DOI: 10.17117/na.2015.01.144

Поступило в редакцию: 19.01.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.01.144.pdf>

**Садовская О.И., Рамазанов В.М.,
Себровская Г.П., Бейтюк Ю.Р.
Эталонная структура расходомерной АСУ
с подсистемой TCP/IP диспетчеризации**

**Sadovskaya O.I., Ramazanov V.M., Sebrovskaya G.P., Beytuk Yu.R.
The reference flow structure ACS with TCP/IP subsystem scheduling**

Приведена структура для эталонной автоматизированной системы управления расходом с TCP/IP доступом. Рассмотрены теоретические предпосылки алгоритмов управления расходом жидкости с заданными показателями качества. Предложена аппаратная структура реализации лабораторной установки, приведены блок-схемы основных алгоритмов управления для PC совместимого контроллера ADAM 5510TCP

Ключевые слова: PC совместимый контроллер ADAM 5510TCP, тензометрический измеритель расхода, протокол TCP/IP

Садовская Ольга Иосифовна
Старший преподаватель
Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы
Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

Рамазанов Виталий Михайлович
Старший преподаватель
Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы
Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

Себровская Галина Петровна
Старший преподаватель
Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы
Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

Бейтюк Юрий Ростиславович
Кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой
Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы
Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22

The structure of the reference for an automated system to control the flow of TCP/IP access. The theoretical background of algorithms control the flow of fluid with given levels of quality. We propose a hardware implementation structure of the laboratory setup, are block diagrams of basic control algorithms for PC compatible controller ADAM 5510TCP

Key words: PC compatible controller ADAM 5510TCP, strain flow meter, TCP/IP protocol

Sadovskaya Olga Iosifovna
Senior Teacher
Yanka Kupala state university of Grodno
Belarus, Grodno, Ozeshko st., 22

Ramazanov Vitaliy Mihaylovich
Senior Teacher
Yanka Kupala state university of Grodno
Belarus, Grodno, Ozeshko st., 22

Sebrovskaya Galina Petrovna
Senior Teacher
Yanka Kupala state university of Grodno
Belarus, Grodno, Ozeshko st., 22

Beytuk Yuriy Rostislavovich
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor, Head of Department
Yanka Kupala state university of Grodno
Belarus, Grodno, Ozeshko st., 22

АСУ расходом жидких/сыпучих материалов является важнейшим элементом всех современных [1, 2, 3] производственных линий по изготовлению весовой продукции, как промышленного, так и бытового назначения. Диапазон видов тарირуемой продукции варьируется от отпускаемых горюче-смазочных материалов, до фасовки кондитерской продукции. Основными количественными показателями таких систем являются: погрешность установки выходного расхода/массы и времени выпуска единицы продукции при управляемом абсолютном значении ее объема/массы. Кроме того, обычно требуется интеграция процессов обработки этих показателей в системы бухгалтерского учета и экономического планирования с использованием сетей TCP/IP масштаба предприятия.

Аналитически рассматриваемая задача относится к классу задач об истечении жидкости при переменном напоре и может быть сведена к определению времени опорожнения или наполнения всего резервуара или некоторой его части в зависимости от начального наполнения, формы, размеров сосуда и наполнительного отверстия. В данном случае имеет место неустановившееся движение жидкости, что делает неприемлемым обычное уравнение Бернулли [4]. Поэтому полное время наполнения необходимо разделить на бесконечно малые промежутки, в течение каждого из которых считать напор постоянным, а движение установившимся, т.е. независимым от времени.

Элементарный объем жидкости dV , прошедшей через отверстие площадью f за бесконечно малый промежуток времени dt можно определить следующим образом:

$$dV = Qdt = \mu f 2gHdt, \quad (1)$$

где H – высота жидкости в сосуде для некоторого положения ее уровня, который можно приближенно считать постоянным, μ – коэффициент расхода жидкости, зависящий от числа Рейнольдса [5].

В действительности, однако, за это же время уровень жидкости в сосуде с поперечным сечением F поднимется на dH и объем жидкости в нем изменится на величину $dW = FdH$. Вследствие неразрывности движения $dV = dW$, или

$$\mu f \sqrt{2gH} dt = FdH, \quad (2)$$

откуда

$$dt = \frac{FdH}{\mu f \sqrt{2gH}}. \quad (3)$$

Полное время t наполнения можно определить в результате интегрирования выражения (3)

$$\int_0^t dt = \int_0^{H_H} \frac{FdH}{\mu f \sqrt{2gH}}, \quad (4)$$

где H_H – глубина жидкости в конце наполнения.

Принимая $\mu = \text{const}$, получим

$$t = \frac{F}{\mu f \sqrt{2g}} \int_0^{H_H} \frac{dH}{\sqrt{H}} = \frac{2F\sqrt{H_H}}{\mu f \sqrt{2g}}. \quad (5)$$

Для определения времени, необходимого для понижения уровня жидкости в сосуде на некоторую величину от H_1 до H_2 (уменьшения массы/объема), будем исходить из того же уравнения (5), интегрируя его в пределах от H_1 до H_2

$$t = \frac{F}{\mu f \sqrt{2g}} \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH}{\sqrt{H}} = \frac{2F(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu f \sqrt{2g}} \quad (6)$$

При необходимости учета типа насадки на подаче жидкости задача требует учета факторов увеличения расхода жидкости, при значительном снижении скорости истечения.

Время частичного наполнения может быть найдено как

$$t = \frac{2F}{\mu f \sqrt{2g}} (\sqrt{H} - \sqrt{H_1} + \sqrt{H_0} \ln(\frac{\sqrt{H_0} - \sqrt{H}}{\sqrt{H_0} - \sqrt{H_1}})) \quad (7)$$

где H_0 – постоянный напор при установившемся движении при расходе равном притоку

$$H_0 = \frac{(Q_H)^2}{(\mu f)^2 2g} \quad (8)$$

где Q_H – производительность насоса.

Для практической реализации показателя управления расходом (8) с временными характеристиками (6), (7) можно предложить эталонную структуру системы, представленную на рис. 1.

Рис. 1. Эталонная структура расходомерной АСУ тензометрического типа с пропорционально-дискретным управлением и Web-доступом

Устройство управления (УУ), сравнивая текущее показание тензометрического измерителя расхода (ТИР) со значением уставки, управляет моментами включения регуляторов расхода (РР), добиваясь достижения равенства этих показателей. Регулирование параметров расхода возможно, как в сторону их увеличения (РР+), так и в сторону уменьшения (РР-). Два инерционных звена (Δt_1 и Δt_2) эмулируют задержку цепей измерения и регулировки соответственно. В этом случае элемент, осуществляющий взаимодействие УУ с верхним уровнем АСУ, удобно реализовать в виде независимого IP-узла. На аппаратном уровне возможно объединение функций УУ и IP-узла в один элемент – контроллер управления. Такой подход позволит четко разделить оборудование управления и организации Web-доступа от устройств низовой автоматики, к которым относятся все остальные элементы эталонной структуры на рис. 1.

На сегодняшний день стандартом «де-факто» стало наличие у промышленных контроллеров либо встроенных портов, либо внешних средств поддержки IP-протокола. Это относится, как к контроллерам, решающим задачи сбора данных и управления, так и контроллерам, на базе которых создаются различного рода специализированные системы, например, системы телемеханики. Большинство моделей контроллеров имеют встроенные Ethernet-порты, для остальных же существуют отдельные дополнительные коммуникационные модули, выполняющие роль Ethernet-шлюзов. Учитывая весьма широкую номенклатуру выпускаемых аппаратных средств, в [7] приведена оптимальная структура IP-узла, обеспечивающая решение таких задач.

На рис. 2 приведен пример аппаратной структуры системы управления расходом, использующей контроллер ADAM 5510TCP.

**Рис. 2. Аппаратная структура расходомерной АСУ
тензометрического типа на контроллере ADAM 5510TCP**

Материал, расход которого подлежит управлению, содержится в накопительной емкости. Величиной расхода управляют два клапана: клапан грубого расхода (КГ) и клапан точного расхода (КТ), имеющие различное сечение пропускного отверстия. Диаметры сечения могут обеспечивать фиксированный диапазон расхода от 0,1 г/с до 100 г/с. В качестве клапанов использованы электроклапаны-распределители модели П-РЭЗ/2,5-112 УХЛ4 (ТУ2-053-1612), подключенные к выходам модулей дискретного ввода-вывода ADAM 5050. Суммарная задержка переключения, определяющаяся инерционностью самих клапанов и точностью таймеров контроллера, составляет 60 мс. Масса материала, поступившего в расходомерную емкость, измеряется тензометрическим измерителем расхода (ТИР). В качестве ТИР используется самоуставляющийся стальной тензометрический датчик типа DSB1-10K со встроенным усилителем. При необходимости, изменение коэффициента усиления этого усилителя позволяет формировать напряжение на входе АЦП модуля аналогового

ввода ADAM 5017, равное объемному расходу материала с учетом его плотности. Результирующая задержка измерения составляет 10 мс при погрешности не более 0,01 г. Управление клапанами осуществляется в соответствии с (8) и позволяет осуществлять пропорционально-дискретное увеличение расхода с заданной точностью. Максимальная инструментальная погрешность расхода, достигаемая при таком способе управления, не превышает 1% от расхода КТ. Дальнейшее снижение погрешности обеспечивается электронасосом Н типа УТН9-ТЕ, имеющем фиксированную производительность 20 г/с, инерционность переключения не более 0,2 с с собственной погрешностью не более 0,05 г/с. Насос позволяет снизить абсолютное значение расхода в случаях перерегулирования его суммарной величины цепями клапанов прямого расхода. В этом случае комбинируя управление клапанами КТ и КГ с последующим включением насоса на время (6), (7), удастся снизить максимальную погрешность до 0,3 % при фиксированном времени работы АСУ и заданных показателях расхода.

Аппаратный формат организации IP-узла для Web-доступа к оборудованию системы соответствует [7] и использует встроенный интерфейс Ethernet 10/100Base-T контроллера. Интеграция в диспетчерский уровень масштаба предприятия реализована с использованием управляемого коммутатора ЗСОМ 3226 и персонального компьютера.

Рис. 3. Интерфейс конфигурации контроллера ADAM 5510TCP с использованием утилиты ADAM 5510 SeriesUtility

Предварительно перед началом работы контроллер необходимо сконфигурировать. Для этого используется интерфейс RS232 контроллера и утилита ADAM 5510 SeriesUtility (рис. 3). Для контроллера устанавливаются все необходимые статические параметры IP-соединения: адреса контроллера, основного шлюза и предпочитаемого DNS сервера в составе ЛВС предприятия. В случае использования встроенных HTTP/FTP-серверов можно также сконфигурировать параметры доступа к ним: имена, пароли, права на операции с файлами и т.д. С помощью утилиты осуществляется также программирование контроллера, в этом случае она предоставляет стандартные файловые возможности

Commander оболочек. В автономном режиме или режиме Web-управления, 232-ой интерфейс может быть отключен.

На алгоритмическом уровне программное обеспечение контроллера АСУ решает две основные задачи:

- пропорционально-дискретное управление исполнительными устройствами в соответствии с алгоритмами, предложенными в (6-8);
- создание и поддержку HTTP-сервера с обеспечением функционирования IP-узла и формированием динамически управляемой html-страницы.

Реализация алгоритмов измерения (для модуля ADAM 5017) и управления (для модуля ADAM 5050) базируется на использовании стандартных библиотек `stdio.h`, `io.h`, `process.h`, `stdlib.h`, `string.h`, `5510drv.h`, предоставляемых средами разработки и производителем [6]. На этой стадии осуществляется конфигурирование модулей ввода-вывода, формирование массивов переменных, отвечающих за прием-передачу данных от HTTP-сервера, измерение текущего расхода и генерация временных интервалов включения-выключения клапанов грубого и точного расходов. Везде далее указанные алгоритмы будут использоваться в качестве вызываемых процедур в теле основного алгоритма работы АСУ.

Алгоритм создания и поддержки HTTP-сервера основан на использовании предоставляемого производителем [6] встроенного Web-сервера для контроллера ADAM 5510TCP (`httpFtpd.exe`) и средств CGI интерфейса для его взаимодействия с исполняемым модулем (`ASU.exe`) – с одной стороны, и html-представлением (`index.html`), передаваемым браузеру – с другой. Схема такого взаимодействия приведена в [7].

На рис. 4 приведена обобщенная блок-схема алгоритма функционирования программного обеспечения контроллера ADAM 5510TCP, управляющего тензометрической АСУ.

Рис. 4. Блок-схема обобщенного алгоритма функционирования тензометрической АСУ

Рассмотрим ее основные составляющие, с учетом разработки исходного кода для рекомендуемого производителем компилятора Borland Turbo C++ 3.0: работа программы начинается с выполнения инструкций тела функции `main()`, в котором регистрируется html-страница и запрещается доступ к ней посторонних пользователей; выполняется функция обратного вызова `Callback()`, вызываемая сервером при любых событиях на html-странице. Функция, путем взаимодействия с `httpFtpd.exe` реализует следующие операции:

- прием данных с html-страницы и перезапись их в файл `data.txt`. В качестве данных могут выступать величины интервалов (6), (7) работы клапанов КГ, КТ и насоса Н на рис. 2 и требуемое значение расхода (8). Это реализуется с помощью функции `HttpGetData()`, и позволяет отследить данные с http-сервера, в которых хранится информация о действиях оператора по управлению системой на html-странице;

- формирование текстового образа принятой html-страницы в виде текстового файла `index.txt`, содержимое которого переписывается в строковый массив `Re_Htm_Content()`, являющейся параметром функции, отсылающей данные на сервер. Так формируется статическая (неизменная) часть html-страницы, в которую в последствие добавляются динамические (обновляемые) атрибуты перед отправкой на сервер. В частном случае это может быть мгновенное измеренное значение расхода;

- в файле `data.txt` хранится информация о введенных на html-странице параметрах и уставках расхода. Из-за того, что при каждом нажатии кнопки на html-странице функция `Callback()` вызывается автоматически, происходит инициализация всех переменных в этой функции, что делает невозможным хранение в них введенных параметров. Поэтому информация о действиях оператора сохраняется в созданном специально для этой цели файле `data.txt` (обобщенный формат записи «событие – символ»). Посимвольное чтение этого файла с соответствующим декодированием и вызовом функций `Set5050`, `Get_Data_5017` реализует тензометрическое измерение расхода и пропорционально-дискретное управление клапанами в соответствии с выражениями (6), (7);

- добавление на html-страницу величины измеренного расхода (8) путём записи соответствующего тега в массив `Re_Htm_Content` с отсылкой его серверу с использованием функции `HttpSendData`. На основании полученных данных сервер формирует обновленную html-страницу, которая отправляется браузеру;

- при возникновении ошибок приема, чтения или декодирования происходит выход из функции `Callback()` с передачей управления программе сервера.

Разработанное ПО откомпилировано в среде Turbo C 3.0 и отлажено для контроллера ADAM 5510TCP в лаборатории информационно-управляющих комплексов кафедры информационных систем и технологий. Апробация работы проводилась авторами на лабораторной установке (рис. 5).

Установка имеет следующие составляющие:

- накопительная емкость «2» с установленным внутри нее термодатчиком «1» для измерения текущей температуры жидкости, вентилятором систе-

мы охлаждения, нагревательным элементом, возвратной магистралью, подключенной к насосу обратного хода «10»;

– электромагнитные клапаны «Грубо» «3» и «Точно» «11», соединенные магистралями с накопительной емкостью и обеспечивающие дискретное поступление жидкости в емкость «4», установленную на тензометрический элемент «5»;

Рис. 5. Лабораторная установка для моделирования работы тензометрических АСУ

PC-совместимый контроллер ADAM 5510TCP «7», с предустановленными модулями ввода/вывода ADAM 5050, ADAM 5017 и блоком питания.

Кроме этого установка имеет ряд дополнительных периферийных устройств, расширяющих ее возможности по аппаратному моделированию работы расходомерных АСУ тензометрического типа в режиме ручного управления. К ним относятся:

– 8-ми разрядный семисегментный индикатор «6», предназначенный для индикации значений уставок по температуре и объему, текущих значений расхода и массы материалов в емкости «4»;

– клавиатура «8» для ввода значений уставок по температуре и объему;

– коммуникационный преобразователь интерфейсов RS485-RS232 ADAM 4520 «9», осуществляющий первичную диагностику модулей ввода-вывода контроллера ADAM 5510TCP.

В работе показано, что использование пропорционально-дискретного алгоритма управления приборами расхода жидких материалов позволяет минимизировать временные затраты на достижение фиксированных уровней наполнения. Реализована эталонная структура тензометрической АСУ, обеспечивающая решение задач наполнения (расхода) жидких материалов с заданными временными характеристиками, за счет снижения влияния аппаратных систематических погрешностей на характеристики контуров регулирования. Данный метод может быть использован для построения тензометрических

АСУ расходом с Web-доступом. Предложенная в статье структура позволяет получить функционально-законченное технологическое решение для всего комплекса задач, традиционно возлагаемых на АСУ: от сбора данных (измерение технологических параметров), управления (реализация алгоритмов), вычисления (параметры и уставки), до коммуникационных (по выбранному интерфейсу) за счет использования РС-совместимых контроллеров. Рассмотрены основные программно-технические компоненты лабораторного автоматизированного рабочего места (АРМ) для проведения занятий, как в автономном, так и в режиме Web-доступа к оборудованию. В качестве примера взята аппаратная модель тензометрической АСУ расходом жидкостей с пропорционально-дискретным алгоритмом управления. Приведенное решение может быть использовано для создания компактных лабораторных АРМ в специализированных учебных лабораториях не только ВУЗов, но и учебных центров промышленных предприятий для обучения и переподготовки специалистов по КИПиА и АСУ ТП.

Список литературы:

1. Соломенцев Ю.М. Технологические основы гибких производственных систем. М.: Высшая школа, 2000. 255 с.
2. Ключев А.С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.
3. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб: Невский Диалект, 2001. 557 с.
4. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
5. Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Минск. 1985. 382 с.
6. Advantech – industrial computer, embedded computer, industrial automation, industrial motherboard, network security appliance, digital video surveillance, panel PC, industrial IO // Support & Download. USA, 1983.
7. Садовская О.И., Рамазанов В.М., Себровская Г.П. IP-узел для систем низовой автоматизации на основе РС-совместимого контроллера ADAM 5510/TCP // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования. Тамбов: Колсалтинговая компания Юком. 2015. Ч. 14. С. 106-110.

© 2015, Садовская О.И., Рамазанов В.М.,
Себровская Г.П., Бейтук Ю.Р.
Эталонная структура расходомерной АСУ с
подсистемой TCP/IP диспетчеризации

© 2015, Sadovskaya O.I., Ramazanov V.M.,
Sebrovskaya G.P., Beytuk Yu.R.
The reference flow structure ACS with TCP/IP
subsystem scheduling