

УДК 616.24–073.173

А.В. Воронцов**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ
В ИНТЕГРАЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ
АНЕМОМЕТРИИ**

Рассмотрена проблема контроля проветривания горных выработок. Предложен новый тип приборов для контроля проветривания горных выработок – интегральный акустический анемометр. Его принцип основан на прозвучивании всего сечения выработки, что позволяет с высокой точностью контролировать среднюю по сечению (интегральную) скорость в автоматическом режиме, что невозможно при использовании обычных (точечных) приборов. Внедрение такого прибора на шахты позволит значительно повысить безопасность ведения горных работ. Рассмотрены проблемы, связанные с разработкой такого прибора и описаны пути их решения.

Ключевые слова: интегральный акустический анемометр, прозвучивание сечения выработки, безопасность горных работ.

Семинар № 24

Обычные типы анемометров, применяемые на шахтах, позволяют измерять скорость потока воздуха в данной точке пространства, при этом информацию о скорости и расходе воздуха в данном сечении выработки можно получить лишь приблизительно, так как неизвестна форма эпюры скоростей в данном сечении. Однако, возможно и более точное измерение средней по сечению скорости и расхода, однако для этого необходимо вручную обойти все сечение выработки (рис. 1), а за-

тем обработать полученные данные при помощи одной из методик, предназначенных для такого рода измерений [1]. Недостаток такого метода очевиден – большие объемы ручного труда и малая производительность, а также отсутствие возможности автоматизировать данный процесс.

Для решения данной проблемы предлагается новый тип анемометра – интегральный акустический анемометр. Его принцип основан на прозвучивании всего сечения выработки под углом 45 градусов (рис.2), что

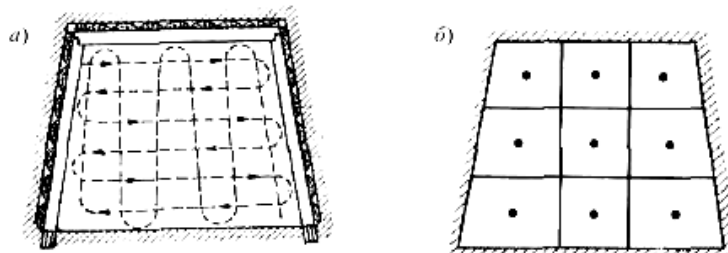


Рис. 1. Схемы измерений средней по сечению скорости движения воздуха: а – путем обхода датчиком поперечного сечения выработки; б – точечным методом по секциям поперечного сечения выработки

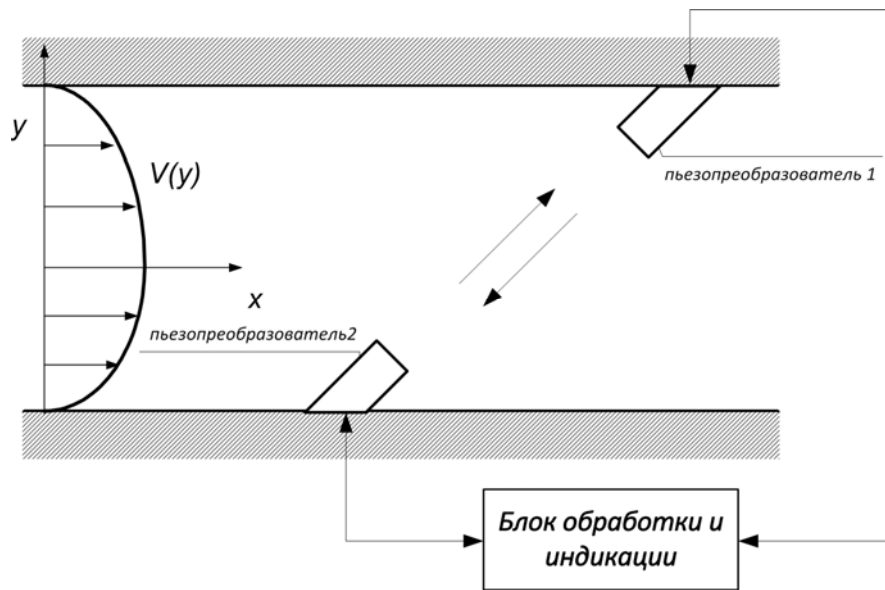


Рис. 2. Иллюстрация принципа работы интегрального акустического анемометра

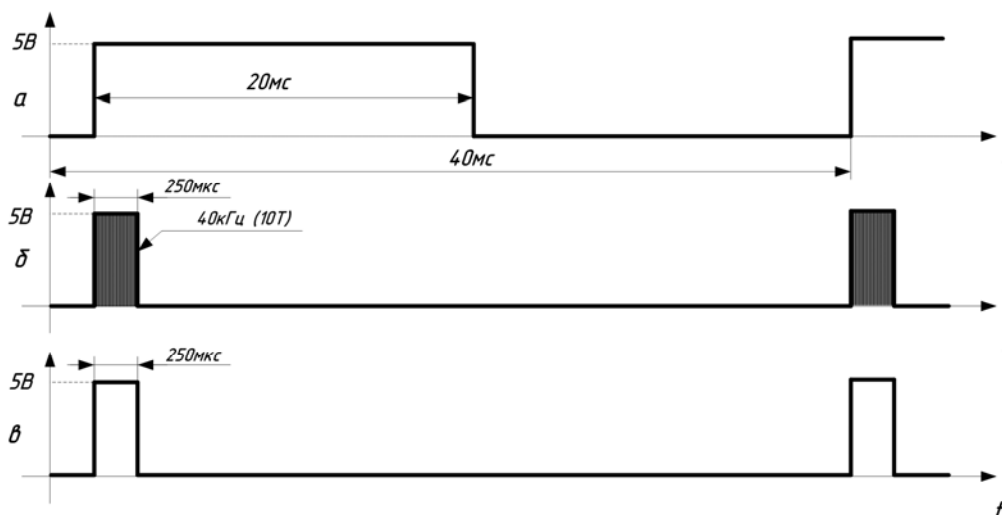


Рис. 3. Временные диаграммы излученных сигналов в интегральном акустическом анемометре

позволяет извлечь информацию о среднем по сечению расходе и скорости в выработке. Данный прибор идеально подходит для автоматизированного измерения и мониторинга, так как участие человека не требуется в течение всего процесса измерений.

Разработка интегрального акустического анемометра представляет собой сложную задачу, включающую в себя выбор типа сигналов, используемых для работы, выбор типа пьезопреобразователей, применяемых для электроакустического преобразования

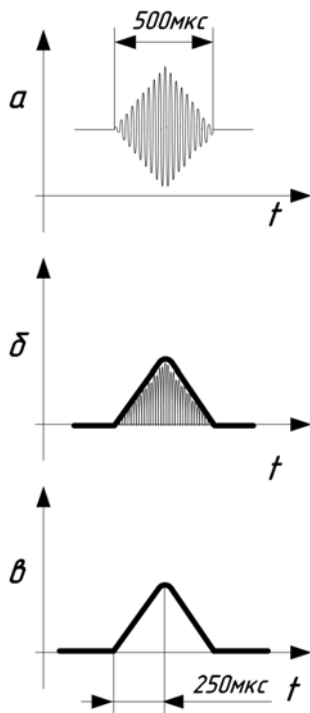


Рис. 4. Осциллограммы принятых сигналов

сигналов и т.д., однако наиболее сложной частью задачи является, безусловно, обработка принятых преобразователями сигналов. В результате ряда исследований выяснилось, что оптимальной формой сигнала для измерения скорости потока в воздухе является короткая пачка импульсов (рис. 3), которая преобразуется на приемнике в подобие колоколообразного импульса (рис. 4). Именно последующей обработке этого сигнала и посвящена данная статья.

Для проверки работоспособности идеи первая версия интегрального акустического анемометра была реализована полностью на аналоговой технике (рис. 5), то есть для обработки сигнала применялись схемы на основе операционных усилителей. Данная версия прибора обладает большими габаритами и очень малой гиб-

костью в плане изменения принципа обработки сигнала.

Поэтому финальную версию прибора было решено реализовать на основе цифровой обработки сигналов, которая обладает рядом неоспоримых достоинств: большая гибкость и мощность алгоритмов обработки сигнала, одновременная доступность различных сигналов (таких, как например, исходный сигнал, фильтрованный сигнал и огибающая), неподверженность цифровой обработке воздействию электромагнитных помех. Помимо этого, применение цифровой обработки значительно сокращает габариты и вес прибора, так как вся обработка производится в микроконтроллере, а из обвязки остается только предварительный усилитель, мультиплексоры и аналогово-цифровой преобразователь (рис. 6).

Упрощенный алгоритм обработки сигнала в интегральном акустическом анемометре показан на Рис. 7. Для обработки в процессоре сигнал необходимо преобразовать в цифровую форму. Для этого применяется последовательно-параллельный аналого-цифровой преобразователь фирмы Analog Devices, который имеет максимальную частоту дискретизации 2 МГц. Реально в работе используются две частоты дискретизации 1,4 МГц и 45 кГц, для точной и грубой оцифровки соответственно. Грубая оцифровка применяется для настройки прибора на определенное расстояние, а точная собственно для измерений. Частота точной оцифровки выбрана из соображений максимальной допустимой погрешности прибора и адекватной передачи принятого сигнала, а частота грубой оцифровки из соображений расхода оперативной памяти в приборе и адекватной передачи сигнала на большом интервале оцифровки.

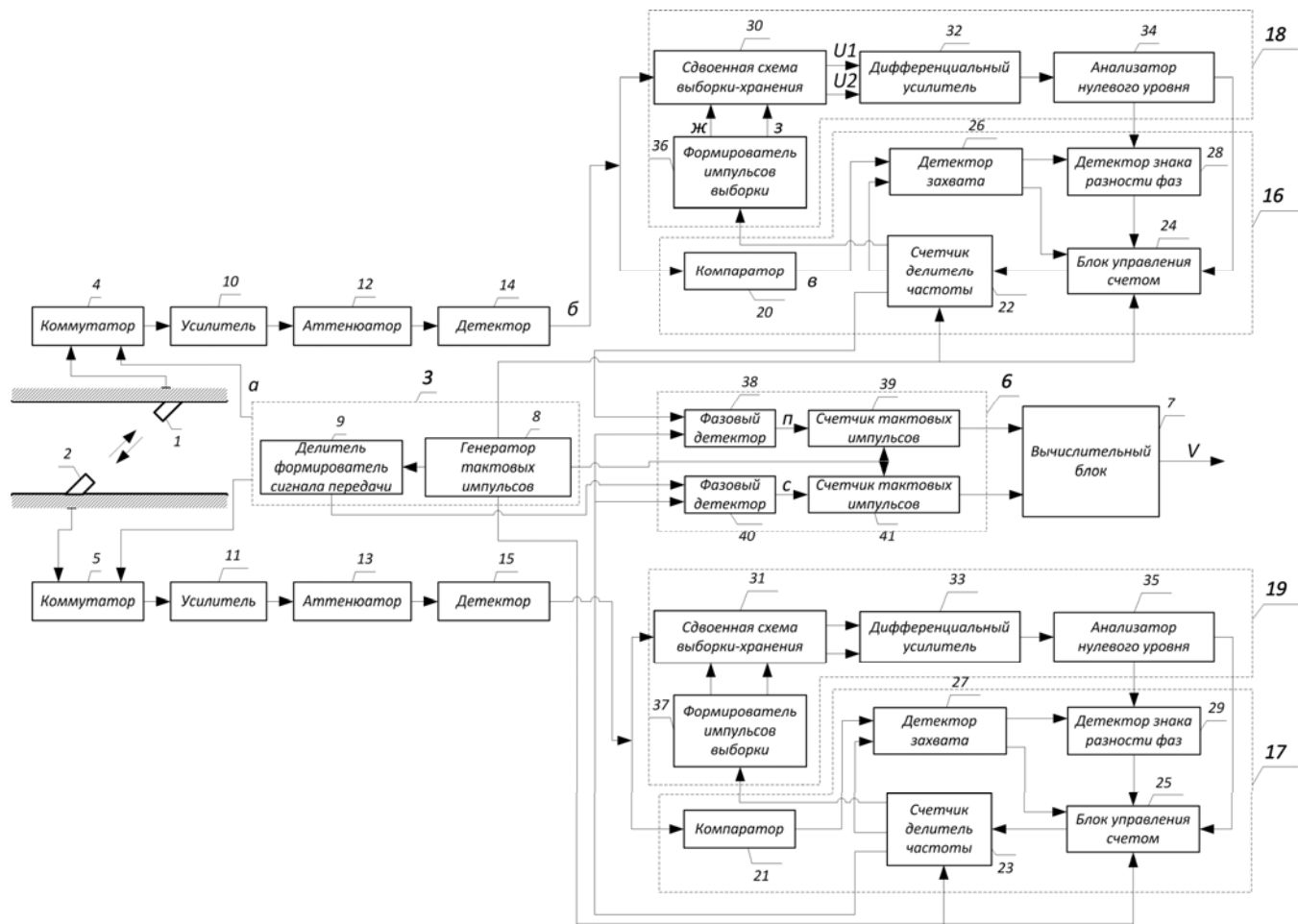


Рис. 5. Блок-схема интегрального акустического анемометра на основе аналоговых решений

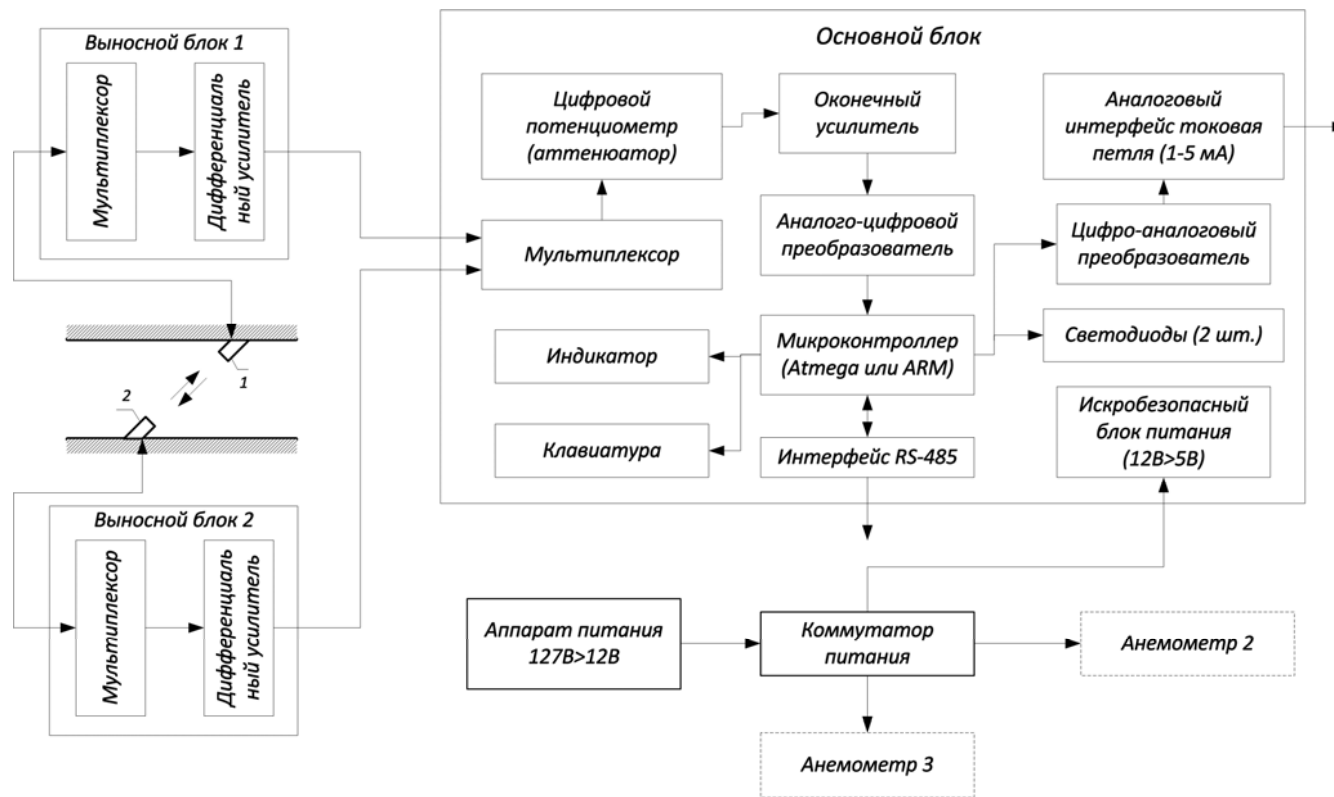


Рис. 6. Блок-схема интегрального анемометра на основе цифровой обработки сигналов

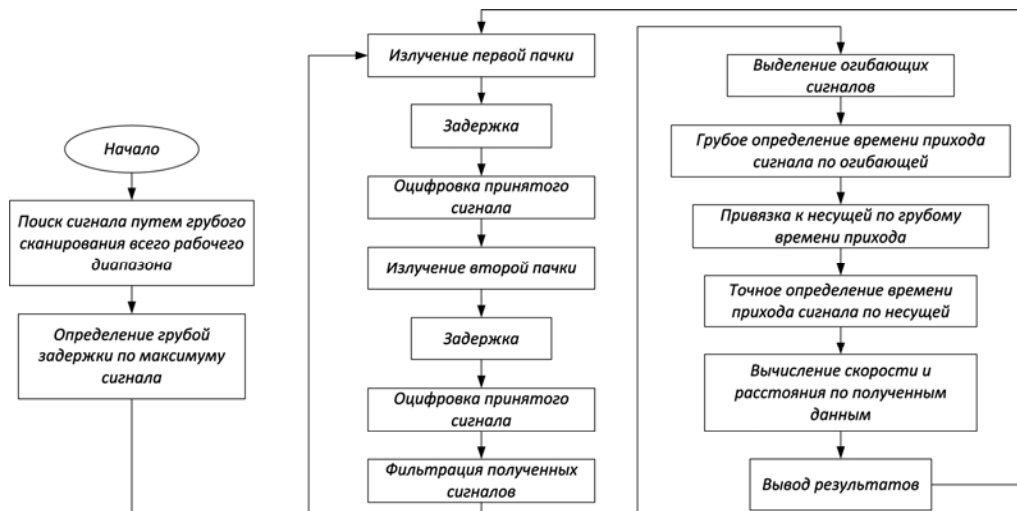


Рис. 7. Упрощенный алгоритм обработки сигнала в интегральном акустическом анемометре

Выход аналого-цифрового преобразователя параллельный и занимает целый 8 разрядный порт микроконтроллера.

Затем производится начальная настройка прибора на определенное расстояние, на котором находятся преобразователи. Она состоит из двух составляющих – настройка задержки и настройка чувствительности усилителя. Настройка чувствительности осуществляется цифровым потенциометром, который позволяет регулировать коэффициент ослабления сигнала в зависимости от цифровой уставки, заданной микроконтроллером. В случае отсутствия какой-либо уставки потенциометр работает как делитель на два, то есть состоит из двух одинаковых резисторов. Именно такой режим работы используется при первом сканировании диапазона, когда амплитуда сигнала еще неизвестна (если прибор включали ранее, то он сохраняет предыдущие настройки в энергонезависимой памяти и первым делом пробует их). Вначале весь

рабочий временной диапазон сканируется алгоритмом грубой оцифровки, которая позволяет обнаружить положение сигнала по шкале времени (и расстояния, соответственно).

Следует отметить, что для грубой оцифровки применяется явление алиасинга, так как на самом деле частота оцифровки лишь немногим больше частоты принятого сигнала. Это позволяет уместить весь рабочий диапазон в сравнительно небольшой массив памяти и проделать всю операцию по поиску сигнала за один проход. В противном случае пришлось бы сильно усложнить алгоритм, так как диапазон пришлось бы разделить на несколько поддиапазонов, что чревато как значительным усложнением программы, так и нерациональным перерасходом памяти. В случае успешного обнаружения сигнала прибор запоминает задержку, на которой находится принятый сигнал (которая эквивалентна расстоянию) и затем переходит ко второй части настройки – настройке чувствительности. В памяти прибора хранятся определенные

соотношения расстояния и амплитуды сигнала, поэтому, зная расстояние, прибор берет соответствующее значение из таблицы и устанавливает чувствительность в соответствии с ним. После этого происходит тестовое прозвучивание рабочего расстояния, для того, чтобы проверить, действительно ли установленные параметры оптимальны для работы. Если принятый сигнал удовлетворяет установленным критериям (его амплитуда находится в пределах от 0,3 до 0,7 от максимума), то настройка признается успешной и прибор переходит в нормальный режим работы, используя найденные параметры. Если же настройка не удалась, то прибор уходит на второй круг итерации. В случае неудачи существует два варианта развития событий – либо сигнал слишком слаб и не поддается надежному анализу, либо сигнал зашкаливает и не умещается в рабочем диапазоне аналого-цифрового преобразователя, что также препятствует его нормальному анализу. В обоих случаях необходима коррекция чувствительности усилителя. В первом случае чувствительность просто устанавливается на максимум (маловероятно, что столь слабый сигнал может зашкалить при увеличении коэффициента усиления в два раза), а во втором действуют методом последовательного приближения. Во время первой итерации чувствительность уменьшают в десять раз и вычисляют затем на основании полученной амплитуды оптимальную чувствительность (уставку цифрового потенциометра), при которой сигнал составляет 0,3 – 0,7 от максимума. Если же и при этом значении сигнал зашкаливает, то выбирают максимальное ослабление и повторяют операцию. Если же данный алгоритм не привел к успеху и сигнал так и не удалось «поймать», значит имеет место либо неисправность аппаратной час-

ти, либо загромождение сечения, либо неточное нацеливание преобразователей друг на друга. Задача следующего алгоритма попытаться определить причину неисправности и выдать на индикатор сообщение о соответствующей ошибке. Данный алгоритм пока находится в разработке, поэтому здесь не рассматривается.

После того, как прибор успешно настроился на сигнал, он начинает работать в нормальном режиме, используя найденные величины задержек и чувствительности. Для оцифровки сигнала в рабочем режиме используется высокая частота (1,4МГц), которая позволяет записать сигнал с высокой точностью. Получение исходных данных производится в следующей последовательности: сначала сигнал излучается в одну сторону, затем принятый сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию, а полученные данные сохраняются в массив в оперативной памяти микроконтроллера, затем сигнал сразу же излучается в противоположную сторону и принятый сигнал также оцифровывается и записывается в другой массив такого же размера. После этого оба массива подвергаются цифровой обработке. Первой операцией обработки является цифровая фильтрация. Цифровая фильтрация позволяет значительно снизить уровень шумов в сигнале и сузить полосу пропускания системы, что, в конечном итоге, значительно снижает подверженность прибора воздействию как электромагнитных, так и акустических помех и увеличивает точность измерения. После этого, фильтрованный сигнал детектируется, то есть из него выделяется огибающая. Стоит отметить, что выделение огибающей необходимо только при включении прибора или потере сигнала (например, в результате перекрытия сечения). В нормальном режиме работы огибаю-

шая не нужна и используется только для начальной привязки к принятому сигналу. Детектирование происходит следующим образом: фильтрованный сигнал возводится в квадрат (с целью выпрямления), а затем фильтруется цифровым фильтром нижних частот. Возведение в квадрат предпочтительнее простого взятия модуля, потому что позволяет дальше «разнести» по шкале частот фильтруемый и пропускаемый сигнал, поэтому полученный сигнал проще фильтровать. Так как наиболее стабильной частью сигнала является фронт огибающей, то привязка производится именно по нему. Для повышения стабильности и помехоустойчивости этой привязки берется три точки на склоне фронта огибающей: $1/5$, $1/3$ и $2/3$ от максимума огибающей, а затем находится среднее от величин, полученных в этих точках. Полученная точка привязки используется для привязки уже к несущему синусоидальному сигналу частотой 40 кГц. Привязка производится к ближайшему периоду несущей частоты. После этого вся работа производится по несущему сигналу, а огибающая используется только для контроля правильности используемого периода. Самое сложное – это обеспечить «захват» нужного периода принятого сигнала, так как в случае

ошибки на даже на один период погрешность становится недопустимо большой. Данная операция производится симметрично для обоих каналов, а затем полученные данные используются для нахождения величин скорости и расстояния. Расстояние в приборе играет роль вспомогательного параметра, так как используется для вычислений скорости, а помимо этого облегчает визуальный контроль исправности прибора.

Заключение

В результате проделанной работы была подтверждена эффективность методов цифровой обработке в разработке такого класса приборов. Реализация данного метода на основе современной элементной базы (микроконтроллерах семейства ARM) может обеспечить высокие эксплуатационные характеристики прибора, такие как точность, надежность и малое энергопотребление. Внедрение данного метода на шахтах позволит контролировать расход воздуха в вентиляционных выработках в автоматическом режиме, что будет способствовать более рациональному управлению вентиляцией шахты, позволит сэкономить электроэнергию, расходуемую на проветривание шахты и улучшить условия труда горнорабочих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкундин С.З., Кремлева О.А., Румянцева В.А. Теория акустической анемометрии. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001.

2. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 464 с.: ил. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Воронцов А.В. – ассистент кафедры Электротехники и информационных систем, vorontsov@sirsensor.ru
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru