Таким образом, на основании дискретной математической модели задачи теплопроводности разработана программная реализация алгоритма расчета изменения избыточной температуры в плоскости контакта двух материалов при действии линейного импульсного источника тепла с учетом длительности теплового импульса, релаксации теплоты, контактного термического сопротивления и зависимости теплофизических свойств от температуры. Решена обратная коэффициентная задача теплопроводности, алгоритм которой реализован программно на основе вариационных методов решения экстремальных задач, с возможностью оценки интервалов неопределенности идентификации теплофизических свойств материалов.

Литература

1. **Казаров Ю. К. и др.** Принципы многоразового использования космических аппаратов: концептуальные аспекты при авиационных происшествиях // Проблемы безопасности полетов. 2005. Вып. 3. С. 9—26.

2. **Карташов Э. М.** Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 2001.

3. **Ищук И. Н., Фесенко А. И.** Тепловой неразрушающий контроль теплофизических свойств материалов на основе многофакторных функций преобразования // Измерительная техника. 2005. № 7. С. 44—49; **Ishchuk I. N., Fesenko A. I.** Thermal Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Materials Using Multifactor Transformation Functions // Measurement Techniques. 2005. V. 48. N 7. P. 693—701.

4. **Свид. 2008610687 РФ** об офиц. регистрации программы для ЭВМ. Численная модель двумерной (трехмерной) нелинейной задачи теплопроводности с разрывными коэффициентами (Boer2D / Boer3D) / И. Н. Ищук, Ю. Ю. Громов // Программа для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных схем. 2008. № 2(63). Ч. 1. С. 165.

5. **Свид. 2008611320 РФ** об официальной регистрации программы для ЭВМ. Численный алгоритм решения обратной коэффициентной задачи теплопроводности с разрывными коэффициентами (Ident) / И. Н. Ищук, Ю. Ю. Громов // Программа для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных схем. 2008. № 2(63). Ч. 2. С. 317, 318.

Дата принятия 20.07.2010 г.

519.233.5:532.57

Оценка достоверности результатов измерений в системах теплоснабжения с использованием уравнений баланса расходов теплоносителя

В. П. ЧИПУЛИС

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия, e-mail: chipulis@vira.dvo.ru

Рассмотрены вопросы оценки достоверности результатов измерений в системах теплоснабжения. Проанализированы уравнения баланса расходов теплоносителя, отражающие закон сохранения масс, для различных типов систем. Приведены аналитические выражения, использование которых позволяет сделать заключение о допустимости результатов измерений при решении задач учета тепловой энергии.

Ключевые слова: *достоверность результатов измерений, система теплопотребления.*

The problem of validity estimation of measurement results in heat supply systems is considered. The equations of balance of heating medium consumption for various types of systems are analyzed. Analytical dependences for the conclusion about admissibility of the measurement results in solving the tasks of thermal energy account are resulted.

Key words: *validity of measurement results, heat supply system.*

В настоящее время общепризнана и законодательно подкреплена необходимость установки приборов учета как у поставщиков, так и у потребителей тепловой энергии. Одним из основных требований, предъявляемых к системам технологического и коммерческого учета, является обеспечение достоверности результатов измерений. Использование недостоверных результатов в технологическом процессе может привести к нежелательным, а порой и необратимым последствиям. В случае коммерческого учета теплоты и теплоносителя недостоверные результаты ведут к нарушению справедливого экономического баланса во взаимоотношениях поставщика (продавца) и потребителя (покупателя). Очевидно, что недостоверные результаты не могут быть приняты в качестве основы для оплаты потребляемых ресурсов.

Интуитивно понятно, что достоверность результатов измерений связана с их точностью, которая, в свою очередь, определяется погрешностью измерений [1]. Однако в среде специалистов по коммерческому учету теплоты нет достаточно четкой однозначной формальной трактовки понятия достоверности измерений, как нет и однозначного понимания того, в каких случаях и каким образом можно оценить достоверность конкретных результатов измерений без применения трудоемкой процедуры поверки измерительного оборудования. Ниже сделана попытка уточнить указанные понятия и, в конечном счете, предложить формальные спосо-

бы для оценки достоверности результатов измерений в системах теплоснабжения при решении задач учета тепловой энергии.

Достоверность и допустимость результатов измерений. Для лучшего понимания проблемы обратимся к понятию достоверности в других задачах, где оно формализовано и давно используется специалистами. Одна из таких задач — диагностирование технического состояния, результатом которого является список подозреваемых неисправностей (СПН). Результат диагностирования считается достоверным, если список содержит, по крайней мере, одну из имеющихся в объекте фактических неисправностей. Достоверность — основное свойство метода диагностирования. Это свойство является необходимым и доказывается для каждого конкретного метода.

Разумеется, пользователя интересует не только достоверность результата диагностирования. Для него важно, чтобы СПН содержал возможно меньшее число «лишних» неисправностей, т. е. тех, которых нет в объекте. Однако «лишние» неисправности имеют отношение к другому понятию, характеризующему качество результата, — разрешающей способности диагностирования.

Таким образом, достоверность — основное требование к результату диагностирования, а разрешающая способность — характеристика его качества.

Вернемся к понятию достоверности результатов измерений применительно к задаче коммерческого учета. При этом ограничимся только измерениями количества (массы) теплоносителя, тем более что этим вопросам уделяется основное внимание специалистов.

Рассмотрим для начала наиболее простой случай закрытой системы теплопотребления (рис. 1). Введем следующие обозначения: M_1, M_2 — измеренное количество (масса) теплоносителя, прошедшего соответственно в подающем и обратном трубопроводах системы за определенный промежуток времени; A, B — фактическое количество теплоносителя, прошедшего соответственно в подающем и обратном трубопроводах системы за тот же промежуток времени.

Очевидно, что неизвестны фактические расходы, а известны лишь результаты их измерений M_1, M_2, которые отличаются от фактических.

Если проводить аналогию с диагностированием, то достоверность результатов измерений следует связывать с основным требованием, предъявляемым к измерениям. Для коммерческого учета, исходя из существующей нормативной базы, таковым, по всей видимости, является требование, сформулированное в пункте 5.2.4 действующих «Правил учета тепловой энергии и теплоносителя» [2], а именно: «Водосчетчики должны обеспечивать измерение массы (объема) теплоносителя с относительной погрешностью не более ± 2 % ...».

Обозначим k относительную погрешность расходомера, выраженную как $k = (M - A)/A$, где A — фактическое значение измеренной величины M, а p — относительную погрешность в процентах, $p = 100k$. С учетом приведенного выше требования примем следующее определение достоверности.

Определение 1. Результат измерения количества M теплоносителя является достоверным, если $|M - A| \le 0{,}02A$, и недостоверным — в противном случае.

Таким образом (по аналогии с задачей диагностирования), достоверность — основное требование к результатам измерения, а погрешность — характеристика его качества.

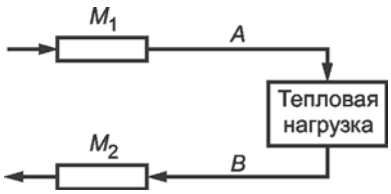

Рис. 1. Закрытая система теплопотребления

Однако на этом аналогия заканчивается. Если достоверность результатов диагностирования доказывается для каждого конкретного метода (метод диагностирования должен приводить к достоверным результатам), то с достоверностью результатов измерений дело обстоит иначе.

Для простоты ограничимся в дальнейшем инструментальными погрешностями расходомеров. При этом будем полагать, что в системе отсутствуют утечки и перетоки.

Перейдем далее к системе уравнений, отображающих результаты измерений с учетом погрешностей расходомеров k_1 и k_2:

$$(1 + k_1)A = M_1, \quad (1 + k_2)B = M_2$$

или, принимая во внимание, что $A = B$:

$$(1 + k_1)A = M_1, \quad (1 + k_2)A = M_2. \qquad (1)$$

Выразим погрешности расходомеров через известные результаты измерений M_1 и M_2 и неизвестное значение расхода A:

$$k_1 = M_1/A - 1; \qquad k_2 = M_2/A - 1 \qquad (2)$$

или в процентах

$$p_1 = 100(M_1/A - 1); \quad p_2 = 100(M_2/A - 1). \qquad (3)$$

Системы уравнений (1)—(3) содержат три неизвестных k_1, k_2 (p_1, p_2) и A и имеют бесконечное множество решений. Поскольку удобнее анализировать погрешности в процентах, обратимся к системе (3). Рассмотрим конкретный пример, пусть $M_1 = 102$, $M_2 = 99$. Если нет никаких ограничений, связанных со значением расхода A, то можно предполагать, что фактическое значение расхода может быть равно любому положительному числу. Задавшись некоторым A, можно из уравнений системы (3) получить соответствующие значения погрешностей расходомеров. Поскольку A может быть любым, то и погрешности p_1 и p_2 могут принимать сколь угодно малые (большие) значения. Как следствие, они могут превышать по модулю значение 2 %. Так, задавшись $A = -100$, получим $p_1 = 2$ %; $p_2 = -1$ %; если $A = 103$, то $p_1 = -0{,}97$ %, $p_2 = -4{,}04$ %; если $A = 110$, то $p_1 = 7{,}3$ %, $p_2 = -10$ %. Как видно, первый вариант укладывается в требование Правил [2], а два последующих нет.

Приведенные выше рассуждения справедливы и для случая одинаковых результатов измерений M_1 и M_2. Погрешности расходомеров p_1 и p_2 при этом будут одинаковы и могут быть равны любому числу, как меньшему, так и большему (по модулю) 2 %.

Таким образом, при любых результатах измерений M_1 и M_2 в закрытой системе теплопотребления нельзя утверждать, что они являются достоверными. Однако результаты измерений (а точнее их расхождения) могут и должны нести в себе конструктивный смысл и использоваться для оценки

их достоверности. При этом его следует связывать не с верой в истинность результатов измерений (близость к фактическим величинам), а с их приемлемостью для решений конкретной задачи, в рассматриваемом случае — учета теплоты. Введем другое понятие, отвечающее данному смыслу.

Определение 2. Результаты измерений являются допустимыми, если существует решение системы уравнений (3), при котором погрешность каждого из расходомеров не превышает 2 %, и недопустимыми в противном случае.

Данное определение достоверности результатов измерений хорошо согласуется с презумпцией их достоверности («невиновности»), а также с существующей практикой. Действительно, результаты измерений принимаются (допускаются) к коммерческим расчетам, если нельзя доказать, что они недостоверны. При этом следует отдавать отчет в том, что допустимые результаты измерений не гарантируют их достоверность (т. е. не обязательно выполняется требование п. 5.2.4 из [2]). Остается лишь надеяться, что погрешность измерений при допустимых результатах укладывается в норму в межповерочный период эксплуатации измерительного оборудования.

В том случае, если не существует решения системы уравнений (3), при котором погрешность каждого из расходомеров не превышает 2 %, то результаты измерений, безусловно, не должны приниматься в коммерческих расчетах.

Замечание. Можно поставить под сомнение практический смысл предположения о произвольном значении фактического расхода теплоносителя в системе теплопотребления. Действительно, разумно ограничиться определенным интервалом возможных значений: либо динамическим диапазоном измерений расходомера, либо рабочим диапазоном значений расхода. Положим, что расход в системе может изменяться в диапазоне 50—150 отн. ед. Тогда для рассматриваемого примера $M_1 = 102$, $M_2 = 99$ получим из (3) интервал возможных значений погрешностей расходомеров $-32 \le p_1 \le 104$ %, $-34 \le p_2 \le 98$ %.

Принято считать, что разность измеренных расходов в подающем и обратном трубопроводах системы $\delta = M_1 - M_2$ определяет рассогласование каналов измерения расхода, под которым понимается разность погрешностей расходомеров p_1 и p_2. Однако δ определяет лишь рассогласование результатов измерений, а рассогласование каналов может быть различным, т. е. не может быть определено однозначно по результатам измерений. Так, рассогласование каналов измерения равно 2,985 % для случая одинаковых по модулю погрешностей расходомеров, при котором $A = 0{,}5\ (M_1 + M_2) = 100{,}5$. С увеличением A фактического расхода рассогласование каналов измерения будет уменьшаться и составит 2 % при $A = 150$, а с уменьшением A — увеличиваться и составит 6 % при $A = 50$.

Уравнения баланса для закрытой системы. Для ответа на вопрос, каким образом, имея результаты измерений, можно прийти к заключению об их допустимости (недопустимости), обратимся к двум модельным представлениям объекта, опирающимся на отображение баланса потоков теплоносителя в системе. Одно из них соответствует модели системы теплопотребления в исправном техническом состоянии (без утечек и перетоков) и может быть представлено уравнением баланса массовых расходов, которое для закрытой системы имеет вид

$$A = B \quad \text{или} \quad A - B = 0. \qquad (4)$$

Отметим, что в (4) фигурируют неизвестные (но равные согласно закону сохранения масс) фактические значения расходов в подающем и обратном трубопроводах системы.

Уравнение баланса с использованием полученных результатов измерений запишем в другом виде

$$M_1 - M_2 = \delta,$$

где δ — рассогласование результатов измерений в подающем и обратном трубопроводах системы.

Рассмотрим вначале случай, при котором $M_1 > M_2$. Предположим, что погрешности расходомеров k_1 и k_2 равны по модулю: $|k_1| = |k_2| = k$. При этом очевидно, что $k_1 = k$, $k_2 = -k$.

Тогда систему уравнений (1) представим как

$$(1 + k)\,A = M_1; \quad (1 - k)\,A = M_2. \qquad (5)$$

Сложив правые и левые части уравнений системы (5), получим

$$M_1 + M_2 = A + kA + A - kA = 2A; \qquad (6)$$

вычтя из правой части первого уравнения системы (5) правую часть второго уравнения, а из левой части первого уравнения левую часть второго, найдем

$$M_1 - M_2 = A + kA - A + kA = 2kA.$$

Отсюда $k = (M_1 - M_2) / 2A$ или с учетом (6)

$$k = (M_1 - M_2) / (M_1 + M_2).$$

Покажем, что при любом другом решении системы уравнений (1), т. е. если $|k_1| \ne |k_2|$, погрешность, по крайней мере, одного из расходомеров превышает k по модулю. Из выражения (6), которое соответствует случаю равных по модулю погрешностей, получим

$$0{,}5\,(M_1 + M_2) = A,$$

что указывает на равноудаленность значения фактического расхода от M_1 и M_2. Нетрудно заметить, что с увеличением значения A фактического расхода увеличивается $|M_2 - A|$, и в результате растет $|k_2|$, а это следует также из второго уравнения системы (2). При уменьшении значения A фактического расхода увеличивается $M_1 - A$ и растет погрешность k_1, что следует также из первого уравнения системы (2).

Рассуждая аналогичным образом, можно показать, что при $M_1 < M_2$ значение k для равных по модулю погрешностей k_1 и k_2 определяется выражением $k = (M_2 - M_1) / (M_1 + M_2)$, а в общем случае $k = |M_1 - M_2| / (M_1 + M_2)$ и

$$p = 100|M_1 - M_2| / (M_1 + M_2). \qquad (7)$$

Изложенное выше позволяет сформулировать следующее утверждение.

У т в е р ж д е н и е 1. Результаты измерений расхода M_1 и M_2 в закрытой системе теплопотребления являются допустимыми, если

$$p = 100|M_1 - M_2| / (M_1 + M_2) \le 2\ \%,$$

и недопустимыми в противном случае.

Действительно, если $p \le 2$ %, то возможен случай, при котором погрешности каждого из расходомеров равны по модулю и не превышают допустимого значения. Поэтому результаты измерений M_1 и M_2 следует признать допустимыми (хотя про их достоверность ничего сказать нельзя). Если же $p > 2$ %, то погрешность, по крайней мере, одного из расходомеров превышает допустимое значение, и в этом случае результаты необходимо признать недопустимыми для коммерческого учета. Заметим, что при этом результаты измерений являются недостоверными.

Уравнения баланса для открытой системы с тупиковой системой горячего водоснабжения (ГВС). Упрощенная схема такой системы приведена на рис. 2, где M_3 — измеренное количество теплоносителя, потребленного на нужды ГВС в рассматриваемой системе теплопотребления.

Система уравнений, отображающих результаты измерений с учетом погрешностей расходомеров k_1, k_2 и k_3, имеет вид

$$(1 + k_1)A = M_1;\ (1 + k_2)B = M_2;\quad (1 + k_3)C = M_3. \qquad (8)$$

Модель системы теплопотребления в исправном техническом состоянии согласно закону сохранения масс характеризуется уравнением баланса массовых расходов: $A = B + C$ или $A - (B + C) = 0$. Здесь A, B, C — неизвестные (но связанные уравнением баланса) фактические значения расходов в подающем, обратном трубопроводах и трубопроводе системы ГВС. Уравнение баланса с использованием полученных результатов измерений запишем как $M_1 - (M_2 + M_3) = \delta$, где δ — отклонение от баланса расходов в системе.

Рассмотрим вначале случай, при котором $M_1 > (M_2 + M_3)$. Предположим, что погрешности расходомеров k_1, k_2 и k_3 равны по модулю: $|k_1| = |k_2| = |k_3| = k$ и $k_1 = k$, $k_2 = k_3 = -k$. Тогда система уравнений (8) изменится:

$$(1 + k)A = M_1;\quad (1 - k)B = M_2;\quad (1 - k)C = M_3. \qquad (9)$$

Сложив правые и левые части уравнений системы (9), получим

$$M_1 + M_2 + M_3 = (A + B + C) + k(A - B - C) = A + B + C; \qquad (10)$$

вычтя из правой части первого уравнения системы (9) сумму правых частей второго и третьего, а из левой части первого сумму левых частей второго и третьего, найдем

$$M_1 - (M_2 + M_3) = (A - B - C) + k(A + B + C) = k(A + B + C),$$

откуда $k = (M_1 - (M_2 + M_3)) / (A + B + C)$ или с учетом (10)

$$k = (M_1 - (M_2 + M_3)) / (M_1 + M_2 + M_3).$$

Аналогично при $M_1 < (M_2 + M_3)$ и $|k_1| = |k_2| = |k_3| = k$ имеем $k = ((M_2 + M_3) - M_1) / (M_1 + M_2 + M_3)$, а в общем случае $k = |M_1 - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3)$ и

$$p = 100|M_1 - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3). \qquad (11)$$

Покажем, что при любом другом решении системы уравнений (8) погрешность, по крайней мере, одного из трех расходомеров превышает k по модулю. Пусть теперь $M_1 > (M_2 + M_3)$. Из выражения (10), которое соответствует случаю равных по модулю значений погрешностей, с учетом того, что $A = B + C$, получим

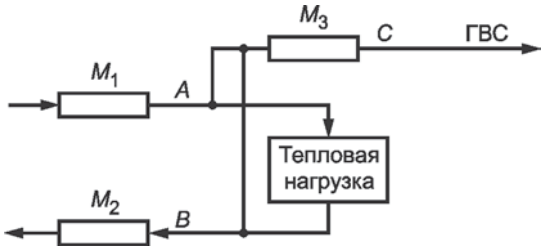

Рис. 2. Открытая система теплопотребления с тупиковой системой горячего водоснабжения *ГВС*

$$0{,}5\,((M_1 + (M_2 + M_3)) = A.$$

Из этого соотношения следует равноудаленность A (с учетом равных по модулю, но противоположных по знаку k_1, k_2, k_3) от M_1 и суммы $(M_2 + M_3)$. Нетрудно заметить, что с уменьшением A увеличивается $M_1 - A$, и в результате растет k_1, что следует также из первого уравнения системы (8). При увеличении A растет сумма $(B + C)$, поскольку $A = B + C$, и поэтому увеличивается хотя бы одно из значений — B или C. В результате возрастает (по модулю), по крайней мере, одна из отрицательных погрешностей k_2 или k_3, что следует также из второго и третьего уравнений системы (8).

Подобные рассуждения можно провести для случая $M_1 < (M_2 + M_3)$. Это позволяет сформулировать следующее утверждение.

У т в е р ж д е н и е 2. Результаты измерений расхода M_1, M_2 и M_3 в открытой системе теплопотребления с тупиковой системой ГВС являются допустимыми, если

$$p = 100\,|M_1 - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3) \le 2\ \%,$$

и недопустимыми в противном случае.

Уравнения баланса для открытой системы с циркуляционной системой ГВС. Упрощенная схема такой системы приведена на рис. 3, где M_3, M_4 — измеренное количество теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах системы ГВС.

Система уравнений, отображающих результаты измерений с учетом погрешностей расходомеров k_1, k_2, k_3 и k_4, имеет вид

$$(1 + k_1)A = M_1;\quad (1 + k_2)B = M_2;\quad (1 + k_3)C = M_3;$$

$$(1 + k_4)D = M_4. \qquad (12)$$

Модель системы теплопотребления в исправном техническом состоянии согласно закону сохранения масс характеризуется уравнением баланса массовых расходов

$$A - B = C - D \text{ или } \quad (A - B) - (C - D) = (A + C) - (B + D),$$

где A, B, C, D — неизвестные (но связанные уравнением баланса) фактические значения расходов в соответствующих трубопроводах системы.

Уравнение баланса с использованием полученных результатов измерений

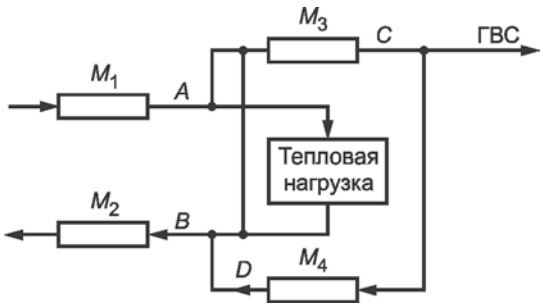

Рис. 3. Открытая система теплопотребления с циркуляционной системой горячего водоснабжения *ГВС*

$$(M_1 - M_2) - (M_3 - M_4) = (M_1 + M_4) - (M_2 + M_3) = \delta.$$

Рассмотрим вначале случай, при котором $(M_1 + M_4) > (M_2 + M_3)$. Предположим, что погрешности расходомеров равны по модулю: $|k_1| = |k_2| = |k_3| = |k_4| = k$. При этом очевидно, что $k_1 = k_4 = k$, $k_2 = k_3 = -k$. Тогда систему уравнений (12) запишем как

$$(1 + k)A = M_1;\ (1 - k)B = M_2;\ \ (1 - k)C = M_3;$$

$$(1 + k)D = M_4. \qquad (13)$$

Сложив правые и левые части уравнений (13), получим

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = (A + B + C + D) + k((A + C) -$$

$$-(B + D)) = A + B + C + D; \qquad (14)$$

а вычтя из суммы правых частей первого и четвертого уравнений системы (13) сумму правых частей второго и третьего, а из суммы левых частей первого и четвертого сумму левых частей второго и третьего, придем к выражению

$$(M_1 + M_4) - (M_2 + M_3) = (A + D) - (B + C) + k(A + B + C + D) =$$

$$= k(A + B + C + D),$$

откуда $k = ((M_1 + M_4) - (M_2 + M_3)) / (A + B + C + D)$ или с учетом (14)

$$k = ((M_1 + M_4) - (M_2 + M_3)) / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4).$$

Аналогично можно показать, что для $(M_1 + M_4) < (M_2 + M_3)$ и $|k_1| = |k_2| = |k_3| = |k_4| = k$ получим выражение $k = ((M_2 + M_3) - (M_1 + M_4)) / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$. В общем случае $k = |(M_1 + M_4) - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4)$ и

$$p = 100|(M_1 + M_4) - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4). \qquad (15)$$

Нетрудно показать (по аналогии с открытой системой теплопотребления с тупиковой системой ГВС), что при любом другом решении системы уравнений (13) (если погрешности всех четырех расходомеров не равны по модулю), погрешность, по крайней мере, одного из них превышает p. Это позволяет сформулировать следующее утверждение.

У т в е р ж д е н и е 3. Результаты измерений расхода M_1, M_2, M_3, M_4 в открытой системе теплопотребления с циркуляционной системой ГВС оказываются допустимыми, если

$$p = 100\,|(M_1 + M_4) - (M_2 + M_3)| / (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) \le 2\ \%,$$

и недопустимыми в противном случае.

В общем случае значение p, являющееся порогом для определения допустимости результатов измерений, выражается отношением отклонения δ к сумме расходов, измеренных приборами, которые установлены в системе.

Заключение. Уравнения баланса расходов теплоносителя в системах теплопотребления, отражающие закон сохранения масс, позволяют выполнить оценку достоверности результатов измерений. Но результаты этой оценки не могут быть исчерпывающими. При любом (в том числе и нулевом) отклонении δ результатов измерений от баланса расходов существует вероятность того, что погрешности расходомеров превышают допустимое значение, и поэтому результаты измерений нельзя признавать достоверными. Однако значение p, вычисляемое в зависимости от типа системы теплопотребления по (7), (11) или (15), позволяет прийти к одному из следующих конкретных выводов:

если $p > 2$ %, то результаты измерений наверняка являются недостоверными и их нельзя принимать в качестве основы для оплаты потребляемых ресурсов;

если $p \le 2$ %, то не исключено, что погрешности расходомеров укладываются в требование Правил [2], и поэтому (за неимением возможности доказать обратное) результаты измерений являются допустимыми и должны быть приняты для решения задач учета тепловой энергии.

Отметим еще одно существенное обстоятельство. Отклонение от баланса расходов в системе может вызываться не только погрешностями расходомеров, но и другими причинами, среди которых наиболее вероятной является утечка или переток из другой системы (например, из системы холодного водоснабжения). Однако если эти причины приводят к тем же последствиям, что и инструментальные погрешности, то и подходить к ним следует аналогично, т. е. считать результаты измерений допустимыми или недопустимыми в зависимости от вычисленного значения p.

Л и т е р а т у р а

1. **Чипулис В. П.** О достоверности и допустимости результатов измерений в задачах учета теплоты // Коммерческий учет энергоносителей: Труды 15-й науч.-практ. конф. СПб., 2002. С. 138—141.

2. **Правила** учета тепловой энергии и теплоносителя: ВК-4936/Главгосэнергонадзор Минтопэнерго РФ, 1995.

Дата принятия 05.10.2010 г.