

Оценка качества программного обеспечения счетчика – расходомера РМ-5 и счетчика количества теплоты КМ-5

**М.Н. Бурдуний, к.т.н., технический директор ООО «ТБН Энергосервис»,
Ю.А. Кудеяров, д.ф.-м.н., начальник сектора ФГУП «ВНИИМС»,
А.Н. Паньков, инженер ФГУП «ВНИИМС»**

В статье [1] обсуждались проблемы оценки качества так называемых встроенных в средства измерений программных продуктов. Встроенное программное обеспечение, в отличие от автономных программных продуктов, характеризуется тем, что вычислительное устройство вместе с соответствующим программным продуктом в этом случае расположены внутри корпуса средства измерений и имеет, как правило, защищенный интерфейс. К встроенному программному обеспечению нет непосредственного доступа, что приводит в большинстве случаев к невозможности его тестирования и документирования его свойств при калибровке и испытаниях с целью утверждения типа соответствующих средств измерений. Вместе с тем, существуют факторы, имеющие важное значение для производителей автоматизированных средств измерений. К ним, в частности, можно отнести стремление повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции, необходимость защиты измерительной информации от преднамеренных изменений в коммерческих расчетных операциях между поставщиками и потребителями энергетических и других ресурсов, настоятельные рекомендации международных и некоторых отечественных организаций по стандартизации и метрологии. Все это приводит к необходимости оценки свойств и характеристик встроенного программного обеспечения (ПО) средств измерений (СИ) и их соответствующего документирования. Для решения этой задачи производители вводят в соответствующее средство измерений специальный режим, или предоставляют в распоряжение организаций, проводящих проверку (тестирование) ПО СИ, специальные аппаратные и программные средства, позволяющие реализовать необходимое тестирование программного обеспечения.

В силу целого ряда причин, о которых здесь не имеет смысла говорить, в настоящее время в стране отсутствуют как узаконенная система оценки качества ПО СИ в виде его метрологической аттестации, хотя имеется ряд рекомендаций, где используется термин «аттестация» [2] – [5], так и система аккредитации организаций на проведение такого рода деятельности. Употребление термина «аттестация» применительно к ПО – это дань прошлому, когда в отечественной метрологии широко использовалось понятие метрологической аттестации средств измерений и методик выполнения измерений (МВИ). В исходном законодательном акте, определяющем метрологическую деятельность в стране в

настоящее время, - в Законе РФ «Об обеспечении единства измерений» термин «аттестация» применяется только к МВИ.

В сложившихся условиях ФГУП «ВНИИМС» в соответствии с Федеральным Законом «О техническом регулировании» создал и зарегистрировал Систему добровольной сертификации программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем (ИИС). Система была зарегистрирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулированием) в мае 2006 г. (регистрационный номер РОСС RU.V317.04И300 от 16 мая 2006 г.). Методы исследования свойств и характеристик ПО СИ и ИИС как при аттестации, так и при сертификации одинаковы и описаны, например, в рекомендации [5]. Поэтому в дальнейшем везде под оценкой качества ПО СИ и ИИС будет пониматься его сертификация, которая документально оформляется в виде Сертификата соответствия с приложениями, где приводятся основные свойства и характеристики соответствующего программного обеспечения.

Принимая во внимание отмеченные обстоятельства, специалисты ООО «ТБН Энергосервис» обратились в ФГУП «ВНИИМС» с просьбой провести независимую проверку качества ПО выпускаемых их предприятием счетчиков – расходомеров РМ –5 и счетчиков количества теплоты КМ-5. Следует при этом отметить, что указанные счетчики типа РМ-5 и КМ-5 ООО «ТБН Энергосервис» выпускает уже в течение ряда лет.

Цель настоящей публикации заключается в представлении методики и результатов испытаний программного обеспечения счетчика – расходомера РМ-5 и счетчика количества теплоты КМ-5 поскольку, с нашей точки зрения, это должно представлять определенный интерес как для разработчиков аналогичных средств измерений, так и для экспертов-метрологов Государственных центров испытаний средств измерений.

Счетчики – расходомеры электромагнитные РМ – 5 предназначены для измерения объемного и массового расхода, объема, массы и параметров электропроводящих жидкостей, движущихся в трубопроводах и полностью занимающих измерительные сечения. Они могут применяться при коммерческом и технологическом учете количества жидкостей, а также при диспетчерском и техническом контроле на объектах производства, хранения и потребления жидких сред [6]. Это автоматизированное средство измерений, в котором расход вычисляется по определенному алгоритму соответствующим программным обеспечением на основании измерительной информации, поступающей с первичных датчиков температуры и давления и преобразователя расхода.

Сертификационные испытания программного обеспечения счетчика-расходомера РМ-5 проводились для оценки его действительных свойств и характеристик при осуществ-

влении учета и обработки данных, получаемых от первичных преобразователей, и выдачи Сертификата соответствия с указанием результатов испытаний.

Методика испытаний разрабатывалась на основе МИ 2891-2004 «ГСИ. Общие требования к программному обеспечению средств измерений» и МИ 2955-2005 «ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения», руководства по монтажу и эксплуатации счетчиков-расходомеров РМ-5 и описания типа средств измерений: счетчики-расходомеры электромагнитные РМ-5.

На испытания были предоставлены следующая документация и программное обеспечение:

- руководство по монтажу и эксплуатации счетчиков-расходомеров РМ-5;
- протокол обмена между персональным компьютером (ПК) и приборами учёта серии РМ-5;
- описание типа средств измерений: счетчики-расходомеры электромагнитные РМ-5;
- программа ИПР-3 для тестирования аппаратуры и ПО РМ-5;
- программа дистанционного мониторинга KM5Pult.

Сертификационные испытания ПО, согласно МИ 2955-2005, включали в себя проведение следующих проверок и оценок:

- проверку документации;
- проверку разделения ПО и наличия защищенных интерфейсов;
- проверку соответствия ПО тому, которое было зафиксировано при испытаниях РМ-5 с целью утверждения типа;
- оценку погрешности ПО;
- установление степени защищенности ПО и данных.

В соответствии с требованиями рекомендации МИ 2891-04 при проверке документации проверялось наличие:

- описания структуры ПО и последовательности обработки данных;
- описания всех выполняемых функций ПО с учетом выделения частей, подлежащих метрологическому контролю, с внесением контролируемых функций и параметров в отдельный список;
- описания реализованных в программном обеспечении расчетных алгоритмов, последовательности их выполнения и связи между их частями;
- описания реализованного метода идентификации ПО;
- описания реализованных методов защиты ПО и данных.

В результате анализа представленной на программное обеспечение счетчика-расходомера РМ-5 документации было установлено, что она удовлетворяет общим требованиям к документации программного обеспечения средств измерений по МИ 2891-2004.

Поскольку ПО счетчика-расходомера РМ-5 представляет собой встроенный программный продукт, то согласно МИ 2955 проверка разделения ПО в этом случае не проводилась. Отсюда следовало, что все ПО счетчика-расходомера РМ-5 подлежало контролю (сертификации), так как функции и параметры ПО, используемого при обработке результатов измерений, могли влиять на результаты измерений.

Было констатировано, что в ПО расходомера реализован защищенный интерфейс, который охватывает все контролируемые функции, при этом отсутствует открытый доступ к этим функциям. Осуществляется также фильтрация ввода, а действие вводимых команд соответствует спецификации. На основании этого было сделано заключение, что структура тестируемого ПО характерна для встроенного ПО и по основным параметрам соответствует требованиям МИ 2891-2004.

Проверка соответствия ПО тому ПО, которое было зафиксировано при испытаниях РМ-5 с целью утверждения типа, включала в себя:

- анализ документации на предмет соответствия сертифицируемого ПО тому, которое было установлено (зафиксировано) при испытаниях расходомера с целью утверждения типа;
- выборочное тестирование функций ПО;
- проверку методов идентификации (номер версии, контрольная сумма).

Тип счетчика-расходомера электромагнитного РМ – 5 зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ под № 20699-06. Сертификат об утверждении типа средств измерений № 9375, выдан Государственным комитетом РФ по стандартизации, метрологии и сертификации.

Изучив представленную документацию и заявление ООО «ТБН Энергосервис» об отсутствии изменений и модификаций части ПО, подлежащей метрологическому контролю, на основании полученных результатов выборочного тестирования функций и частей ПО специалисты ФГУП «ВНИИМС» установили, что ПО счетчика-расходомера электромагнитного РМ-5 соответствует утвержденному типу средств измерений, зарегистрированному в Госреестре СИ под № 20699-06.

Погрешность ПО представляет собой отличие результатов, полученных с помощью испытываемого ПО, от результатов, полученных при тех же условиях так называемым «эталонным» ПО, т.е. для определения характеристик тестируемого ПО применялся метод сравнительных испытаний (сличения).

Под «эталонным» в данном случае понималось ПО, полученное путем программирования расчетных алгоритмов программы в прикладном программном пакете Mathcad 12.0 и воспроизведения в нем основных функций тестируемой программы. При этом все расчеты, проводимые в программе Mathcad 12.0, совершались с точностью до десятого знака после запятой, что гарантировало их необходимую точность. Другими словами, «эталонное» ПО реализовывало точное функционирование используемых в тестируемом ПО алгоритмов. В рамках рассматриваемых испытаний такой метод тестирования можно было осуществить, поскольку используемые в ПО счетчика – расходомера РМ-5 алгоритмы были достаточно простыми, и их программная реализация в программе Mathcad 12.0 особого труда не представляла.

Оценка погрешности ПО производилась на испытательном стенде, блок-схема которого приводится на рисунке 1.

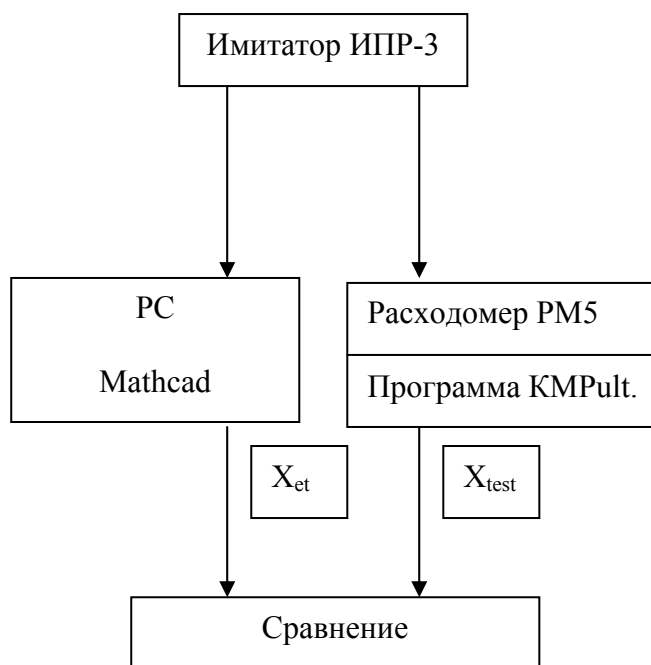


Рис. 1. Блок-схема испытательного стенда

Сигналы, вырабатываемые имитатором ИПР-3 (разработка ООО «ТБН Энергосервис») и имитирующие данные, полученные с катушки расходомера, с датчиков температуры и давления, подавались на вход расходомера с тестируемым программным продуктом и заводились в персональный компьютер, воспроизводящий основные функции тестируемого ПО. Программное обеспечение расходомера производило обработку измерительной информации и выводило результат обработки как на индикатор расходомера, так и на дисплей монитора посредством программы КМРult. Одновременно та же измерительная информация обрабатывалась «эталонным» программным продуктом, реализованным в РС. Далее происходило сличение результатов обработки по этим двум каналам.

При значениях относительной погрешности алгоритма

$$\delta = \frac{|X_{et} - X_{test}|}{X_{et}} < 0,05\%, \quad (1)$$

где X_{et} - результаты обработки имитируемых данных «эталонным» программным продуктом, X_{test} - результаты обработки тех же данных ПО расходомера, результаты испытаний признавались положительными. В обратном случае может быть принято решение о несоответствии программы необходимым требованиям.

Оценка погрешности вычислений встроенного программного обеспечения расходомера производилась в 4 этапа, указанных в таблице 1.

Таблица 1.

А	Проверка погрешности вычисления объемного расхода G_v
Б	Проверка погрешности вычисление массового расхода G_m
В	Проверка погрешности вычисление объема V
Г	Проверка погрешности вычисление массы M

Указанные в таблице 1 этапы реализовывались в виде следующей последовательности действий:

А). Для преобразования условного расхода в объемный использовались записанные в энергонезависимую память характеристики прибора, представляющие из себя n пар $(G_i, G_{эм})$ [$\text{м}^3/\text{ч}$] «эталонных» значений, полученных в процессе построения его градуировочной характеристики. Здесь термин «эталонный» относится к указанным выше парам значений расхода, относящимся к точкам, лежащим на градуировочной характеристике, которая в общем случае является нелинейной.

Вычисление объемного расхода велось путем поиска положения измеренного значения условного расхода G_i относительно этой характеристики и расчета объемного расхода методом кусочно-линейной аппроксимации. Для этого производился цикл поиска из $n - 1$ шагов. В каждом шаге выполнялись следующие действия:

- 1) Считывались две пары точек $(G_{i1}, G_{э1}), (G_{i2}, G_{э2})$, лежащих на градуировочной характеристике.
- 2) Делалось сравнение текущего (измеренного) значения G_i со значением G_i старшей пары считанного участка характеристики.
- 3) Если текущее значение G_i больше старшего считанного, то происходил переход к следующему циклу поиска, т.е. переход к пункту 1.

- 4) Если измеренное значение G_i меньше или равно старшему считанному значению, то происходил переход к вычислению объемного расхода G_V по формуле:

$$G_V = G_{\text{э1}} + \frac{G_{\text{э2}} - G_{\text{э1}}}{G_{i2} - G_{i1}} (G_i - G_{i1}). \quad (2)$$

Б). Для определения массового расхода G_m использовалась следующая зависимость

$$G_m(\tau) = \rho(t, P) \cdot G_V(\tau), \quad (3)$$

где $\rho(t, P)$ - функция, аппроксимирующая плотность измеряемой среды (в общем случае функция температуры t и давления P измеряемой среды).

Расчет $\rho(t, P)$ производился по интерполяционной формуле

$$\rho(t, P) = (A_0 + A_1 \cdot P + A_2 \cdot P^2) + (B_0 + B_1 \cdot P + B_2 \cdot P^2) \cdot t + (C_0 + C_1 \cdot P + C_2 \cdot P^2) \cdot t^2 + (D_0 + D_1 \cdot P + D_2 \cdot P^2) \cdot t^3, \quad (4)$$

где коэффициенты $A_i, B_i, C_i, D_i, (i = 0, 1, 2)$ определялись в результате интерполяционной процедуры и приводились в виде таблиц. Если измеряемая среда – вода, то функция $\rho(t, P)$ аппроксимирует плотность воды согласно данным ГСССД 98-86 с относительной погрешностью не более $\pm 0,05\%$ в диапазоне $t = 5 - 200^0 \text{ C}$, $P = 1 - 20 \text{ кгс/см}^2$ и с относительной погрешностью не более $\pm 0,1\%$ - в диапазоне $t = 0 - 4^0 \text{ C}$, $P = 1 - 20 \text{ кгс/см}^2$. Необходимо также отметить, что в случае воды учет давления практически не влияет на точность определения массового расхода и массы, поскольку плотность воды в рассматриваемом диапазоне температур слабо зависит от давления (изменение плотности не превышает $\pm 0,1\%$).

В). Объем измеряемой среды V , прошедшей через расходомер за время наблюдения Δt , должен вычисляться по формуле

$$V(\Delta t) = \int_{\Delta t} G_V(\tau) d\tau. \quad (5)$$

В программе вычисления по формуле (4) реализовывались в виде следующей последовательности шагов:

- задавался временной интервал Δt ,
- мгновенные значения объемного расхода, вычисленные по формуле (2), усреднялись по выбранному временному интервалу, т.е. находилось среднее значение объемного расхода \tilde{G}_V за выбранный временной интервал,
- объем среды, прошедшей через расходомер за время Δt , вычислялся по формуле

$$V(\Delta t) = \tilde{G}_V \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Г). По аналогичному алгоритму вычислялась масса измеряемой среды M , значения которой определяются формулой

$$M(\Delta t) = \int_{\Delta t} \rho(\tau, P) \cdot G_V(\tau) d\tau. \quad (7)$$

На основе полученных результатов испытаний рассчитывается характеристика точности испытываемых алгоритмов - относительная погрешность алгоритма.

Результаты расчета погрешности алгоритма вычисления объема измеряемой среды представлены в таблице 2.

Таблица 2.

G_V – усредненный объемный расход (расходомера), [м ³ /ч]	V – накопленный объем (расходомера), [м ³]	V – накопленный объем (эталонный), [м ³]	t – время измерений [с]	Относительная погрешность V %
-9,314000	-1,036191	-1,0361825	400,500	0,00082031
-9,314500	-0,846821	-0,8468174	327,290	0,00042298
-1,016400	-0,206512	-0,2064983	731,399	0,00662588
-1,016700	-0,105268	-0,1052679	372,740	0,000011082
-1,016700	-0,190587	-0,1905804	674,820	0,003455234
-1,017200	-0,133380000	-0,1333772	472,039000	0,00206790
0,785700	0,106143000	0,1061413	486,329000	0,00159763
0,782100	0,447343000	0,4473110	2058,969000	0,00715044
0,781600	0,175136000	0,1751237	806,609000	0,00698007
0,782000	0,092853000	0,0928449	427,419000	0,00871884
9,078900	2,275153000	2,2751471	902,150000	0,00025840
9,080800	2,310059000	2,3100520	915,799000	0,00029870
9,083000	0,777230000	0,7772272	308,050000	0,00035203
9,086600	0,961040000	0,9610341	380,750000	0,00060843
97,809000	9,799104000	9,7990761	360,669000	0,00028398
97,932100	16,760260000	16,7602356	616,109000	0,00014551
98,201500	10,654320000	10,6543171	390,580000	0,00002641
97,746300	32,941870000	32,9418607	1213,250000	0,00002826

В первой графе таблицы представлены результаты расчета программным обеспечением расходомера среднего значения расхода за временные интервалы измерений, значения которых представлены в четвертой графе. Во второй графе находятся результаты расчета объема, произведенные тестируемой программой, в третьей графе – аналогичные результаты, полученные «эталонной» программой (результаты представлены с точностью до седьмого знака после запятой, хотя вычисления проводились с точностью до десятого знака). В четвертой графе приведены результаты расчета по формуле (1) относительной погрешности расчета объема по формуле (5).

Результаты, приведенные в таблице 2, представлены на графике, изображенном на рис.2, при этом зависимость погрешности от объема была аппроксимирована линейной зависимостью, рассчитанной по методу наименьших квадратов.

Видно, что интересующую нас зависимость относительной погрешности δ % алгоритма вычисления объема жидкости от значений этого объема V [м³] можно представить в виде линейной зависимости с малым углом наклона, обусловленным погрешностью в усреднении мгновенных значений объемного расхода G_V и округлением результатов измерений до четвертого знака после запятой. Сглаженная таким образом погрешность δ % алгоритма вычисления объема V [м³] жидкости, прошедшей через счетчик-расходомер не превышает 0,005 %. При этом относительная погрешность вычисления объемного расхода оказалась не более 0,003 %.

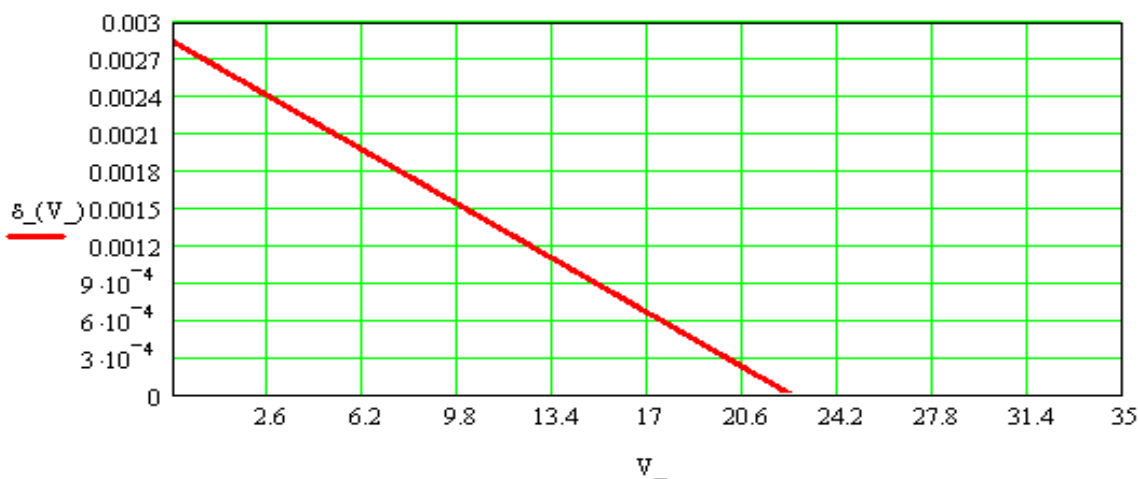


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности δ % алгоритма вычисления объема V [м³].

Относительно полученного значения погрешности алгоритма вычисления объема необходимо отметить, что это - погрешность сличения двух программных продуктов (тестируемого и «эталонного»), а не погрешность измерения объема расходомером, которая определяется либо при испытаниях с целью утверждения типа, либо при проверке прибора. При этом погрешность расчета плотности по интерполяционной формуле (4) должна учитываться при оценке погрешности измерения объема расходомером. Полученная нами оценка погрешности является оценкой одной из составляющей методической погрешности измерений. Если предположить, что «эталонный» программный продукт удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к таким программам, а для такого предположения имелись необходимые основания (вычисления с точностью до десятого знака после запятой, сопоставление с тестовыми примерами), то полученная оценка погрешности сличения программных продуктов показывает, что вклад погрешности ПО в методическую составляющую суммарной погрешности действительно является малым, а сам программный продукт адекватно отображает измеряемую физическую величину.

Аналогичным образом были оценены погрешности алгоритмов вычисления массового расхода и массы. Они оказались не более 0,02 % и 0,006 %, соответственно.

На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что ПО счетчика-расходомера РМ-5 удовлетворяет требованию (1).

Проверка защиты ПО от сбоев и изменений как самого программного продукта, так и данных сводилась к следующим действиям:

- проверка функционирования ПО счетчика-расходомера на события, связанные с аппаратной неисправностью и выходом параметров за номинальные диапазоны измерений;

- осуществление имитации программно-аппаратного сбоя;

- проверка защиты.

Досрочное завершение работы с ПО, отключение питания, нарушение соединений, нарушение последовательности работы с ПО показали, что эти действия не оказали влияния на сохранность программы и данных. Пломбирование корпуса расходомера с целью защиты ПО и данных расходомера РМ-5 от несанкционированного доступа и искажения эквивалентно среднему уровню защищенности по классификации МИ 2891-2004.

На основании изложенных результатов сертификационных испытаний было принято решение о выдаче ПО счетчика-расходомера РМ-5 Сертификата соответствия с изложением основных результатов тестирования в приложении к Сертификату.

Перейдем теперь к описанию методов и результатов оценки качества ПО счетчика количества теплоты КМ-5.

Счетчики количества теплоты (в дальнейшем – теплосчетчики) электромагнитные КМ-5 предназначены для измерения и коммерческого учета количества теплоты, объема и массы теплоносителя, потребляемого жилыми, общественными, коммунально-бытовыми зданиями, промышленными предприятиями в закрытых и открытых системах теплоснабжения, для измерения и регистрации объемного и массового расхода и параметров теплоносителя в обоих направлениях через первичные преобразователи расхода, а также для использования в автоматизированных системах учета, контроля и регулирования количества теплоты [7].

В состав теплосчетчика входят модуль КМ, состоящий из преобразователя расхода электромагнитного (т.е. из счетчика – расходомера РМ-5), блок питания и комплект преобразователя температуры для измерения разности температур.

Методика оценки качества программного обеспечения теплосчетчика полностью аналогична методике тестирования ПО счетчика – расходомера РМ-5 с той только разницей, что для расчета количества теплоты используется другой алгоритм, характерный для большинства отечественных теплосчетчиков.

Для тестирования погрешности ПО теплосчетчика КМ-5 был применен поэлементный метод тестирования, поскольку ПО счетчика – расходомера РМ-5, входящего в состав теплосчетчика, было уже протестировано, а методика его тестирования описана выше.

В программном обеспечении теплосчетчика для определения количества теплоты Q используется формула

$$Q = V \cdot \rho \cdot (h_1 - h_2), \quad (8)$$

где V [м³] – объем теплоносителя, протекшего через подающий (обратный) трубопровод за время наблюдения; ρ – функция, аппроксимирующая плотность измеряемой среды (в общем случае функция температуры t и давления P измеряемой среды) в подающем трубопроводе; h_1, h_2 – удельная энтальпия теплоносителя (сетевой воды), в подающем и обратном трубопроводах, соответственно, согласно ГСССД-98-86.

Интерполяционная формула для функции ρ обсуждалась выше. Аналогично была рассчитана интерполяционная формула для функции $h(t, P)$. Коэффициенты интерполяции были представлены в виде таблицы, погрешность интерполяции была оценена, и оказалось, что она отлична от нуля только при таких разностях температур и значений давления, которые редко реализуются в процессе эксплуатации.

На основе полученных результатов испытаний рассчитывалась характеристика точности алгоритма – его относительная погрешность, определяемая формулой (1). Результаты испытаний представлены на рис. 3.

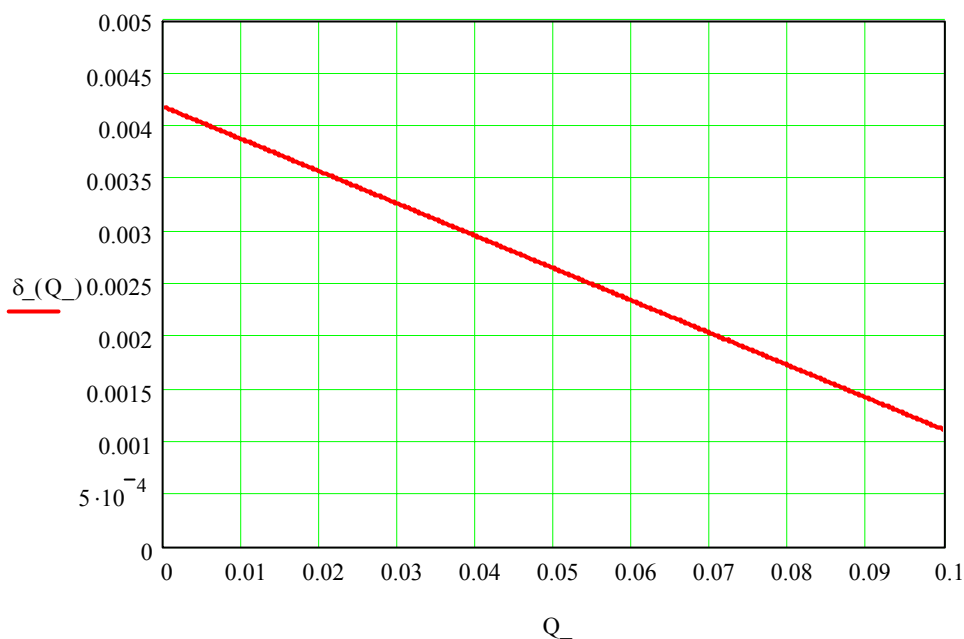


Рис. 3. Относительная погрешность δ % алгоритма вычисления количества теплоты Q [Гкал] (аппроксимация результатов вычислений линейной зависимостью по методу наименьших квадратов).

Видно, что погрешность рассматриваемого алгоритма не более 0,005 %. С учетом того, что погрешность ПО счетчика – расходомера также не превышает 0,005%, приходим к выводу, что погрешность вычисления количества теплоты ПО теплосчетчика КМ-5 не превышает 0,01 %, что удовлетворяет условию (1).

Результаты тестирования остальных характеристик ПО теплосчетчика КМ-5 оказались полностью идентичными тем, которые были получены при тестировании счетчика-расходомера РМ-5. На этом основании было также принято решение о выдаче ПО теплосчетчика КМ-5 Сертификата соответствия с указанием в приложении к Сертификату основных результатов тестирования.

Авторы благодарят Лисенкова А.И. за интерес к работе и полезные обсуждения.

Список литературы.

1. Дудькин А.А., Кудеяров Ю.А., Паньков А.Н. Проблемы аттестации встроенного программного обеспечения средств измерений. Законодательная и прикладная метрология, № 1, 2007, 22-26.
2. МИ 2174 – 91 «ГСИ. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях. Основные положения».
3. МИ 2517 – 99 «ГСИ. Метрологическая аттестация программного обеспечения средств измерений параметров физических объектов и полей с использованием компьютерных программ генерации цифровых тестовых сигналов».
4. МИ 2518-99 «ГСИ. Метрологическая аттестация алгоритмов и программ генерации цифровых тестовых сигналов».
5. МИ 2955-2005. «ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения».
6. Электромагнитные полнопроходные счетчики – расходомеры РМ-5. Руководство по монтажу и эксплуатации.
7. Электромагнитные полнопроходные теплосчетчики КМ-5. Руководство по монтажу и эксплуатации.

АННОТАЦИЯ.

Рассмотрены методика и результаты тестирования встроенного программного обеспечения счетчика – расходомера РМ-5 и теплосчетчика КМ-5.