

# Преимущества применения цифровой обработки сигнала с использованием спектрального анализа в вихревых расходомерах «ЭМИС-ВИХРЬ 200»



Электронный вихревой расходомер «ЭМИС-ВИХРЬ 200», разработанный компанией ЭМИС, позволяет контролировать процесс измерения расхода веществ с помощью спектрального анализа, что расширяет функциональные возможности прибора, не увеличивая его стоимости. В статье подробно описан принцип действия расходомера и особенности программного обеспечения «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР».

ЗАО «Электронные и механические измерительные системы»,  
г. Челябинск

С каждым днем условия конкуренции среди производителей контрольно-измерительных приборов и автоматики усложняются и ужесточаются. За последнее время перечень базовых методов измерения не изменился и по сей день остается прежним. Революционный прорыв произвели массовые расходомеры, а качество и цена перестали быть конкурентными преимуществами и перешли в разряд обязательных критериев отбора оборудования.

В настоящее время благодаря высокому уровню развития микропроцессорной техники перспективным направлением в создании приборов измерения расхода веществ является применение методов цифровой обработки сигнала с использованием спектрального анализа. Приборы со спектральным анализом цифровых сигналов обладают рядом явных преимуществ по сравнению с аналоговыми приборами измерения расхода. Такие продукты, разработанные российскими инженерами, появились на отечественном рынке в начале 2000-х годов. Наиболее широкое распространение из всех подобных устройств получили вихревые расходомеры.

В статье рассмотрены основополагающие принципы определения расхода с помощью современных программно-аппаратных средств измерения. На примере вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» (рис. 1), выпускаемого российским производителем КИПиА компанией ЗАО «Электронные и механические

измерительные системы» (ЭМИС), продемонстрированы структура и метод обработки оцифрованного сигнала от первичного датчика. Также в статье определены основные преимущества, достигнутые в результате цифровой обработки сигнала, указаны математические алгоритмы, позволяющие существенно улучшить качественные характеристики оборудования.

Цифровая электроника вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200»



Рис. 1. Вихревой расходомер ЭМИС-ВИХРЬ 200

(версии V.8) создана на базе мощного процессора цифровой обработки сигнала Blackfin от компании Analog Devices. Высокопроизводительный процессор способен обрабатывать сигнал от сенсора расходомера, используя математические методы спектрального анализа в режиме реального времени, что позволяет добиваться превосходных результатов в точности измерений.

В процессоре происходит автоматический анализ спектра сигнала, позволяющий непрерывно контролировать измерение расхода в режиме реального времени. В случае кавитации или хаотического вихреобразования коды диагностических сообщений автоматически выводятся на дисплей прибора. Контроль над процессом измерения обеспечивается и функцией самодиагностики расходомера. Вихревой расходомер «ЭМИС-ВИХРЬ 200» способен по команде оператора или по расписанию выполнять самостоятельное тестирование своих внутренних электронных блоков обработки сигнала. При обнаружении нарушений в работе электронной части прибора коды диагностических сообщений автоматически выводятся на дисплей прибора. На процессорной плате расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» установлены датчики вибрации и температуры, что позволяет удаленно диагностировать условия эксплуатации прибора. При этом показания датчика температуры непрерывно архивируются.



Рис. 2. Настройка расходомера с помощью программы «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» для учета закачиваемой в скважину подтоварной воды (технологический процесс поддержания пластового давления)

Цифровая обработка сигнала в «ЭМИС-ВИХРЬ 200» позволяет выполнять поверку прибора как на жидкой, так и на газообразной среде.

Применяемая электроника V.8 защищает все метрологические коэффициенты с помощью технологии «цифровая пломба». Это означает, что «ЭМИС-ВИХРЬ 200» на основе данных о своих метрологических коэффициентах вычисляет определенную величину, называемую «метрологической суммой». Метрологическая сумма уникальна для любого набора значений метрологических коэффициентов и позволяет однозначно судить о несанкционированном вмешательстве в настройку прибора.

Функциональность и практичность цифровой электроники на базе вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» по измерению расхода достигается в результате применения фирменного программного обеспечения «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» (рис. 2) с удобным графическим интерфейсом на платформе Windows.

Благодаря применению технологии обработки сигнала методом прямого и обратного преобразования Фурье, программное обеспечение «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» предоставляет широкие возможности для анализа качества процесса измерения:

► отображенный в графическом виде спектр сигнала от сенсора рас-

ходомера позволяет однозначно судить о метрологической достоверности измерения;

► благодаря графическому представлению спектра сигнала выявляются источники шумов и вибраций, оказывающих негативное воздействие на процесс измерения расхода.

Программа дает возможность мгновенно включить и настроить необходимый цифровой фильтр и таким образом получить наилучшее соотношение «сигнал/шум». Цифровая фильтрация, основанная на анализе спектра сигнала, позволяет увеличить стойкость прибора к вибрации, а также расширить диапазон измерения расхода с сохранением метрологических характеристик.

Основная функциональность программы «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» выглядит следующим образом. Имеются прямые фильтры – для борьбы с нежелательными постоянными воздействиями (вибрацией, различными шумами); в электронике версии V.8 предусмотрено 4 полосовых настраиваемых фильтра и 1 фильтр для отключения наводок из сети (50 Гц). Полосовые фильтры не ограничены по ширине. Возможно их комбинирование.

На представленном спектре (рис. 3а) видим, что полезный сигнал (на частоте 200 Гц) перекрывается помехой (на частоте 50 Гц), и прибор показывает некорректный расход. Природа данной помехи может быть неизвестна, либо

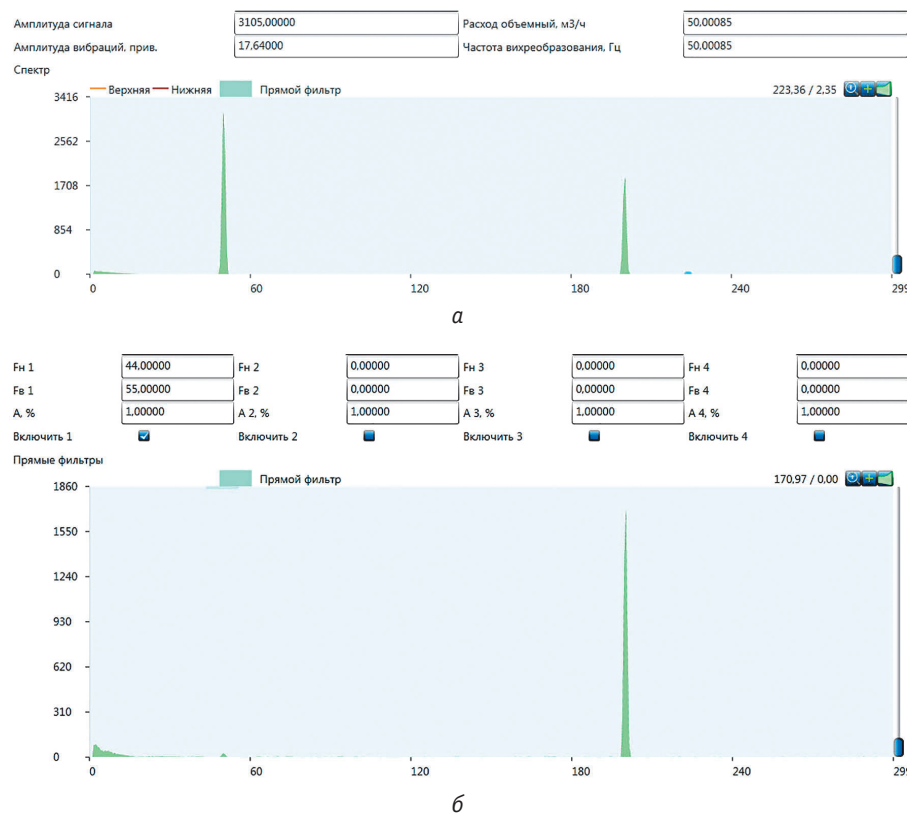


Рис. 3. Спектральное представление сигнала сенсора: а – фильтр не настроен; б – настроен прямой фильтр

помеху невозможно устранить физически. Чтобы нивелировать ее влияние, необходимо настроить прямой фильтр (на частоте примерно от 44 до 65 Гц), помеха должна уменьшиться в 100 раз (рис. 3б).

В электронике и программе присутствует медианный фильтр, используемый для устранения нежелательных случайных воздействий. Данный фильтр отвечает за то, чтобы показания вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» не изменялись под влиянием случайной помехи. Неоспоримым достоинством этого вида фильтра является его способность работать в автоматическом режиме.

Электроника версии V.8 предоставляет возможность самотестирования, которое позволяет определить состояние прибора. В программе «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» на правой панели отображены индикаторы: зеленый индикатор означает, что данная подсистема работает нормально, красный – подсистема дала сбой. При активизации индикатора курсором открывается окно с более подробным описанием и рекомендациями. Таким образом, первичную диагностику работы расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» можно провести, подключив к нему по RS-485 либо USB обычный компьютер или ноутбук.

Функция сохранения (загрузки) настроек позволяет осуществлять резервирование настроек расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200». Функция дает возможность получать настройки для прибора от компании-производителя и настраивать прибор с учетом конкретных условий среды без демонтажа расходомера.

Функциональные возможности электроники и программы «ЭМИС-ИНТЕГРАТОР» позволяют сделать запись спектра и отправить его в сервисный центр производителя по обычной электронной почте.

Функция записи (воспроизведения) позволяет зафиксировать работу прибора в файле и воспроизвести записанный ранее файл. Также с ее помощью можно записать работу «ЭМИС-ВИХРЬ 200» и отправить в сервисный центр для оценки измерения. По данной за-



Рис. 4. Структурная схема обработки сигнала

писи производитель способен точно оценить правильность настроек прибора и дать рекомендации. Кроме того, может быть создан файл настроек конкретно для вашего прибора и рабочей среды. Важно отметить, что все эти действия осуществляются без прерывания процесса измерения, то есть прибор не нужно демонтировать.

Также функция дает возможность диагностировать состояние проточной части расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200» (загрязнение и др.). Для этого необходимо записать эталонный файл (сразу после установки расходомера на трубопровод). Подобная возможность, предоставляемая электроникой и программным обеспечением, дает важное преимущество: позволяет сравнивать работу прибора с эталонным файлом и диагностировать состояние проточной части.

В соответствии с предлагаемым подходом вихревой расходомер «ЭМИС-ВИХРЬ 200» воспринимает сигналы с сенсора (например пьезоэлектрического, термоанемометрического, ультразвукового и др.) и производит его усиление, фильтрацию и обработку.

Упрощенная структурная схема обработки сигнала представлена на рис. 4.

Традиционно обработка проводится аналоговыми методами с помощью RLC-фильтров и операционных усилителей. Далее сигнал

нормируется с помощью либо инструментальных усилителей, либо компаратора и микроконтроллера.

Наиболее перспективными способами проведения измерений в современной расходомерии являются методы цифровой обработки сигнала. В этом случае для нормирования и последующей обработки первичного физического сигнала, преобразованного в электрический, используется аналого-цифровой преобразователь. Простейшая реализация данного метода измерения возможна с помощью однобитного преобразователя с применением компаратора. В этом случае микроконтроллер в части обработки сигнала осуществляет лишь подсчет количества импульсов за единицу.

Если сигнал близок к синусоиде, что наблюдается при средних и больших скоростях движения среды, частота переходов сигнала через пороговый уровень соответствует расходу. Однако если соотношение «сигнал/шум» понижается, что неизбежно при работе на малых скоростях (расходах) и в условиях повышенной вибрации, то сигнал становится далеким от синусоиды, появляются ложные срабатывания. Сравнение результатов простейшей оцифровки при большом и малом расходе приведено на рис. 5.

Применение производительных электронно-вычислительных мощностей позволяет осуществлять сложные математические алгоритмы,

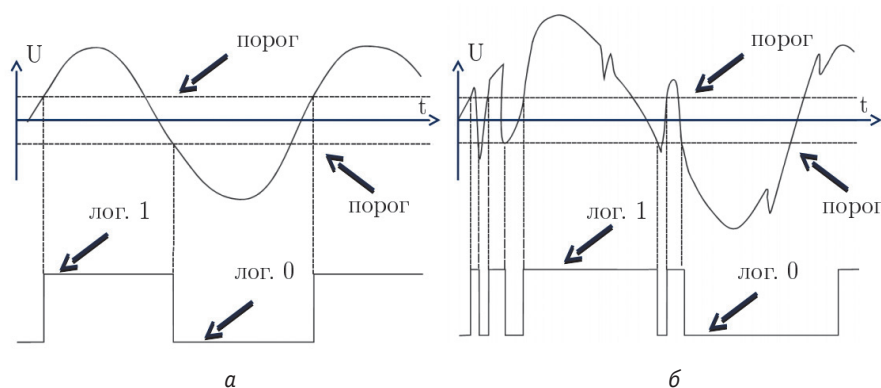


Рис. 5. Сравнение результатов простейшей оцифровки при различных расходах: а – большом, б – малом



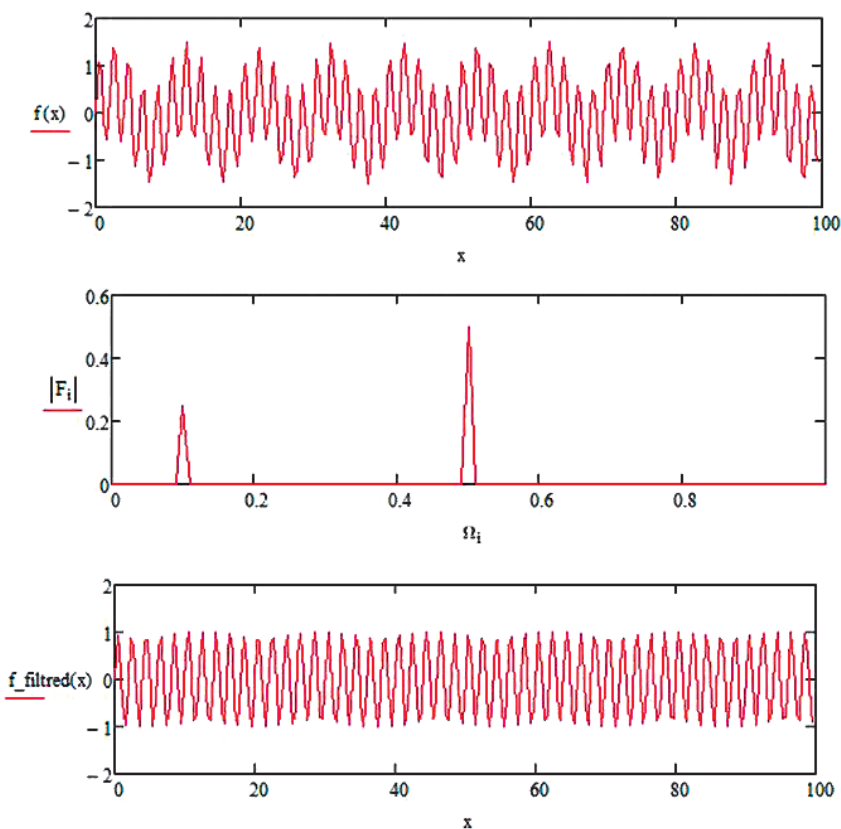


Рис. 6. Пример цифровой обработки с применением БПФ и ОБПФ

что дает возможность существенно расширить динамический диапазон и улучшить метрологическую составляющую учета. Одним из способов математической обработки сигналов является преобразование Фурье.

В простейшем случае входной сигнал с первичного преобразователя (сенсора) во временной области преобразуется в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Частота составляющей спектра с наибольшей амплитудой считается частотой полезного сигнала.

Более точного и стабильного вычисления частоты вихреобразова-

ния можно достичь с помощью комбинации прямого и обратного преобразования. Для этого выбранная составляющая спектра и ближайший к ней «лепесток» из ненулевых составляющих, полученных посредством прямого преобразования Фурье, преобразуются во временную область посредством обратного преобразования Фурье (ОБПФ). Полученный выходной сигнал имеет вид, приближенный к синусоиде, и может быть обработан с помощью подсчета периода времени между переходами сигнала через пороговое значение. Работа метода проиллюстрирована на рис. 6.

Перечислим достоинства вихревых расходомеров «ЭМИС-ВИХРЬ 200» с цифровой обработкой сигнала:

- возможность фильтрации от различного рода помех;
- возможность просмотра спектра как исходных данных для обработки, а не только результата;
- возможность диагностики нестандартных состояний работы прибора, например кавитации и паразитного вихреобразования;
- контроль за положением сигнала на шкале частот для определения выхода за метрологический диапазон;
- приборы с цифровой электроникой дают возможность осуществлять удаленную диагностику процесса измерения при эксплуатации без остановки потока.

Дополнительным преимуществом является наличие обратной связи. Она позволяет прибору проводить контроль целостности своих выходных цепей.

Также цифровая обработка сигнала позволяет калибровать прибор, то есть вводить корректировку выходного сигнала в зависимости от его значения до калибровки. Действие такой калибровки условно показано на рис. 7. Полученная «корректировочная таблица» хранится в цифровом виде и может быть легко восстановлена.

Инновационный подход к проблеме обработки сигнала с сенсора расходомера на основе прямого и обратного преобразования Фурье позволяет значительно расширить функциональные возможности вихревого расходомера «ЭМИС-ВИХРЬ 200», создавая новые конкурентные преимущества без значительного удорожания стоимости прибора.

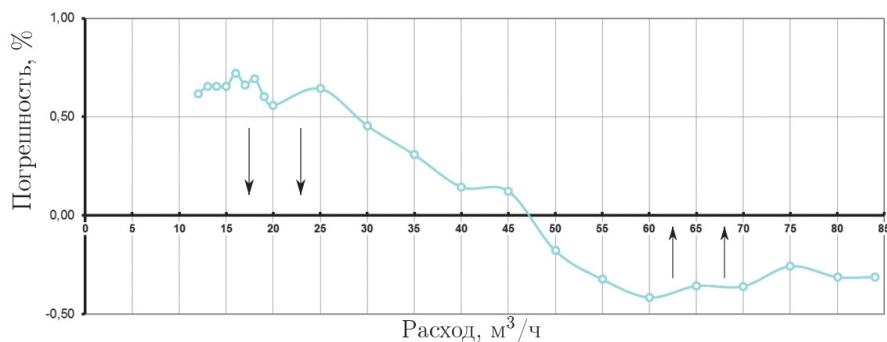


Рис. 7. Калибровка расходомера с помощью корректировочной таблицы

В. В. Кортиашвили,  
 коммерческий директор;  
 Е. В. Костарев, начальник  
 инженерного отдела;  
 Е. И. Крахмалев, аспирант кафедры  
 автоматики и управления ЮУрГУ,  
 руководитель группы автоматики  
 и схемотехники  
 ЗАО «Электронные и механические  
 измерительные системы», г. Челябинск,  
 тел.: (351) 729-9912,  
 e-mail: sales@emis-kip.ru,  
[www.emis-kip.ru](http://www.emis-kip.ru)