.16	к.т.н.

© В.А. Румянцева, 2006

УДК 622.86:622.41

В.А. Румянцева

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТЫ «ИНСКАЯ»

Семинар № 22

Проводится статистический анализ показаний датчиков шахтной системы безопасности. Скорость воздушного потока во входящей и исходящей струе и концентрация метана рассматриваются, как случайный процесс. Вычисляются автокорреляционные функции и спектральные плотности мощности. Эмпирически подбирается выражение для автокорреляционной функции и вычисляются его параметры. Рассчитываются коэффициенты корреляции концентрации метана и скорости воздушного потока в выработках.

Контроль состояния рудничной атмосферы в газообильных шахтах, где и требуется мониторинг в первую очередь – это, прежде всего, измерение концентрации метана и скорости (расхода) воздуха в определенных пунктах подземных выработок [1]. По этой причине в данной работе приводится анализ динамики именно этих показателей – концентрации метана и скорости вентиляционного потока.

Ранее выполненными исследованиями доказано, что на внутрисменных промежутках случайные процессы колебаний концентрации метана в исходящих струях участков и сами расходы этих струй могут быть приняты стационарными.

Корреляционная функция таких процессов (процессов среднее значение и характер которых не меняются существенно с течением времени) является функцией только одного аргумента – временного промежутка

$$K_x(t, t+\tau) = k_x(\tau).$$

Для стационарных процессов корреляционная функция может быть вычислена по одной реализации.

Поскольку, (как в случае с корреляционной функцией процесса изменения концентрации метана) корреляционная функция монотонно убывает с увеличением аргумента τ, аппроксимируем ее общий вид аналитически в виде суммы экспонент.

$$k_x(\tau) = a_1 e^{-(\alpha_1 \tau)^2} + a_2 e^{-(\alpha_2 \tau)^2} + \ldots + a_n e^{-(\alpha_n \tau)^2}, \quad (1)$$

где параметры $a_1 \ldots a_n, \alpha_1 \ldots \alpha_n$ определяются по экспериментальным точкам. Для определения корреляционной функции в виде n слагаемых необходимо выбрать $2n$ экспериментальных точек и решить систему $2n$ уравнений вида

$$\begin{aligned} k_x(\tau_1) &= a_1 e^{-(\alpha_1 \tau_1)^2} + a_2 e^{-(\alpha_2 \tau_1)^2} + \ldots + a_n e^{-(\alpha_n \tau_1)^2} \\ &\ldots \\ k_x(\tau_{2n}) &= a_1 e^{-(\alpha_1 \tau_{2n})^2} + a_2 e^{-(\alpha_2 \tau_{2n})^2} + \ldots + a_n e^{-(\alpha_n \tau_{2n})^2} \end{aligned} \quad (2)$$

В том случае, когда корреляционная функция колеблется вокруг нулевого значения, предложено аппроксимировать ее общий вид зависимостью вида:

$$k_x(\tau) = a_1 \exp(-\alpha_1^2 \tau^2)\cos(\beta_1 \tau) + \ldots + a_n \exp(-\alpha_n^2 \tau^2)\cos(\beta_n \tau) \quad (3)$$

Для вычисления коэффициентов этой зависимости необходимо составить (аналогично системе (2)) систему $3n$ уравнений для $3n$ точек.

Найдя коэффициенты и получив аналитическое выражение для корреляционной функции можно получить ряд оценок, характеризующих данный процесс. Это, прежде всего оценки спектральной плотности мощности.

Для определения частотных характеристик сенсоров, контролирующих параметры безопасности и экологии необходимо исследовать спектральные характеристики контролируемых процессов, по которым можно оценить как частоту опроса датчиков в штатном режиме, так и допустимую их инерционность.

Для названных стационарных процессов исследовались спектральные характеристики случайных процессов колебаний содержания примесей в воздушной (исходящие струи) среде, а также спектры колебаний расходов воздуха в наиболее ответственных местах выемочного участка.

Спектральная плотность $S_x(\omega)$ может быть вычислена, как Фурье образ корреляционной функции:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} k_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau . \quad (4)$$

Для реализации X, представленной N измерениями $j = 1 \ldots N$, (X_j – измеренные значения случайной величины для моментов времени $t_j = j / 2f_N$ (сек), $j = 1 \ldots N$), и имеющей математическое ожидание выборки $\bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j$, корреляционная функция вычисляется по формуле [2]:

$$K_n = \frac{1}{N-n+1} \sum_{j=0}^{N-n} \left(X_j - \bar{X}\right)\left(X_{j+n} - \bar{X}\right), \quad (5)$$

где $n = 0,1 \ldots M$, $M < N$, M – количество значений корреляционной функции. Значения K_n соответствуют значениям корреляционной функции в моменты времени t_n. Спектральная плотность мощности данного процесса, может быть вычислена как Фурье-образ корреляционной функции [2]. Спектральная характеристика может быть получена в диапазоне частот от 0 до f_N, где f_N – частота Найквиста. Она равна половине той частоты, с которой проводились измерения. Формула для вычисления спектральной плотности:

$$S_k = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} K_j e^{i\frac{2\pi k}{M} \cdot j}, \quad (6)$$

соответствующей частоте $f_k = \frac{k}{M} f_N$, $k = 0,1 \ldots M / 2$, k – номер частотной составляющей, i – мнимая единица.

Однако, вычисляя спектральную характеристику процесса, по корреляционной функции, определенной на конечном дискретном множестве точек мы можем судить лишь о распределении плотности вероятности по частотам, кратным частоте измерения. С помощью обратного преобразования Фурье мы сможем получить адекватно значения корреляционной функции лишь на том конечном промежутке времени, на котором она была задана. Этого не достаточно для получения интегральных характеристик, по которым можно дать рекомендации о частоте и длительности измерений, а также о характеристиках измерительных приборов. Для этого корреляционная функция должна быть представлена в виде функции времени (1), (3).

Получив аппроксимированное выражение для корреляционной функции (1), (3) можно задать необходимую частоту измерений для того, чтобы сведения о процессе были достаточно полными. Зная выражение для спектральной плотности мощности $S_x(\omega)$ можно определить интервал квантования или частоту замеров $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ из условия, чтобы погрешность в оценке дисперсии процесса не превышала заданной. Например, для оценки σ^2 с ошибкой 10%, σ – с погрешностью не более 5 % необходимо, чтобы

$$2\int_0^{\omega_0} S_x(\omega)d\omega = 0,9\,, \tag{7}$$

где $S_x(\omega)$ нормированная спектральная плотность. Множитель 2 появился в этой формуле вследствие четности функции $S_x(\omega)$, определенной как в положительной, так и в отрицательной частотной области.

Подставляя (1) в (4), получим спектральную плотность для процессов, корреляционная функция которых имеет вид (1):

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} a_j e^{-\alpha_j^2\tau^2} e^{-i\omega\tau} d\tau = \frac{1}{2\pi}\sum_{j=1}^{n} a_j \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\left(\alpha_j^2\tau^2 + i\omega\tau - \frac{\omega^2}{4\alpha_j^2}\right)\right)\exp\left(-\frac{\omega^2}{2\alpha_j^2}\right)d\tau =$$

$$= \frac{1}{2\pi}\sum_{j=1}^{n} a_j \exp\left(\frac{\omega^2}{4\alpha_j^2}\right)\frac{1}{\alpha_j}\int_{-\infty}^{\infty}\exp\left(\alpha_j\tau - \frac{i\omega}{2\alpha_j}\right)^2 d\alpha_j\tau = \sum_{j=1}^{n}\frac{a_j}{2\sqrt{\pi}\alpha_j}\exp\left(-\frac{\omega^2}{4\alpha_j^2}\right) \tag{8}$$

При интегрировании пользуемся равенством:

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-t^2} dt = \sqrt{\pi}\,.$$

Подставляя (3) в (4), получим аналогичным образом:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} a_j e^{-\alpha_j^2\tau^2}\cdot\cos(\beta_j\tau)\cdot e^{-i\omega\tau} d\tau = \frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} a_j\left(e^{-(\alpha_j^2\tau^2+(i\omega-i\beta_j)\tau)} + e^{-(\alpha_j^2\tau^2+(i\omega+i\beta_j)\tau)}\right)d\tau =$$

$$= \frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} a_j \left(e^{-(\alpha_j\tau+(i\omega-i\beta_j))^2} e^{-\frac{(i\omega-i\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} + e^{-(\alpha_j\tau+(i\omega+\beta_j))^2} e^{-\frac{(i\omega+i\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} \right) d\tau = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_j}{\sqrt{\pi}\alpha_j}\left(e^{-\frac{(\omega-\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} + e^{-\frac{(\omega+\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} \right) \tag{9}$$

Из условия (7) составляем уравнения для определения частоты ω_0.

$$2\int_0^{\omega_0} S_x(\omega)d\omega = \sum_{j=1}^{n}\frac{2a_j}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\omega_0}\exp\left(-\frac{(\omega)^2}{4\alpha_j^2}\right)d\frac{\omega}{2\alpha_j} = \sum_{j=1}^{n} a_j erf\left(\frac{\omega}{2\alpha_j}\right) = 0.9\,, \tag{10}$$

если спектральная плотность определена, как (8), и

$$2\int_0^{\omega_0} S_x(\omega)d\omega = \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\int_0^{\omega_0}\frac{a_j}{\alpha_j}\left(e^{-\frac{(\omega+\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} + e^{-\frac{(\omega-\beta_j)^2}{4\alpha_j^2}} \right)d\omega = \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\sqrt{\pi}}a_j\left(\int_{\frac{\beta_j}{\alpha_j}}^{\frac{\omega_0+\beta_j}{\alpha_j}} e^{-x^2}dx + \int_{-\frac{\beta_j}{\alpha_j}}^{\frac{\omega_0-\beta_j}{\alpha_j}} e^{-x^2}dx \right) =$$

$$= \sum_{j=1}^{n}\frac{a_j}{2}\left(erf\left(\frac{\omega_0+\beta_j}{2\alpha_j}\right) + erf\left(\frac{\omega_0-\beta_j}{2\alpha_j}\right)\right) = 0.9$$

если спектральная плотность определена, как (9), здесь $erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-t^2}dt$ – функция ошибок, она может быть определена по таблицам, например [2, 3].

Средняя скорость изменения стационарного случайного процесса равна нулю. Поскольку в алгоритме адаптивного уравнения предусмотрена вариация частоты опроса датчиков, постольку необходимо опрашивая сенсоры постоянно следить за скоростью изменения процессов. В алгоритме корреляционная функция вычисляется в любом случае, поэтому скорость изменения ординаты может быть оценена относительным отклонением, т.е. изменением значения функции в среднем за единицу времени.

$$\left.\frac{d^2}{d\tau^2}K(\tau)\right|_{\tau=0} = \left.\frac{d^2}{d\tau^2}\sum_{j=1}^{n} a_j e^{-\alpha_j^2\tau^2}\right|_{\tau=0} = -2\sum_{j=1}^{n} a_j\alpha_j^2\left(2\alpha_j^2\tau^2-1\right)e^{-\alpha_j^2\tau^2}\Big|_{\tau=0} = 2\sum_{j=1}^{n} a_j\alpha_j^2 \tag{11}$$

$$\left.\frac{d^2}{d\tau^2}K(\tau)\right|_{\tau=0} = \left.\frac{d^2}{d\tau^2}\sum_{j=1}^{n} a_j e^{-\alpha_j^2\tau^2}\cos(\beta_j\tau)\right|_{\tau=0} =$$

$$= \sum_{j=1}^{n} a_j\left(\left(-2\alpha_j^2+4\alpha_j^2\tau^2-\beta_j^2\right)\cos\left(\beta_j\tau\right)+4\alpha_j^2\tau\beta_j\sin\left(\beta_j\tau\right)\right)e^{-\alpha_j^2\tau^2}\Big|_{\tau=0} =$$

$$= \sum_{j=1}^{n} a_j\left(\left(-2\alpha_j^2-\beta_j^2\right)\right). \tag{12}$$

Таким образом, приведенные зависимости позволяют определять (теоретически) частоту опроса датчиков как величину, обратную времени корреляции; постоянные

времени датчиков – как величины равные половине верхней частоты в спектрах сигналов.

В настоящей работе исследовались типичные фрагменты мониторинга концентрации метана (здесь приведен как характерный быстроменяющийся процесс и, наоборот, медленно меняющийся, рис. 1, рис. 2). Измерения проводились на шахте «Инская» в феврале 2002 года.

Данные за 1 февраля 2002 года:

Концентрация метана на первом датчике (М1 – свежая струя) в зависимости от времени показана на рис. 1:

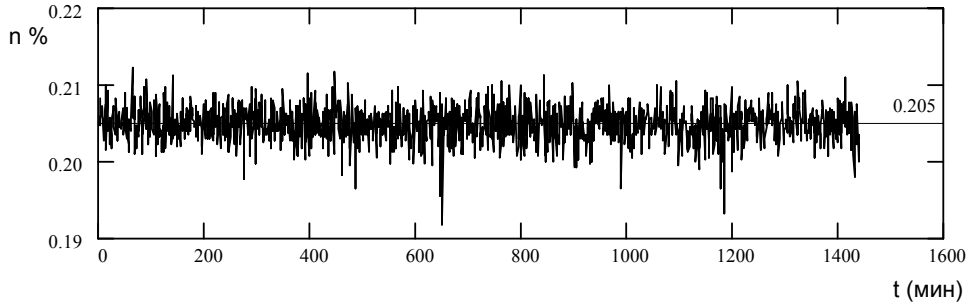


Рис. 1. Временная зависимость концентрации метана в свежей струе снятая 1 февраля 2002 года (участок шахты «Инская»)

Среднее значение n_{cp} =0.205, дисперсия σ^2 =0.000005, с.к.о.=0.002.

Концентрация метана в исходящей струе этого же участка в зависимости от времени представлена на рис. 2.

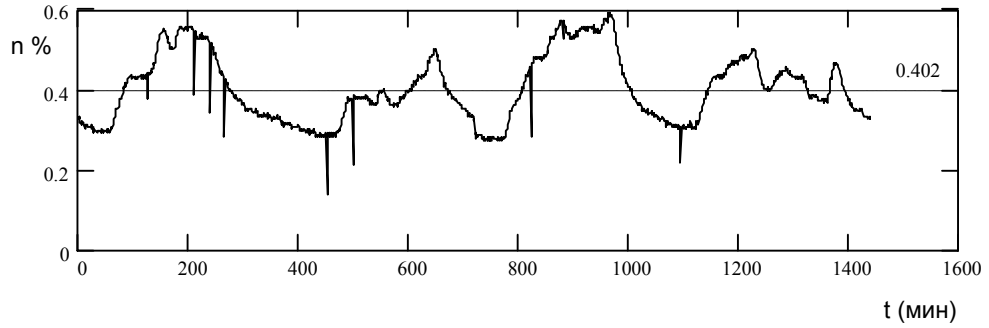


Рис. 2. Временная зависимость концентрации метана в исходящей струе снятая 1 февраля 2002 года (участок шахты «Инская»)

Среднее значение n_{cp} =0.40, дисперсия σ^2 =0.007, с.к.о.=0.08.

На рис. 3 и 4 представлены корреляционные функции этих процессов, вычисленные по формуле (5).

По виду корреляционной функции процесса, регистрируемого первым датчикам можно сказать, что процесс имеет характер белого шума, поскольку значение корреляционной функции в нуле намного превышает ее среднее значение. Концентрация

метана представляет собой квазипостоянную величину, т.е. процесс содержит в себе постоянную составляющую, которую можно оценить, как среднее значение. Колебания вокруг этого среднего значения носят не

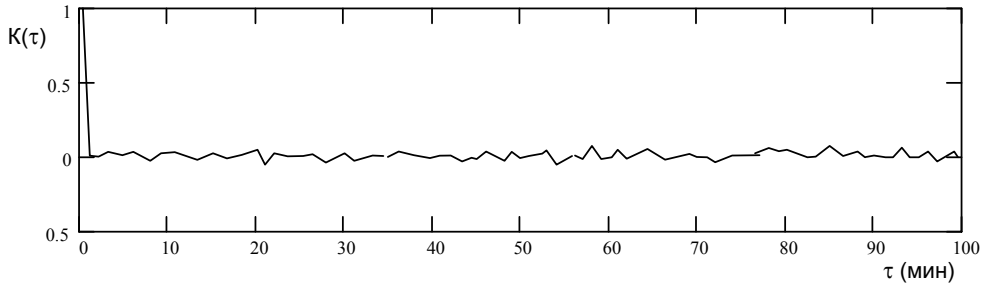


Рис.3. Нормированная автокорреляционная функция концентрации метана за 1 февраля 2002 года

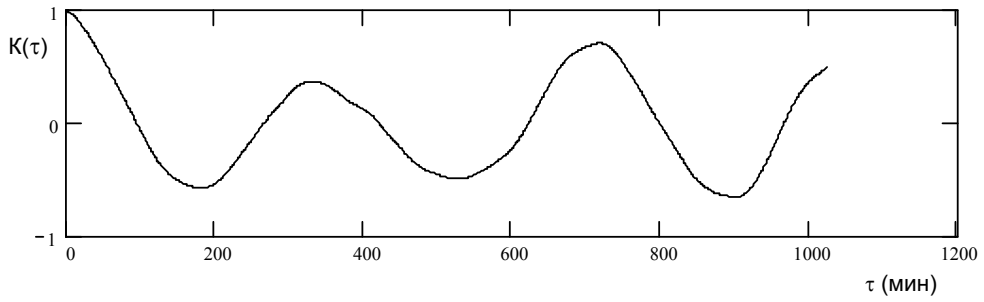


Рис.4. Нормированная автокорреляционная функция концентрации метана за 1 февраля 2002 года

коррелированный характер и могут быть связаны, прежде всего, с погрешностью метанометра, или с недостаточной перемешиваемостью потока, и турбулентными пульсациями.

Концентрация метана на (рис. 2) обладает достаточной изменчивостью, и можно рассчитать некоторые статистические характеристики данного процесса.

Спектральная плотность процесса показана на рис. 5. Ее расчет проводится по формуле (6).

При рассмотрении данных за другие дни, выяснилось, что характер процесса на первом датчике остается примерно таким же.

Корреляционные метанометрические функции были рассчитаны по статистике замеров, произведенных термокаталитическими датчиками концентрации метана. В силу их значительной инерционности быстропротекающие изменения этими датчиками не фиксируются. Цель этих экспериментов заключалась в определении нижней границы частоты опроса метанометров системой мониторинга, т.е. частоты опроса соответствующей штатному режиму.

Далее вычислим параметры систем МБЭ по предложенной модели корреляционной функции. По данным, приведенным выше, получена аналитическая корреляционная функция, при этом аппроксимированы ее значения, заданные в точках, вычисленные по формуле (5). Корреляционную функцию ищем в виде (3).. Количество

слагаемых этой суммы возьмем $n = 3$. О точности этой ап-проксимации будем судить по отношению среднеквадратического отклонения

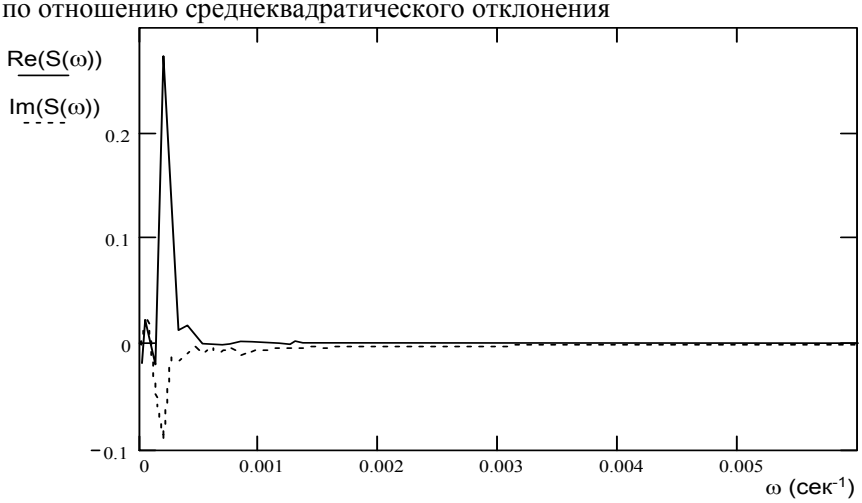


Рис. 5. Спектральная плотность концентрации метана в исходящей струе 1 февраля 2002 года, сплошная линия – действительная часть, пунктир – мнимая часть.

аппроксимированной функции в каждой точке к среднеквадратическому значению функции, обозначим его *P*.

$$P = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{M}\left(K_n - k_x(t_n)\right)^2}{\sum_{n=1}^{M}\left(K_n\right)^2}}$$

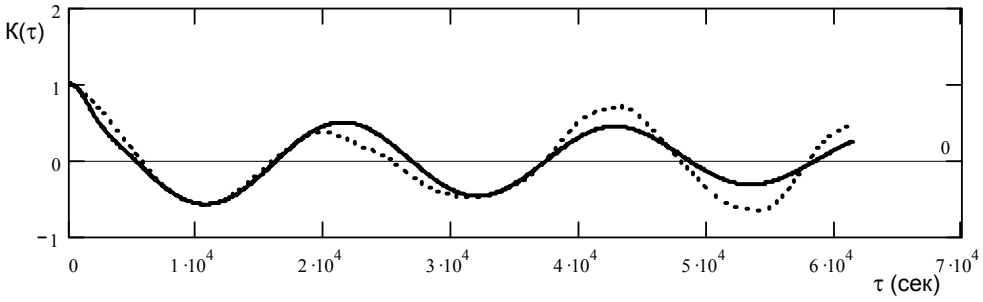


Рис. 6. Корреляционная функция концентрации метана в исходящей струе. Пунктирная линия – график, построенный по точкам, сплошная линия – аналитическая зависимость с вычисленными коэффициентами.

Для корреляционной функции, вычисленной по данным за 1 февраля 2002 года (рис. 24), были получены следующие результаты. $P = 0.3$,

$$\alpha = \begin{pmatrix} 3.387\times 10^{-6} \\ 1.243\times 10^{-5} \\ 5.467\times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} 5.105\times 10^{-5} \\ 2.932\times 10^{-4} \\ 2.506\times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad a = \begin{pmatrix} -0.041 \\ 0.553 \\ 0.488 \end{pmatrix}$$

Скорость изменения процесса:

$$\sum_{j=0}^{n} a_j \cdot \left[2(\alpha_j)^2 + (\beta_j)^2 \right] = 3.394\times 10^{-7} \quad \%\ CH_4/сек^2$$

Спектральная плотность, вычисляется по формуле (9). Ее вид приведен на рис. 7. Кроме того, на рисунке показана частота ω_0, которая вычисляется из решения уравнения (10).

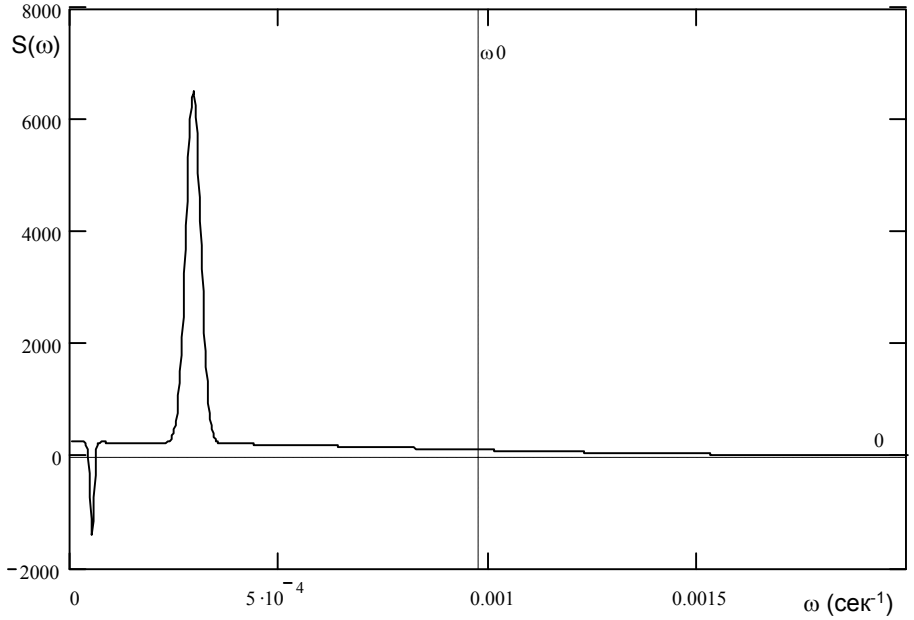


Рис. 7. Спектральная плотность концентрации метана в исходящей струе

Частота ω_0 – необходимая частота измерения для того, чтобы сведения о процессе были достаточно полными (граничная частота спектра функции). При полученном значении частоты $\omega_0 = 9.8 \cdot 10^{-4}$ сек$^{-1}$, интервал между измерениями должен составлять $T = \dfrac{2\pi}{\omega_0} = 6.41 \cdot 10^3 сек = 106 мин$.

На рис. 8, 9, 10 представлены соответственно фрагмент записи скорости потока, его корреляционная функция и спектральная плотность мощности этого случайного процесса. Записи проводились с помощью анемометра раз в минуту.

Обработка результатов аэрологических измерений на выемочном участке позволила предложить метод количественной оценки переходных газодинамических процессов, когда при увеличении подачи воздуха в лаву, концентрация метана первоначально увеличивается, а затем падает до меньшей относительно

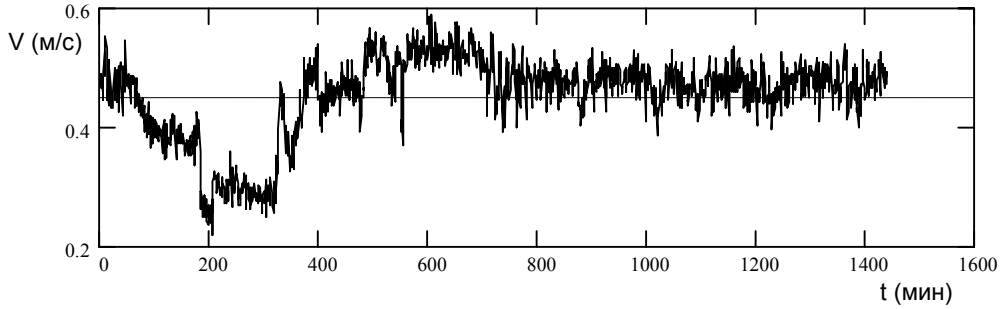


Рис. 8. Временная зависимость скорости воздушного потока в исходящей струе (шахта «Инская»). Среднее значение V_{cp} =0.45 м/с, дисперсия σ^2 =0.005, с.к.о.=0.07

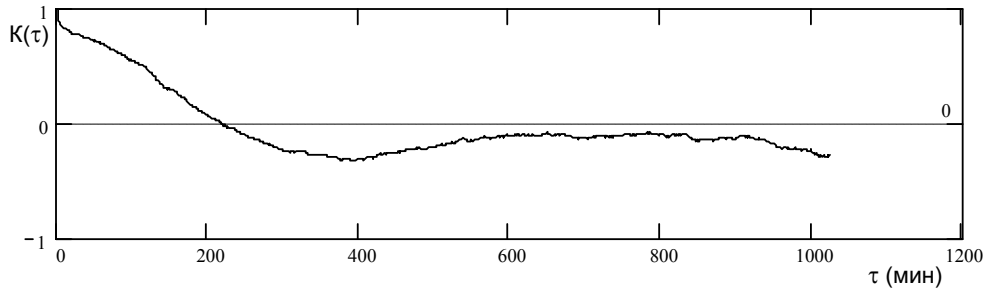


Рис. 9. Нормированная корреляционная функция скорости воздушного потока в исходящей струе (шахта «Инская»)

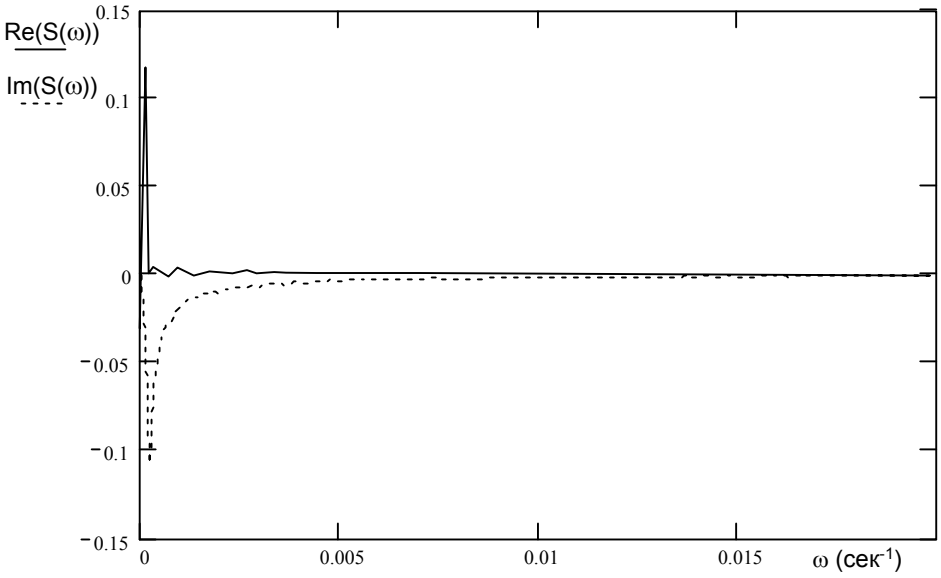


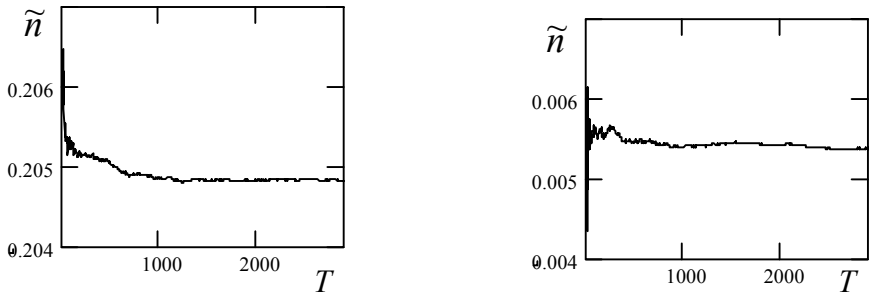
Рис. 10. Спектральная плотность скорости воздушного потока на датчике в исходящей струе (шахта «Инская»), сплошная линия – действительная часть, пунктир – мнимая часть

Дата	Корреляция между изменениями концентрации метана и скорости	
	в исходящей	во входящей
01.02.2002	0.324	-0.015
07.02.2002	0.392	-0.352
08.02.2002	0.633	-0.158

начальной величины. Анализ корреляционных связей между скоростью потока и концентрацией метана (поминутные отсчеты) во входящей и исходящей струях показывает, что эти связи во втором случае значительно выше, что дает основания полагать присутствующим приток метана из выработанного пространства.

Зная продолжительность таких корреляций и текущие значения концентрации в исходящей струе можно оценивать интенсивность дополнительного метановыделения из выработанного пространства и выбирать режим изменения вентиляции, исключающий переходные процессы.

Оценим, насколько состоятельны полученные нами результаты. Изменение оценки математического ожидания концентрации метана в зависимости от объема выборки показано на рис. 11. Мы видим, что значение математического ожидания быстро стремится к константе.



а) *б)*

Рис. 11. Зависимость оценки математического ожидания концентрации метана на датчиках метана в начале а) и конце б) вентиляционного штрека от объема выборки. По горизонтальной оси откладывается время в минутах

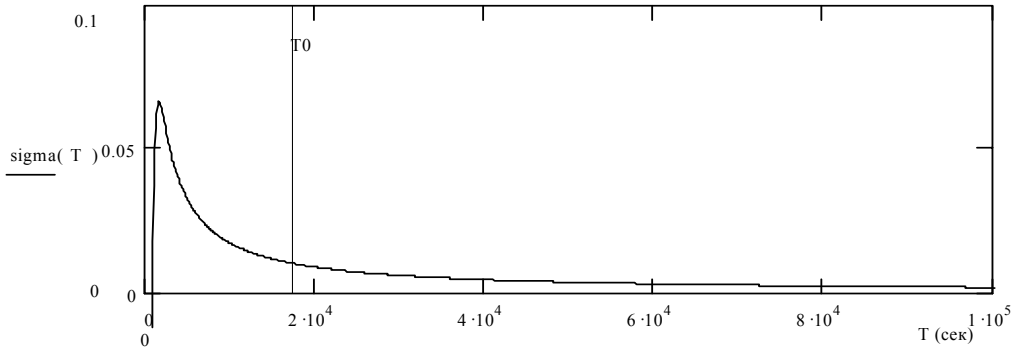


Рис. 12. Зависимость относительной дисперсии оценки математического ожидания концентрации метана. Дисперсия оценки приводится по отношению к вычисленной дисперсии процесса. T0 – длительность измерения при которой достигается точность 1%. По горизонтальной оси откладывается время в секундах

Для того чтобы проверить, является ли процесс изменения концентрации метана эргодическим, рассмотрим функцию $D[\tilde{n}]$ в зависимости от T – длительности измерений (рис. 12) (см. формулу (12)):

$$\mathrm{sigma}(T) := \sum_{j=0}^{n} \frac{a_j}{\alpha_j \cdot T} \cdot \exp\left[\frac{-(\beta_j)^2}{4\cdot(\alpha_j)^2}\right] \cdot \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \mathrm{erf}(\alpha_j \cdot T) - \frac{1}{2\cdot\alpha_j \cdot T}\right).$$

T0 = 4.1 час.

Таким образом, процесс изменения концентрации метана является эргодическим начиная со времени T0. Значит, выбранный нами метод обработки статистических данных является корректным. По приведенным данным можно сделать вывод, о том, что наша оценка является состоятельной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов А.М.* Основы геоэкологического мониторинга угольных шахт, М.: Издательство МГГУ. 2003.

2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. Государственное изд-во физико-математической литературы, 1958.

3. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике, М.: Наука, 1984.

Коротко об авторах

Румянцева В.А. – Московский государственный горный университет.

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
ВЭЙ БИНЬ	Совершенствование экономического механизма управления энергетическими ресурсами Китая	08.00.05	к.э.н.
ИГНАТСКАЯ Людмила Ярославовна	Формирование механизма повышения эффективности управления угледобывающими компаниями	08.00.05	к.э.н.