

УДК 681.518.5

НОВЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЕТА РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

*Докт. техн. наук, проф. ЗУЙКОВ И. Е., ПАСЬ Н. С., СЯКЕРСКИЙ В. С.,
канд. техн. наук, доц. РУСАКЕВИЧ Д. А.*

*Белорусский национальный технический университет,
НПО «Интеграл»*

В настоящее время стремительно развиваются процессы электронизации и автоматизации коммунальной сферы. Одной из актуальных проблем является поиск новых методов построения электронных систем учета расхода жидкостей и газов, обеспечивающих минимальную погрешность измерения при их использовании в бытовых и промышленных устройствах.

В данной работе представлены результаты разработки и промышленной реализации нового метода измерения количества жидкости (воды), пропускаемой через измерительные устройства непрерывным потоком с помощью вращающихся лопаток. Положенный в основу метода алгоритм работы устройства может быть также использован для построения устройств учета и контроля расхода газов.

Как известно, в широко применяемых в настоящее время крыльчатых одноструйных счетчиках учета воду подводят к крыльчатке по касательной к окружности, проходящей через центры лопаток крыльчатки. Вращение крыльчатки передается на счетный механизм с помощью сальника, через который пропущена ось крыльчатки, или с помощью специальной магнитной муфты, состоящей из двух полумуфт – ведущей, насаженной на ось крыльчатки и находящейся в воде, а также ведомой, расположенной в сухом пространстве счетного механизма. Каждый оборот крыльчатки соответствует определенной дозе измеряемого объема

воды. Число оборотов крыльчатки регистрируют и переводят в количество воды, прошедшей через счетчик [1]. Следует отметить, что этот метод имеет весьма существенные недостатки:

- невозможность достижения высоких параметров счетчика на малых расходах жидкости из-за высокого сопротивления трения в шестеренчатом механизме;
- необходимость регулировки счетчика в процессе его работы из-за изнашивания механического счетного блока, системы «сальник–ось крыльчатки» и налипания железосодержащих частиц на магнит полумуфты;
- высокую погрешность измерений из-за существующей зависимости погрешности счетчика от параметров подводящей и отводящей системы трубопроводов.

Коэффициент пересчета между количеством оборотов крыльчатки и объемом проливаемой жидкости в механических счетчиках – величина постоянная. Поэтому, чтобы счетчик соответствовал своему метрологическому классу, необходимо проводить его дополнительную регулировку.

Частично эти недостатки были устранены в модифицированных счетчиках холодной воды [2], в конструкции которых в верхней части крыльчатки устанавливается магнитное устройство. Масштабирующий редуктор счетного механизма переводит число оборотов крыльчатки в значение количества воды, прошедшей через счетчик, а кинематическая связь между крыльчаткой и счетным устройством осуществляется путем магнитного взаимодействия через герме-

тичную перегородку. Недостатки такого класса счетчиков: высокая трудоемкость регулировки и значительная погрешность счетчика на малых расходах жидкости из-за взаимодействия магнита крыльчатки и счетного механизма.

Общими недостатками известных методов и устройств являются: высокая трудоемкость регулировки счетчика перед предъявлением госповерителю, относительно высокая погрешность счетчика из-за высокой зависимости гидродинамических параметров нижнего корпуса с крыльчаткой от геометрических параметров подводящей и отводящей системы трубопроводов, а также большого разброса между счетчиками по зависимости частоты вращения крыльчатки от скорости потока жидкости.

В счетчиках с электронными счетными блоками соответствия счетчика метрологическому классу добиваются дополнительной регулировкой с помощью коэффициентов коррекции [3]: определением коэффициента коррекции на фиксированном расходе воды при настройке и последующим введением этого коэффициента коррекции в память электронного счетного блока [4].

Однако, так как гидродинамические характеристики счетчиков отличаются друг от друга, при групповом определении опорного коэффициента коррекции на фиксированном расходе жидкости опорный коэффициент коррекции для каждого счетчика будет определен с какой-то погрешностью, что скажется на погрешности счетчика в диапазоне расходов жидкости и потребуются дополнительная регулировка счетчиков.

Цель данной работы – создание надежного метода измерения количества жидкости и устройства для его осуществления, базирующегося на использовании теории и способов построения микропроцессорных средств обработки быстропротекающих процессов [5]. Разработанное устройство должно обеспечивать минимальную трудоемкость регулировочных операций, минимальную погрешность счета в широком диапазоне измерений независимо от геометрических параметров как самого счетчика, так и параметров подводящих и отводящих трубопроводов и соединений, а также должно обеспечить проведение калибровки

счетчика в реальных условиях без применения дополнительных сложных контрольных систем.

Сущность предлагаемого метода заключается в том, что поток жидкости направляют на крыльчатку и заставляют ее вращаться под действием этого потока, а число оборотов крыльчатки регистрируют и переводят в количество проливаемой жидкости с помощью текущего коэффициента коррекции, который рассчитывается электронным счетным устройством для одного опорного коэффициента коррекции по формуле

$$K_T = K_1 \text{ при } 0 < F_T < F_1.$$

Для трех опорных коэффициентов коррекции выражение имеет вид:

$$K_T = \begin{cases} K_1 \text{ при } 0 < F_T < F_1; \\ K_1 + \frac{F_T - F_1}{F_2 - F_1}(K_2 - K_1) \text{ при } F_1 < F_T < F_2; \\ K_2 + \frac{F_T - F_2}{F_3 - F_2}(K_3 - K_2) \text{ при } F_2 < F_T < F_3; \\ K_3 \text{ при } F_3 < F_T < \infty. \end{cases} \quad (1)$$

Для пяти опорных коэффициентов коррекции выражение имеет вид:

$$K_T = \begin{cases} K_1 \text{ при } 0 < F_T < F_1; \\ K_1 + \frac{F_T - F_1}{F_2 - F_1}(K_2 - K_1) \text{ при } F_1 < F_T < F_2; \\ K_2 + \frac{F_T - F_2}{F_3 - F_2}(K_3 - K_2) \text{ при } F_2 < F_T < F_3; \\ K_3 + \frac{F_T - F_3}{F_4 - F_3}(K_4 - K_3) \text{ при } F_3 < F_T < F_4; \\ K_4 + \frac{F_T - F_4}{F_5 - F_4}(K_5 - K_4) \text{ при } F_4 < F_T < F_5; \\ K_5 \text{ при } F_5 < F_T < \infty. \end{cases} \quad (2)$$

где K_1-K_5 – опорные коэффициенты коррекции, определяемые экспериментально для каждого счетчика; F_1-F_5 – частоты вращения крыльчатки, на которых определяются опорные коэффициенты коррекции K_1-K_5 соответственно; K_T – текущий коэффициент коррекции; F_T – текущая частота вращения крыльчатки.

Опорные коэффициенты коррекции и частоты вращения крыльчатки, на которых они из-

меряются, определяются автоматически электронным счетным устройством на любом из желаемых режимов потока жидкости. Опорных коэффициентов коррекции и частот вращения крыльчатки, на которых они определяются, может быть один, три или пять в зависимости от конструктивных геометрических параметров подводящей и отводящей системы трубопроводов.

Определение опорных коэффициентов коррекции и частот вращения крыльчатки индивидуально для каждого счетчика позволяет существенно сократить время и трудоемкость регулировочных операций в широком диапазоне измерений независимо от геометрических параметров счетчика и трубопроводов. Кроме того, данный способ позволяет минимизировать погрешность измерений за счет автоматического уточнения опорной частоты вращения крыльчатки индивидуально для каждого счетчика.

Применение одного, трех или пяти опорных коэффициентов коррекции позволяет снизить общую погрешность счетчика за счет более точной линейризации кривой погрешности.

На рис. 1 представлена блок-схема электронного счетчика, реализующего описываемый метод. В состав вычислительного устройства введены: определители частоты вращения крыльчатки и опорных коэффициентов коррекции, а также вычислитель текущего коэффициента коррекции, что позволяет проводить регулировочные операции с минимальной трудоемкостью и погрешностью за счет возможности точного определения коэффициентов коррекции.

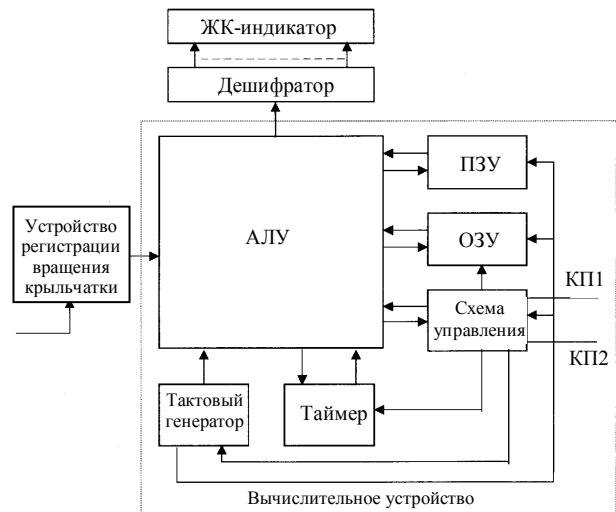


Рис. 1. Структура электронного устройства управления прибором учета количества протекающей жидкости

Устройство регистрации вращения крыльчатки формирует управляющие импульсы напряжения, поступающие на входы арифметико-логического устройства (АЛУ), которое содержит определители частоты вращения крыльчатки и опорных коэффициентов коррекции, вычислители текущего коэффициента коррекции и количества жидкости. Вычислительное устройство выполнено в виде одной микросхемы [6], оформленной в 24-выводной корпус, который размещен на корпусе счетчика.

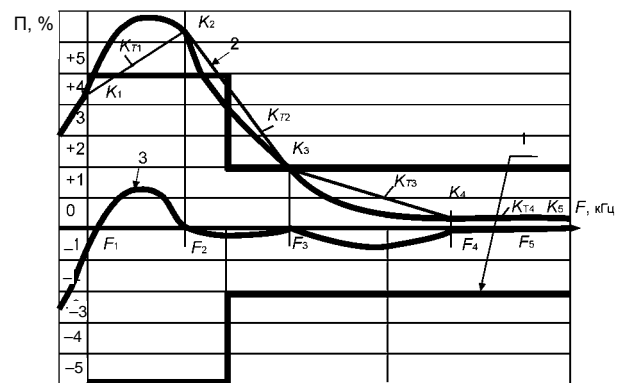


Рис. 2. Зависимость погрешности измерений электронного счетчика от частоты вращения крыльчатки

На рис. 2 представлен график зависимости погрешности измерений от частоты вращения крыльчатки, поясняющий принцип уменьшения погрешностей при помощи пяти фиксированных опорных коэффициентов коррекции и текущего коэффициента коррекции, вычисляемого

го электронным счетным устройством. Здесь приняты следующие обозначения: 1 – допустимая область погрешности; 2 – реальная погрешность счетчика; 3 – погрешность счетчика с учетом текущего коэффициента погрешности.

Рассмотрим более подробно алгоритм работы счетчика. Как правило, счетчик устанавливают в разрыв трубопровода, в котором измеряют расход жидкости, например воды. Вода под напором поступает на лопасти крыльчатки, поток воды закручивается и заставляет крыльчатку вращаться. При этом устройство регистрации вращения крыльчатки, посылая пачку импульсов с частотой 200 Гц и частотой следования, например 200 кГц, через катушку индуктивности, регистрирует факт появления и исчезновения металлического сектора на крыльчатке, формирует импульс напряжения и подает эти импульсы в вычислительное устройство. Последнее обрабатывает параметры поступающих на вход импульсов в части их частоты следования и количества на единицу объема проливаемой воды, определяет опорные коэффициенты коррекции на данной частоте вращения крыльчатки и записывает в оперативную память. В случае режима определения количества проливаемой жидкости вычислительное устройство обрабатывает параметры поступающих на его вход импульсов в части их частоты следования и количества, рассчитывает текущий коэффициент коррекции, который вычисляется с использованием параметров поступающих на вход импульсов, опорных коэффициентов коррекции и заданного алгоритма их вычисления по формуле (1), преобразовывает количество поступающих импульсов в объем проливаемой жидкости с учетом текущего коэффициента коррекции и выводит полученную информацию на цифровой жидкокристаллический индикатор.

Рассматриваемое вычислительное устройство имеет три режима работы: с одним опорным коэффициентом K_1 , с тремя коэффициентами K_1 – K_3 , с пятью коэффициентами K_1 – K_5 . Выбор количества опорных коэффициентов коррекции зависит от конструктивных геометрических параметров подводящей и отводящей системы трубопроводов и диапазона расхода проливаемой жидкости. Выбор режима осуществляется кнопками КП1, КП2.

Вычислительное устройство электронного счетчика воды работает следующим образом. С помощью кнопки КП1 на корпусе счетчика выбирается номер опорного коэффициента, установка опорного коэффициента коррекции осуществляется кнопкой КП2. Нажатие и удержание в основном режиме кнопки КП1 более 3 с приводит к автоматическому последовательному определению и вводу в память опорных коэффициентов коррекции с учетом реально проливаемых объемов воды V_n и определяемых фактических частот оборотов крыльчатки F_n .

В старшем (левом) разряде индикатора высвечивается номер устанавливаемого коэффициента, на 1–3-м разрядах высвечивается мигающее значение проливаемого объема воды (л), которое по умолчанию устанавливается равным 10 л для K_1 – K_3 и 100 л – для K_4 и K_5 и может корректироваться кнопкой КП2 в диапазоне 1–999. Далее в данном режиме по фронту первого поступающего на счетный вход импульса в результате вращения крыльчатки происходит запуск электронного секундомера и отсчет времени с фиксацией значений для каждого поступившего в последующем импульса. Таким образом, после окончания пролива фиксированного объема воды в регистре времени будет находиться значение общего времени пролива T_n установленного объема воды V_n . Также в отдельном регистре суммируется общее количество поступивших за время T_n импульсов N_n . После этого в вычислительном устройстве производится расчет численного значения полученной частоты вращения крыльчатки для первого опорного коэффициента коррекции по формуле $F_n = N_n/T_n(n - 1)$, которое выводится на индикатор счетчика. Также рассчитывается реальное значение коэффициента коррекции для полученной частоты по формуле $K_n = N_n/V_n$, которое также выводится на индикатор и записывается в оперативную память вычислительного устройства. Далее происходит автоматический переход к режиму автоматического определения и вводу в память следующего опорного коэффициента коррекции K_{n+i} . При отсутствии необходимости в каком-либо опорном коэффициенте с помощью кнопки КП2 производится принудительный переход в режим следующего опорного коэф-

фициента и т. д. После установки K_3 происходит переход в основной счетный режим.

Особенностью разработанного электронного счетчика является то, что электронное счетное устройство имеет три режима работы:

А – автоматического определения опорных коэффициентов коррекции;

В – ручного определения опорных коэффициентов коррекции;

С – измерения количества проливаемой жидкости (рабочий режим).

Для пояснения сущности предложенного метода в ручном В и рабочем С режимах рассмотрим конкретный пример работы с прибором.

Режим В. Счетчик воды устанавливается на проливной стенд, обезвоздушивается, проливной стенд выключается. Датчики автоматического отключения воды устанавливаются на 10 л для K_1 и K_2 и 100 л для K_3 . Нажатием кнопки КП2 устанавливается цифра 3. Это означает, что счетчик будет работать с коэффициентами K_1 – K_3 . Далее нажатием кнопки КП1 осуществляется вход в режим автоматического определения коэффициентов коррекции и производится пролив на расходах, например 30 л/ч – для K_1 , 120 л/ч – для K_2 и 1500 л/ч – для K_3 . В результате в память вычислительного устройства будут занесены опорные коэффициенты коррекции K_1 – K_3 и частоты F_1 – F_3 . После выдержки более 5 с счетчик переходит в счетный режим.

Режим С. Счетчик устанавливается на проливной стенд, обезвоздушивается, определяются опорные коэффициенты коррекции, после чего переходят в режим счета расходуемой воды. Опорные коэффициенты коррекции, определенные вычислительным устройством и занесенные в память, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер опорного коэффициента	Расход воды, л/ч	Параметры, записанные в память	
		Частота, Гц	Значение опорного коэффициента коррекции
1	30	0,233	28
2	90	0,75	30
3	3000	23,3	29

Рассмотрим особенности работы счетчика в режиме определения количества расходуемой воды. После автоматического определения коэффициентов коррекции, не снимая счетчик с проливного стенда, проливается 10 л воды. На расходе 30 л/ч на вход вычислительного устройства поступило 280 импульсов. Вычислительное устройство определило, что крыльчатка вращалась с частотой $F_T = 0,233$ Гц и текущий коэффициент коррекции на этой частоте $K_T = 28$. Объем пролитой воды вычислительное устройство определило, разделив количество поступивших импульсов N на коэффициент коррекции K_T . Тогда $V = N/K_T = 10$ л.

Погрешность прибора на этом режиме равна нулю. Далее изменили режим пролива на 65 л/ч и пролили 10 л. В результате на вход вычислительного устройства поступило 292 импульса. Вычислительное устройство определило, что частота вращения крыльчатки на этом расходе – 0,5 Гц, а текущий коэффициент коррекции рассчитывался по формуле

$$K_T = K_1 + \frac{F_T - F_1}{F_2 - F_1} (K_2 - K_1) = 28 + \frac{0,5 - 0,233}{0,75 - 0,233} \cdot (30 - 28) = 29,3.$$

Определив текущий коэффициент коррек-

Таблица 2

Номер коэффициента	Q , л/ч	F , Гц	K , ед.	N , ед.	V , л	Погрешность, %	Погрешность для постоянного коэффициента, %
K_1	30	0,233	28	280	10	0	0
	65	0,5	29,3	292	9,97	0,3	4,3
K_2	90	0,75	30	300	10	0	7,1
	96	0,8	29,998	302	10,07	0,7	7,8
	120	0,9	29,99	297	9,9	1,0	6,0
	800	6	29,76	2960	100,13	0,13	6,4
K_3	1500	11,2	29,537	2930	99,1	0,9	4,6
	1875	14	29,413	2910	98,9	1,1	3,9
	3000	23,7	29	2900	100	0	3,6

ции, вычислительное устройство установило объем пролитой воды, разделив число поступивших на вход импульсов $N = 292$ на определенный коэффициент коррекции $K = 29,3$. Получаем: $V = N/K = 9,97$ л (табл. 2).

Погрешность счетчика на этом расходе составила 0,3 %. Обращаем внимание на тот факт, что если бы вычислительное устройство определяло объем проливаемой воды, используя только один постоянный коэффициент коррекции, например равный 28, то погрешность на расходе 30 л/ч была бы равна 0, а на расходе 65 л/ч эта погрешность уже составила бы 4,3 %. Далее проводились измерения для объемов воды на 90; 96; 120; 800; 1500; 1875 и 3000 л/ч. Все экспериментальные данные представлены в табл. 2. В последней колонке таблицы приведена погрешность счетчика для случая использования только одного постоянного коэффициента коррекции, равного 28.

Как видно из полученных экспериментальных данных, погрешность счетчика во всем диапазоне расхода не превышала 1,1 %, при этом для постоянного коэффициента она составила бы до 7,8 %, что далеко за пределами допустимой погрешности.

Аналогичные исследования для случая использования пяти опорных коэффициентов коррекции показали, что погрешность счетчика во всем диапазоне расходов не превысила 1 %.

ВЫВОДЫ

Представлены результаты разработки и промышленной реализации нового метода измерения количества жидкости (воды), пропускаемой через измерительные устройства непрерывным потоком с помощью вращающихся лопаток.

Поскольку большинство потребляемых в настоящее время в Республике Беларусь аналогичных приборов учета воды обеспечивают погрешность от ± 3 до ± 5 % в диапазоне расхода до 20 л/ч и ± 2 % в диапазоне свыше 120 л/ч, можно сделать вывод о том, что предложенный новый метод организации работы микропроцессорного устройства позволяет обеспечить минимальную погрешность счета на любом из желаемых режимов потока жидкости при минимальной трудоемкости регулировочных операций.

Данный метод реализован в электронном счетчике воды, разработанном на заводе «Электроника» НПО «Интеграл». Положенный в основу метода алгоритм работы устройства может быть также использован для построения устройств учета и контроля расхода газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Филатов, В. И.** Вопросы гидродинамики в расходомерах / В. И. Филатов // Измерительная техника. – 1995. – № 5. – С. 37–39.
2. **Безменов, А. С.** Системы автоматического дозирования жидких компонентов / А. С. Безменов // Приборы и системы управления. – 1996. – № 3. – С. 16–21.
3. **Кузнецов, В. П.** Динамика нестационарных дискретных систем / В. П. Кузнецов. – М.: Наука, 1980. – С. 237–238.
4. **Кругликов, В. В.** Самонастраивающиеся системы с моделями / В. В. Кругликов. – Минск: Наука и техника, 1966. – С. 81–87.
5. **Методы** и микропроцессорные средства обработки широкополосных и быстротекущих процессов в реальном времени. – Минск: Наука и техника, 1988. – С. 172–175.
6. **Белоус, А. И.** Однокристалльный микроконтроллер для электронных систем учета расхода жидкостей и газов / А. И. Белоус, В. И. Бакуменко, Ю. И. Попов // Электронные компоненты. – 1999. – № 3. – С. 31–33.

Поступила 09.06.2009

УДК 681.51.033.01

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ