

### Резистивный метод неразрушающего определения остаточных напряжений

Резистивный электроконтактный метод неразрушающего контроля остаточных напряжений основан на корреляции между интегральными электрическими и механическими характеристиками металлов и сплавов – удельной электрической проводимостью или удельным электрическим сопротивлением в  $h$ -слое металла и деформирующей способностью остаточных напряжений, связанной с изменением кристаллической решетки при деформации.

Существует взаимосвязь между удельной электрической проводимостью и механическими напряжениями, она определяется формулой:

$$\gamma = \frac{e^2 E n_0}{m k T V_T N_0 \pi} \cdot d, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона, Кл;  $m$  – масса покоя электрона, кг;  $n_0$  – число электронов проводимости в единице объема;  $E$  – напряженность поля, В/м;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $T$  – абсолютная температура, К;  $V_T$  – скорость теплового движения электронов, м/с;  $N_0$  – число атомов в единице объема;  $d$  – период кристаллической решетки, м. Известна связь удельной электрической проводимости  $\gamma$  с удельным электрическим сопротивлением  $\rho = 1/\gamma$ .

При отсутствии механических напряжений металл имеет номинальное значение периода решетки  $d_0$  и соответствующее номинальное значение удельной электрической проводимости  $\gamma_0$ . Под действием изменения механических напряжений  $\Delta\sigma$  имеет место изменение периода решетки металла  $\Delta d$ . В зоне упругих деформаций это изменение можно считать пропорциональным механическому напряжению. В соответствии с (1) изменение электропроводности  $\Delta\gamma$  также пропорционально средним механическим напряжениям  $\Delta\sigma$  по формуле:

$$\Delta\gamma = K_\sigma \Delta\sigma, \quad (2)$$

где  $K_\sigma$  – экспериментально определяемый коэффициент, характеризующий свойства материала.

Таким образом, измеряя электрические свойства проводящих изделий, можно определять механические напряжения в них. При этом необходимо измерять распределение электрических параметров в механических напряжениях по глубине изделий. Для измерения распределения удельного сопротивления по глубине используется явление скин-эффекта, при котором ток высокой частоты сосредотачивается у поверхности проводника, которая является ближайшей к источникам поля, вызывающим появление токов. На основании решения системы уравнений Максвелла для проводящего полупространства глубина проникновения тока  $h$  в таком проводнике определяется выражением:

$$h = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \gamma}}, \quad (3)$$

где  $f$  – частота тока, Гц;  $\mu$  – магнитная проницаемость материала, Гн/м;  $\gamma$  – удельная электропроводность материала, Ом<sup>-1</sup>. Величина плотности тока как экспоненциально уменьшается с увеличением глубины, а  $h$  представляет значение глубины (3), на которой плотность тока падает в "e" раз по сравнению с исходным значением тока на поверхности.

Использование явления скин-эффекта позволяет послойно исследовать поверхностный слой изделия путем подачи в него тока различной частоты и измерения сигнала отклика, параметры которого связаны с изменением напряженного состояния материала изделия. Уменьшая соответственно формулой (3) частоту посылаемого в изделие переменного тока, увеличивается глубина исследуемого слоя. Выбор рабочих частот обеспечивает требуемый диапазон глубин изделия.

П.А. Александров

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Кузичкин О.Р.  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23  
e-mail: alexandrov.pavel1991@yandex.ru

### **Методы неразрушающего контроля металлоконструкций**

В исследовательской работе рассмотрены существующие методы неразрушающего контроля металлоконструкций. В частности описывается акустический метод, его подгруппы, особенности, свойства.

Методы акустического контроля делят на две большие группы: активные, в которых акустические колебания и волны возбуждаются и принимаются, и пассивные, использующие только прием колебаний и волн.

Колебания в последнем случае возбуждаются под действием процессов, происходящих в самом объекте контроля: механизме, изделии или образце. Например, образование трещин сопровождается возникновением акустических колебаний, выявляемых акустикоэмиссионным методом. К пассивным методам относят также вибрационно-диагностический (измеряют вибрации какого-либо узла или детали) и шумодиагностический (изучают шумы работающего механизма на слух или с помощью приборов).

Активные акустические методы делят на две подгруппы: в одной применяются бегущие (т.е. распространяющиеся в объекте контроля) волны, а в другой - колебания самого объекта контроля. Внутри подгрупп методы различают по способам выявления дефектов. В методах прохождения излучающий и приемный преобразователи располагают по разные стороны объекта контроля или контролируемого его участка. Информацию получают, измеряя амплитуду или время прихода прошедшего от излучателя к приемнику (сквозного) сигнала. Например, дефект ослабляет сквозной сигнал (амплитудный теневой метод). В методах отражения информацию о наличии дефектов получают, измеряя как время пробега отраженного сигнала, так и его амплитуду.

Первичный информативный параметр – конкретный параметр, который используют для характеристики контролируемого объекта. В акустическом контроле это амплитуда, время прихода сигнала, частота колебаний и т. п. Измеряемую характеристику, по которой принимают решение об отсутствии или обнаружении дефекта, называют главной измеряемой характеристикой.

Способ получения первичной информации - датчик, который используют для измерения и фиксации информативной характеристики. Для акустического контроля это пьезоэлектрические преобразователи.

Метод акустического контроля основан на регистрации эхосигналов от дефектов: трещин, неровностей, полостей и т.д. Он похож на радио- и гидролокацию. Принцип его работы в следующем. Генератор возбуждает короткие электрические импульсы, далее они преобразуются в импульсы ультразвуковых колебаний, которые направлены на объект контроля. Они отражаются от дефектов и противоположной поверхности объекта контроля. Далее они принимаются пьезоэлектрическим преобразователем. Преобразователь превращает сигналы из ультразвуковых в электрические. От него сигнал поступает на усилитель, а затем результат выводится на экран монитора.

В результате экран ультразвукового эхо-дефектоскопа отображает информацию двух видов. Ось абсцисс (линия развертки дефектоскопа) соответствует времени пробега импульса в объекте контроля, а это время пропорционально пути импульса. Высота пиков (импульсов) по оси ординат пропорциональна амплитудам эхосигналов. Таким образом, по горизонтальной линии развертки определяют длину пути импульса, а по вертикальной шкале оценивают его амплитуду. Такое изображение сигнала называют разверткой типа А (А-разверткой).

Измеряя времена прихода сигналов по шкале на экране или специальным устройством прибора, можно определить расстояние до дефекта или конца изделия и таким образом различить их. Амплитуда эхосигнала характеризует отражательную способность дефекта.

А.А. Бадин

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор В.В. Булкин  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23  
e-mail: aleksejj-badin00@rambler.ru

### **Первые результаты экспериментальной проверки лабораторной акустической камеры**

Шум - беспорядочное сочетание различных по силе и частоте звуков. Шум имеет определенную частоту, выражаемую в герцах, и интенсивность - уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Нормируемым параметром шума является его интенсивность. На рабочем месте он допустим с интенсивностью в 85дБ. Интенсивный шум на производстве способствует снижению внимания и увеличению числа ошибок при выполнении работы, исключительно сильное влияние оказывает шум на быстроту реакций, сбор информации и аналитические процессы, из-за шума снижается производительность труда и ухудшается качество работы. В биологическом отношении шум является заметным стрессовым фактором, способным вызвать срыв приспособительных реакций. Акустический стресс может приводить к разным проявлениям: от функциональных нарушений регуляции центральной нервной систем до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях.

Проблема обеспечения акустической безопасности является актуальной в современных реалиях. С целью более глубокого исследования данной проблемы была построена лабораторная акустическая камера. Размеры камеры 2125x830x650. Каркас был собран из металлического профиля, который был обшит плитами фанеры различной толщины. Пространство между листами заполнено звукопоглощающим материалом (термобазальт PL-35), который обеспечивает уровень звукового затухания до 46 дБ. Внутри камеры имеются направляющие для установки на них различного оборудования. Камера имеет две дверцы для более удобного доступа к рабочему пространству. На верхней дверце установлена колодка с различными разъёмами для подключения аппаратуры. На пол камеры были уложены два слоя поролона. Это было сделано с целью создания акустического поля внутри камеры в вертикальном (снизу вверх) положении, а также для изоляции акустической системы (АС) от корпуса камеры. Кроме того, дополнительно с целью исключения возможного влияния вибраций корпуса АС на корпус камеры акустические системы установлены в ложемент, выполненный из акустического поролона, предназначенного для заглушённых камер. В качестве источника звуковых колебаний был использован мини комплекс ОДА со следующими характеристиками: максимальная выходная мощность усилителя - 2x25 Вт. АС типа 15АС-213 (диапазон воспроизводимых частот: 63 (-7 дБ) – 20000 Гц, неравномерность АЧХ звукового давления в диапазоне частот 100 — 8000 Гц: ±5 дБ).

В последующем планируется внутреннее покрытие камеры акустическим поролоном, что создаст условия для исключения переотражений от стен камеры.

После постройки был проведён эксперимент с целью получения данных о затухании звуковых колебаний, обеспечиваемых самой конструкцией камеры. В камере был установлен рупорный громкоговоритель ГРбл, который на частоте 1000 Гц обеспечил звуковое давление 116,5 дБ. Уровень затухания составил 50 дБ, что согласуется с гарантированным изготовителем шумопоглотителя PL-35 уровнем затухания 46 дБ.

Было проведено исследование АЧХ камеры. По результатам оценки в третьоктавных диапазонах установлено, что в диапазоне частот от 16 до 8000 Гц неравномерность характеристики составляет не более 5 дБ.

Контроль характеристик осуществлён с использованием шумомера ВШВ-003.

О.В. Ганьшина

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.В.Цаплёв  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23  
E-mail: [itpu@mivlgu.ru](mailto:itpu@mivlgu.ru)

### **Анализ методов измерения твёрдости тонких покрытий**

Тема данной статьи по праву может считаться актуальной, так как любой из нас в повседневной жизни контактирует с множеством предметов, проходящих ряд предварительных тестирований. Безусловно, одной из главных задач производителя является поддержание высокой надёжности производимого товара. В связи с этим, возрастает роль физических методов неразрушающего контроля.

Под неразрушающим контролем подразумевается оценка или контроль параметров надёжности, производящийся непосредственно на объекте и не осуществляющий вывод объекта из рабочего состояния [1].

Рассмотрим это подробно на примере оценки твёрдости тонких покрытий. Для этих целей, как правило, используют метод измерения микротвёрдости. Он заключается в испытании материала методом вдавливания в поверхность образца индентора с заданным усилием. Но, стоит отметить, этот метод приводит к большим неточностям при оценке свойств материалов. Кроме того, этот метод неэффективен при работе с очень тонкими, упругими и хрупкими плёнками. Вследствие этого стали использовать метод индентирования. Данный метод основывается на регистрации нагрузки и показателя глубины надавливания индентора в образец. Это позволяет вычислить не только твёрдость испытуемого образца, но и его физико-механические свойства. Помимо этого, следует выделить очень важное преимущество данного метода – при измерении твёрдости тонких покрытий глубину вдавливания индентора можно регулировать, что уменьшает влияние подложки на результат измерений. Само определение твёрдости происходит либо в процессе анализа формы и размеров пятна вдавливания (преимущество – использование более простой техники), либо по кривой зависимости положения индентора от нагрузки (в этом случае можно получить информацию и о материале). [4]

Таким образом, рассмотрев способы измерения твёрдости тонких покрытий, следует отдать предпочтение методу наноиндентирования, так как в нём исключается влияние подложки на измерения, погрешности сводятся к минимуму и этим методом можно осуществлять работу с очень тонкими, хрупкими и упругими материалами.

### **Литература**

1. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. «Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие.» - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с.
2. «Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник» / под. ред В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995.-488 с.
3. Колмаков, А. Г. «Методы измерения твёрдости. Справочное издание.» / А. Г. Колмаков, А. Ф. Терентьев, М. Б. Бакиров. М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. - 128 с.
4. Мощенок В. И. «Современные методы определения химического состава сталей и сплавов на основе цветных металлов.» - 2013. - Вып. 4. - С. 56-63.

### Разработка стенда для испытания арматуры с проходными корпусами

Современные требования к арматуре должны принимать во внимание ключевые аспекты ее конструкции, прежде всего его взаимодействие с высокими скоростями потока, перепадами давления, герметичности задвижек и клапанов.

Для проверки требований к арматуре были созданы стенды, с помощью которых можно проверить арматуру на наличие разрыва сварных швов, герметичность клапанов и задвижек. Стенды имеют две системы испытаний газом и жидкостью. Газ используется для испытания при низком давлении, кранов для раковин, сливных кранов и газовых. Жидкость используется для испытания арматуры при высоком давлении, к ним относится кран для водопровода и газопровода.

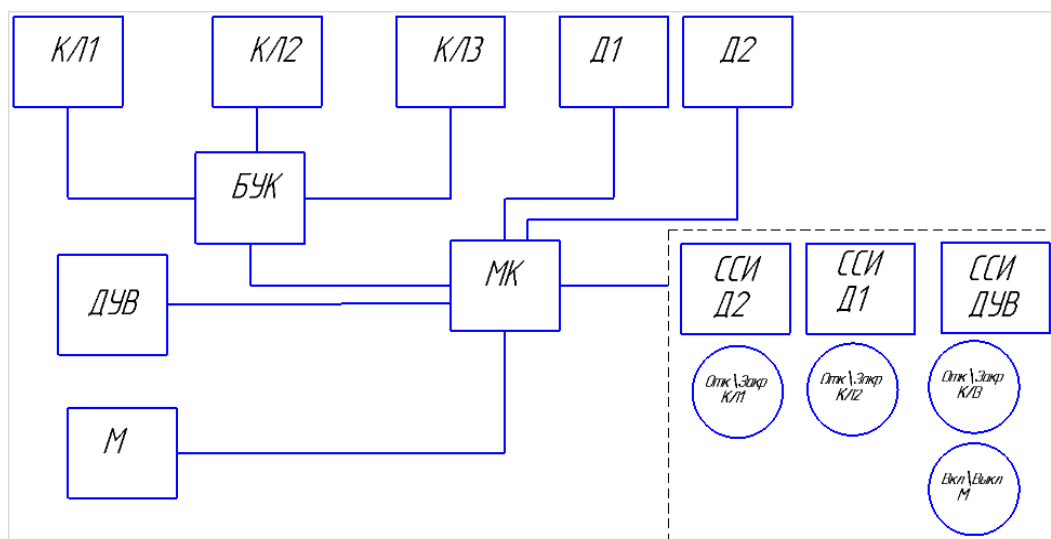


Рис. 1. Структурная схема стенда для испытания арматуры с проходными корпусами

Насос М подает воду под высоким давлением которая проходит через обратный клапан и запорно-регулирующий клапан КЛ1, вода поступает по трубопроводу до испытываемой арматуры. На схеме имеются два датчика давления, первый датчик Д1 находится перед испытываемой арматурой, для измерения давления действующий на клапан КЛ2 арматуры, второй датчик Д2 находится после арматуры который измеряет давления после клапана. Если клапан испытываемой арматуры не герметичен то на датчике Д2 будет показываться давление, а также имеется датчик уровня воды ДУВ который измеряет утечку после клапана КЛ2. Клапан КЛ3 служит сливным клапаном для стенда. Также на схеме имеется блок управления клапанами БУК, микроконтроллер МК и блок управления. В блоке управления находятся семисегментные индикаторы ССИ для двух датчиков давления Д1 и Д2 и датчик уровня воды ДУВ. Кнопки управления клапанами КЛ1, КЛ2 и КЛ3, а также кнопка Вкл\Выкл насоса М.

### Литература

1. «Испытание арматуры, стенды для испытания арматуры» [http://www.intech-gmbh.ru/fitting\\_tests.php](http://www.intech-gmbh.ru/fitting_tests.php)

### Разработка портативного газоанализатора взрывоопасных газов и паров

Современные газоанализаторы универсальны и интуитивно понятны в эксплуатации. Они не только позволяют измерять концентрацию взрывоопасных и токсичных газов в воздухе, но и своевременно сигнализируют персоналу об увеличении их. Контроль таких приборов может осуществляться как периодически, так и непрерывно.

Измерение концентрации кислорода и метана в воздухе осуществляется в приборе одновременно за счет применения двух сенсоров- сенсора кислорода и сенсора горючих газов. Преобразование концентрации кислорода в воздухе в электрический сигнал производится электрохимической ячейкой. Принцип работы канала определения взрывоопасности паров горючих газов, содержащихся в воздухе, основан на регистрации изменения сопротивления платиновой проволоки термокаталитического сенсора ДТК-1 (ТКС-1) при ее нагреве за счет тепла, выделяющегося при протекании термохимической реакции горения газа или пара в присутствии катализатора.

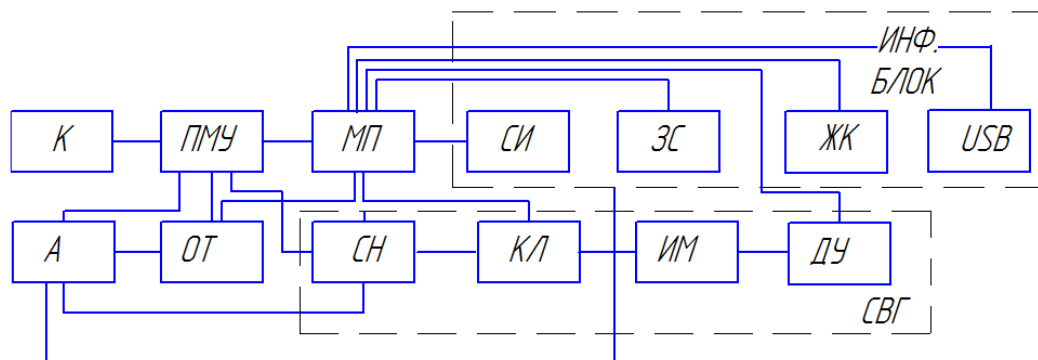


Рис. 1. Структурная схема

Аккумулятор А позволяет обеспечить питание всего микропроцессорного блока через стабилизатор напряжения. Микропроцессорный блок обработки МП производит аналого-цифровое преобразование сигналов от термокаталитического датчика пелисторного типа. Датчик состоит из рабочего и сравнительного чувствительного элемента которые соединены последовательно и имеют два канала с поддержкой мостового режима. Смена режима осуществляется с помощью блока клавиатуры. Информационный блок состоит из светодиодной индикации СИ звуковой сигнализации ЗС – зуммер. Вся полученная информация выводится на ЖК дисплей. Сигнал от электрохимического сенсора кислорода К усиливается операционным усилителем LM 324 ПМУ и поступает на АЦП atmega8. Термокаталитический сенсор СВГ вместе с измерительным полумостом ИМ образует резистивный мост, разбаланс которого усиливается дифференциальным усилителем ДУ AD626ANZ и поступает через шину на АЦП МП. С выхода СН напряжение поступает на питание измерительного моста, в который включен сенсор СВГ датчика. Включение сенсора взрывоопасных газов производится через ключ КЛ, управляемый микропроцессором МП. Напряжение разбаланса измерительного моста пропорционально концентрации исследуемого компонента, например, метана. При превышении порогового уровня концентрации взрывоопасных газов микропроцессор включает прерывистый звуковой сигнал ЗС и выводятся показания на экран.

Обмен данными происходит через порт USB контролера по последовательному интерфейсу UART для отображения информации и анализа. При разработке схемы мы удешевили прибор за счет более бюджетных радиодеталей стеме же техническими характеристиками как у более дорогих моделях.

## Секция 27. Современные системы мониторинга и контроля

### Литература

1. «Газоанализатор взрывоопасных паров Сигнал-4КМ» [http://analitpribor-m.ru/i/manual/rukovodstvo\\_po\\_ekspluatatsii\\_na\\_gazoanalizator\\_signal-4km\\_kislorod\\_metan.pdf](http://analitpribor-m.ru/i/manual/rukovodstvo_po_ekspluatatsii_na_gazoanalizator_signal-4km_kislorod_metan.pdf).
2. Датчик ДТК-1 <http://www.analyservis.ru/opisanie/dtk1.htm>.

М.В. Костаков  
 Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент А.В.Цаплёв  
 Муромский институт Владимирского государственного университета  
 602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23  
 e-mail: [kostakov\\_mmm@mail.ru](mailto:kostakov_mmm@mail.ru)

### Разработка терминала доставки с интернет магазина города

В наше время огромной популярностью пользуются интернет магазины, удобства их в том, что они позволяют сэкономить время, предоставляют огромный ассортимент продукции и полную информацию о товаре. В современном мире большим спросом у населения пользуются системы массового обслуживания, одной из таких систем является почтомат (почтовый автомат) или постаMAT. Почтомат - это автоматизированный терминал по выдаче посылок и товаров, которые покупают в каталогах или интернет-магазинах. Он оборудован встроенными ячейками разного размера, в которых хранятся заказы, сенсорным экраном, для того чтобы управлять процессом получения заказов и консольной панелью. Также он оснащен специальным купюроприемником и слотом для оплаты покупки при помощи пластиковой карты.[1]

Новый способ доставки обладает рядом преимуществ: короткий срок получения товара, отсутствие очередей, возможность оплатить заказ на месте, отсутствие необходимости ждать курьера. Постаматы и пункты выдачи pickpoint размещаются в крупных розничных сетях, торговых центрах или в любых других местах большой проходимости. На рисунке 1 представлена структурная схема почтомата.

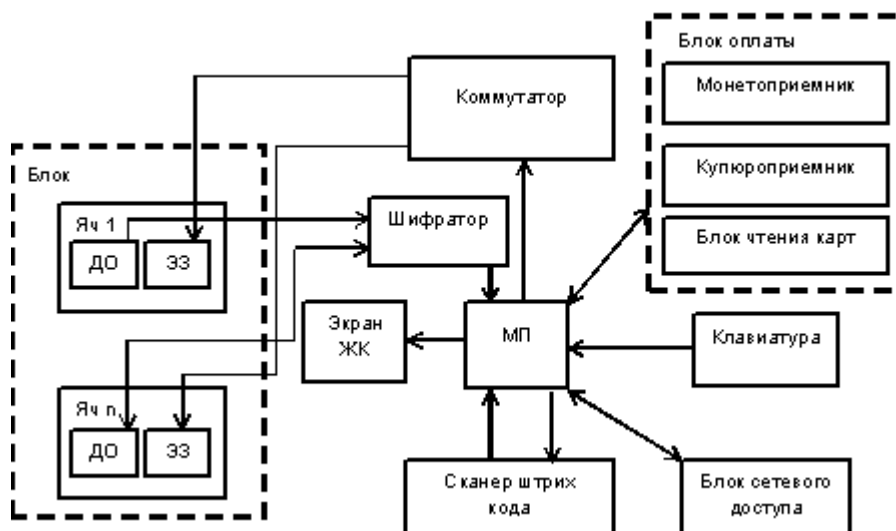


Рис.1. Структурная схема почтомата

ПостаMAT относительно новое устройство в обслуживании клиентов, предназначенное для облегчения жизни человека и экономии его свободного времени.

#### Литература

1. ПостаMAT - что это такое? Как работает постаMAT? Как им пользоваться и получить заказ? – URL:<http://fb.ru/article/143035/postamat>



Ю.Н. Можегова

Научный руководитель: Ю.З.Житников

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева»*

*Владимирская обл.г.Ковров, ул. Маяковского, 19*

*e-mail: kandy2701@mail.ru*

### **Разработка устройства неразрушающего контроля пористости материалов**

Устройство содержит неподвижные и подвижные измерительные камеры, подвижную рабочую камеру. Подвижные измерительные камеры образуют с контролируемым изделием под усилием  $Q$  герметичные полости. Для откачки газа из полостей используется насос. Для исключения перетечки газа между полостями, каждая из них имеет возможность отключения от общей магистрали. Полость рабочей камеры соединена с атмосферой. Насос имеет возможность отключения от магистрали. Полости имеют выход на датчики давления газа, информация с которых автоматически через систему управления передается на ЭВМ, снабженную встроенным датчиком времени. Мобильность и подвижность с сохранением герметичности соединения подвижных измерительных и рабочей камер обеспечивается за счет пружин и наличия в системе управления измерением механизма обеспечения автоматического перемещения подвижных измерительных и рабочей камер внутри неподвижных измерительных камер. В неподвижную измерительную камеру установлена в ней подвижной рабочей камерой вмонтирован датчик температуры, подключенный к ЭВМ.

Устройство работает следующим образом.

На грани контролируемого изделия устанавливаются от 1 до 5 неподвижных измерительных камер с расположенными в них подвижными измерительными камерами, число и размеры которых определяется величиной площади контролируемого изделия. На свободную грань материала (или на грань, противоположную грани с установленными на ней измерительными подвижными и неподвижными камерами) устанавливается подвижная рабочая камера и связанная с ней неподвижная измерительная камера. После включения ЭВМ механизм обеспечения автоматического перемещения подвижных камер внутри неподвижных измерительных камер задает их положение согласно данным ЭВМ, система управления автоматически открывает клапаны, закрывает клапан, включает насос и происходит откачка воздуха из полостей. Как только датчики давления покажут наличие вакуума в полостях информация передается в систему управления ЭВМ. Система управления отключает насос, соединяет рабочую камеру с атмосферой. Начинается течение газа через контролируемый материал во всех направлениях из полости рабочей камеры в полости измерительных подвижных и неподвижных камер. На ЭВМ автоматически запускается программное обеспечение построения зависимостей изменения давления газа в полостях с течением времени за счет диффузионного и фильтрационного потоков воздуха из рабочей камеры через контролируемый материал в эти полости. Датчик температуры передает информацию о температуре на ЭВМ, которая строит графические зависимости давления от времени для каждого из переданных каналов данных и определяет параметры пористости материалов для каждого из направлений течения газа и общее значение параметров для всего изделия. При осуществлении непрерывного контроля в устройстве реализуется автоматическое перемещение подвижных измерительных камер и, при необходимости, подвижной рабочей камеры внутри неподвижных измерительных камер по длине образца за счет автоматизированного запуска на ЭВМ механизма обеспечения автоматического перемещения подвижных камер внутри неподвижных измерительных камер. Механизм обеспечения автоматического перемещения подвижных камер управляет их перемещением внутри неподвижных измерительных камер согласно заданной оператором на ЭВМ траектории перемещения внутри неподвижных измерительных камер. Процесс измерения пористости контролируемого изделия обеспечивает точный детальный контроль участков изделия на требуемое значение коэффициентов пористости.

А.В. Сорокин

Научный руководитель: канд. техн. наук, зав. кафедрой УКТСН.В. Дорофеев  
Муромский институт Владимирского государственного университета 602264,  
Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23  
e-mail: Andrewcorokin@mail.ru

### **Разработка микропроцессора на базе FPGA компании Altera.**

Одной из наиболее перспективных областей развитие микропроцессорной техники является создание так называемых систем на кристалле. Система на кристалле (SystemOnChip – SoC) – это электронная схема, выполняющая функции целой микропроцессорной системы и размещенная на одной интегральной схеме.

Появление подобных интегральных схем вызвано тем, что современные требования к функциональности электронных устройств с каждым годом повышаются, а сроки внедрения в производство сокращаются. Разработка изделия с новым уровнем функциональности на базе микроконтроллеров или сигнальных процессоров требует значительных ресурсов и команды квалифицированных системотехников и, как следствие, разработчики часто не успевают за требованиями рынка [1].

Встраиваемая микропроцессорная система на базе SoC уже содержит необходимые для конечного устройства интерфейсы (например, USB, Ethernet, LCD, SD card и др.) и аналогична по своей функциональности одноплатному промышленному компьютеру.

В зависимости от назначения системы, она может оперировать как цифровыми сигналами, так и аналоговыми, аналого-цифровыми, а также частотами радиодиапазона.

Типичная SoC содержит: один или несколько микроконтроллеров, микропроцессоров или ядер цифровой обработки сигналов (DSP), банк памяти, состоящий из модулей ПЗУ, ОЗУ, ППЗУ или флэш, источники опорной частоты, например, кварцевые резонаторы и схемы ФАПЧ (фазовой автоподстройки частоты), таймеры, счетчики, цепи задержки после включения, блоки, реализующие стандартные интерфейсы для подключения внешних устройств: USB, FireWire, Ethernet, USART, SPI, а также блоки цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей, регуляторы напряжения и стабилизаторы питания[2].

В качестве аппаратной платформы для реализации подобной системы предполагается использовать FPGA семейства Cyclone III от компании Altera. Особенности архитектуры FPGA семейства CycloneIII обеспечивают идеальное решение проектов большого объема, низкого энергопотребления, и невысокой стоимости.

Микросхемы CycloneIII имеют в своем составе набор функций безопасности для защиты разрабатываемых проектов от подделки, клонирования и реверсивного проектирования.

Микросхемы CycloneIII содержат до 200 000 логических элементов(LE), до 8 Мбит встроенной памяти в виде блоков по 9кбит каждый и до 396 встроенных аппаратных умножителей 18×18. При этом потребляемая мощность не превышает 250мВт, что очень хорошо для энергосбережения. Помимо внутренней логики имеется большой набор разъемов ввода вывода (I/O) и систем ФАПЧ (PLL)[3].

Для разработки сложных проектов компанией Altera предоставляется большое количество программных и аппаратных модулей:

- Система разработки Quartus® II
- Библиотека IP ядер
- Отладочные наборы
- Готовые решения на базе конкретных аппаратных платформ.

### **Литература**

1. Шагурин И. Системы на кристалле. Особенности реализации и перспективы применения // Электронные компоненты. — Издательский дом Электроника, 2009. — № 1.
2. Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие. — М.: Техносфера, 2004. — 216 с. — ISBN 5-94836-029-6.
3. <https://www.altera.com/products/fpga/cyclone-series/cyclone-iii/overview.html>