

что значение крутизны электронной настройки при учете монотронных потерь увеличивается особенно в области отрицательных углов $\Delta\theta$.

На основании условия возникновения и существования генерации в клистроне ширина зон генерации и диапазон электронной настройки при неизменных активных проводимостях резонатора и нагрузки для конечных углов пролета электронов через ВЧ-зазор зависят от проводимости, обусловленной потерями на модуляцию g_m . Следовательно, по формуле (5), с увеличением модуляционных потерь, добротность колебательной системы клистронного генератора падает, что приводит к увеличению диапазона и крутизны электронной настройки.

Полученные в работе соотношения с использованием оригинального кинематического метода учета влияния конечного угла пролета электронов через зазор резонатора значительно проще и нагляднее других аналогичных соотношений, известных в литературе, решаются численно и весьма удобны для практических расчетов вновь создаваемых СВЧ-устройств с тормозящими полями в миниатюрном исполнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров Н.Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы. М.: Атомиздат, 1989.
2. Полищук А.А. Энергетические соотношения в клистронном генераторе// Научные и прикладные проблемы энергетики. Вып. 3. Минск, 1986.

УДК 681.121

В.И. Бакаленко, доцент, Г.В. Вальковский, инженер

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

The methodical error of devices of the account of heat is considered caused by algorithm of calculation of quantity of heat. The influence either of values of the parameters of a heating system, or the arrangements of the parameters control points on an error of measurement is shown.

Стремление к уменьшению расходов на оплату за использованное тепло заставляет потребителей отказываться от «нормативного» способа расчетов и все более широко внедрять узлы коммерческого учета и рассчитываться с поставщиком по показаниям установленных у них приборов. Существующий в республике рынок приборов учета тепла представлен более чем десятком различных моделей. Многие из них имеют достаточно близкие метрологические характеристики (МХ) и функциональные возможности, что создает проблему при выборе той или иной модели. В этих условиях важными задачами являются обеспечение сходимости результатов, т.е. показания приборов, установленных у поставщика, должны совпадать с суммарными показаниями приборов потребителей и с указанной в технической документации погрешностью, а также выбор корректного алгоритма вычисления потребленного количества теплоты.

Основной источник несходимости – наличие систематической погрешности. Определить ее невозможно, так как практически все производители указывают погрешность прибора в виде допускаемого предела, который включает как систематическую, так и случайную составляющие. Например, наиболее распространенные тепло-

счетчики класса 4 [1] имеют предел допускаемой относительной погрешности измерения расхода $\pm 2\%$. Это означает, что максимальное расхождение показаний двух метрологически исправных приборов может составить 4%. Решением проблемы может стать понижение предела погрешности до $(0,5 - 1,0)\%$, что уменьшит и систематическую составляющую. Кроме того, снабжение расходомера индивидуальной калибровочной характеристикой позволит учитывать в дальнейшем знаки погрешности при их суммировании.

От выбора алгоритма вычислений зависят как требования к конструкции прибора, так и схема узла учета и бесконфликтные взаиморасчеты потребителя и поставщика. В закрытых системах теплоснабжения, в которых отсутствует расход теплоносителя, потребленное количество теплоты рассчитывается по формуле, принятой как у нас, так и за рубежом:

$$Q = G \times (h_1 - h_2), \quad (1)$$

где G – масса теплоносителя; h_1 и h_2 – энтальпии теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

Погрешность такого расчета определяется погрешностями измерения массы теплоносителя и соответствующих энтальпий и не вызывает споров.

Открытая система теплоснабжения (рис.1) характеризуется отбором части теплоносителя на нужды горячего водоснабжения (ГВС). При этом производитель тепла должен подпитывать систему таким же количеством теплоносителя, нагревая его от температуры $t_{хв}$ (температура холодной воды) до температуры t_2 (температура в обратном трубопроводе). Вычисление количества потребленной теплоты в открытых системах, которое может производиться по нескольким формулам, является до сих пор предметом дискуссий. Это связано с тем, что различные формулы по-разному затрагивают интересы поставщика и потребителя [2].

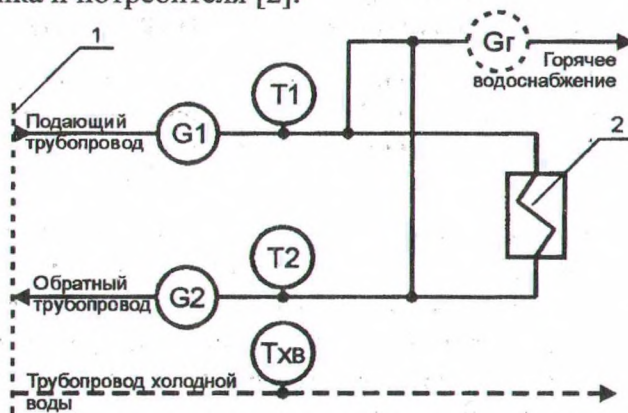


Рис. 1. Схема открытой системы теплоснабжения:

1 – граница балансовой принадлежности; 2 – система отопления; G_1 , G_2 , G_g – массовый расход теплоносителя в подающем, обратном и трубопроводе горячего водоснабжения соответственно; T_1 , T_2 , $T_{хв}$ – температуры теплоносителя в подающем, обратном и трубопроводе холодной воды соответственно

$$Q = G_1(h_1 - h_2) + G_n(h_2 - h_{хв}); \quad (2)$$

$$Q = G_1(h_1 - h_2) + (G_1 - G_2)(h_2 - h_{хв}); \quad (3)$$

$$Q = G_2(h_1 - h_2) + G_n(h_1 - h_{xs}); \quad (4)$$

$$Q = G_2(h_1 - h_2) + (G_1 - G_2)(h_1 - h_{xs}); \quad (5)$$

$$Q = G_1(h_1 - h_{xs}) - G_2(h_2 - h_{xs}); \quad (6)$$

$$Q = G_1(h_1 - h_2) + (G_{1n} + G_y + G_{2s})(h_2 - h_{xs}); \quad (7)$$

$$Q = G_1 h_1 - G_2 h_2 - G_n h_{xs}; \quad (8)$$

$$Q = G_1 h_1 - G_2 h_2 - (G_1 - G_2) h_{xs}, \quad (9)$$

где G_n и G_y – расход теплоносителя на подпитку и утечки.

Как следует из (2) – (9), для определения всех составляющих необходимы три расходомера и три термометра. Однако, приняв $G_n = G_1 - G_2$, можно сократить количество расходомеров до 2 и пользоваться формулами (3),(6),(9), что часто и делают для уменьшения затрат на приборы или по техническим причинам. Тем более, что при подстановке одних и тех же значений расходов и температур в эти формулы получают один и тот же результат. Кроме того, потребитель часто не имеет возможности измерять температуру холодной воды и вынужден принимать значение, установленное производителем тепла. Различие алгоритмов становится очевидным, если учесть, что количество теплоты является косвенно измеряемой величиной, связанной с величинами, определяемыми прямыми методами, соотношением $Q = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При некоррелированных аргументах погрешность косвенных измерений определяется по формуле квадратичного сложения [3]

$$\Delta Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \times \Delta x_i \right)^2}, \quad (10)$$

где $\frac{\partial F}{\partial x_i} \times \Delta x_i$ – частные погрешности косвенного измерения.

Учитывая (10), а также то, что $h = c_p \times t$, и пренебрегая отклонением c_p от среднего значения в интервале рабочих температур, для (3),(6) и (9) можно записать:

$$\delta Q_3 = 110 \cdot \frac{\sqrt{(\Delta t_{2-x_s} \cdot (1-f))^2 + (f \cdot \Delta t_{1-2})^2 + \delta G \cdot (t_2 - t_{x_s})^2 + (\delta G \cdot f \cdot (t_2 - t_{x_s}))^2 + \Delta_{TB}^2}}{f \cdot (t_1 - t_2) - (1-f) \cdot (t_2 - t_{x_s})}; \quad (11)$$

$$\delta Q_6 = 110 \cdot \frac{\sqrt{\delta G^2 \cdot ((t_1 - t_{x_s})^2 + (t_2 - t_{x_s})^2) + \Delta t_{1-x_s}^2 + f^2 + \Delta t_{2-x_s}^2 + \Delta_{TB}^2}}{(t_1 - t_{x_s}) - f \cdot (t_2 - t_{x_s})}; \quad (12)$$

$$\delta Q_9 = 110 \cdot \frac{\sqrt{t_1^2 \cdot \delta G^2 + \Delta t_1^2 + f^2 \cdot \Delta t_2 + t_2^2 \cdot \delta G^2 + \Delta t_{x_s}^2 \cdot (1-f)^2 + 2 \cdot \delta G \cdot t_{x_s}^2 + \Delta_{TB}^2}}{(t_1 - t_{x_s}) - f \cdot (t_2 - t_{x_s})}; \quad (13)$$

где δG – предел погрешности расходомера; $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_{x_s}, \Delta t_{1-2}, \Delta t_{1-x_s}, \Delta t_{2-x_s}$ – погрешности измерения соответствующих температур и их разностей; Δ_{TB} – погрешность тепловычислителя; $f = G_2 / G_1$ – соотношение расходов теплоносителя в трубопроводах.

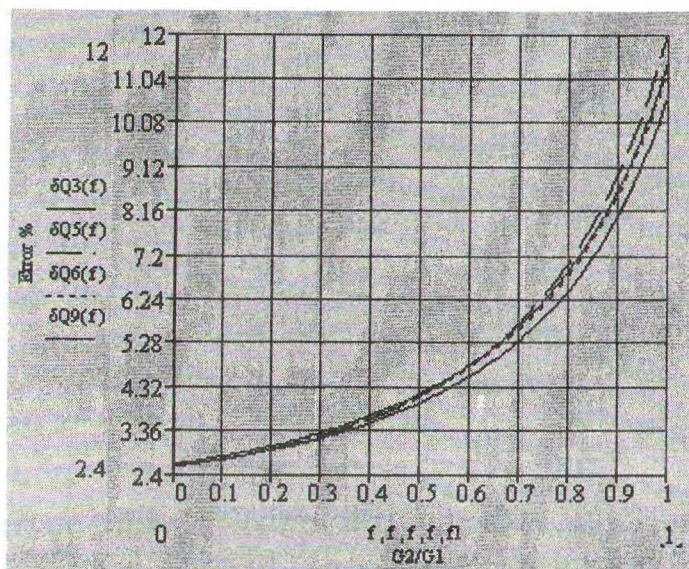


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения количества теплоты от соотношения расходов и для различных алгоритмов расчета:

— по формуле (3); — · — по формуле (5);
 по формуле (6); - - - - по формуле (9),

Сравнивая полученные результаты расчетов (рис.2) с требованиями (1), предъявляемыми к теплосчетчикам класса 4 (таблица), видно, что рассмотренные алгоритмы имеют незначительно различающиеся погрешности, которые уже при $f > 0,7$ значительно превышают установленные нормы. (В скобках приведены значения при $\delta G = 4\%$.)

Как видно, погрешность определения количества теплоты зависит не только от погрешностей измерений расхода и температуры, но и в значительной степени от соотношения расходов в подающем и обратном трубопроводах, а также разности температур (погрешностью таблиц определения плотности и энтальпии можно пренебречь). Для расчетов примем предел погрешности измерения расхода δG равным $\pm 2\%$, погрешность измерения разности температур в виде $\Delta = \pm(0.1 + 0.002 \times \Delta t)$, $t_1 = 95^\circ\text{C}$, $t_2 = 75^\circ\text{C}$, $t_{\text{ср}} = 10^\circ\text{C}$.

В открытых системах расход воды на ГВС может достигать 30%, а следовательно, f — изменяться в пределах от 0,7 до 1.

Таблица

Разность температур теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах, $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Пределы допускаемой относительной погрешности измерения количества теплоты, $\delta, \%$
$3 \leq \Delta t < 10$	$\pm 6(\pm 8)$
$10 \leq \Delta t < 20$	$\pm 5(\pm 7)$
$20 \leq \Delta t \leq 140$	$\pm 4(\pm 6)$

При переходе на летний режим работы общий расход теплоносителя значительно сокращается, и расходомеры могут работать в нижней части диапазона измерений, где их нормируемая погрешность возрастает до $\pm 4\%$. Кроме того, разность температур $t_1 - t_2$ может сократиться и составлять менее 5°C . Все это приводит к дополнительному увеличению погрешности (рис. 3 и 4).

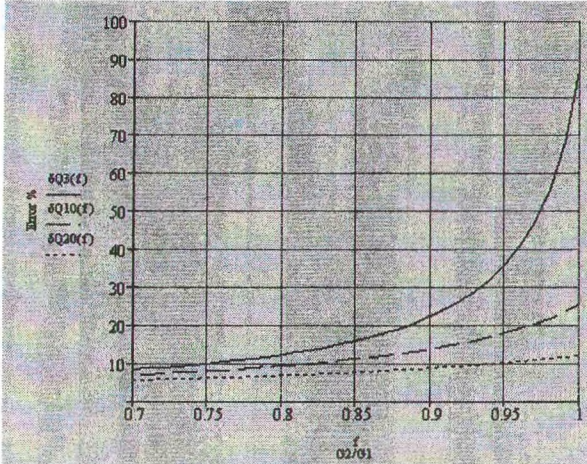


Рис. 3. Погрешность измерения количества теплоты при различных Δt , $\delta G = 2\%$:
 — $\Delta t = 3^\circ\text{C}$; - - - $\Delta t = 10^\circ\text{C}$;
 $\Delta t = 20^\circ\text{C}$

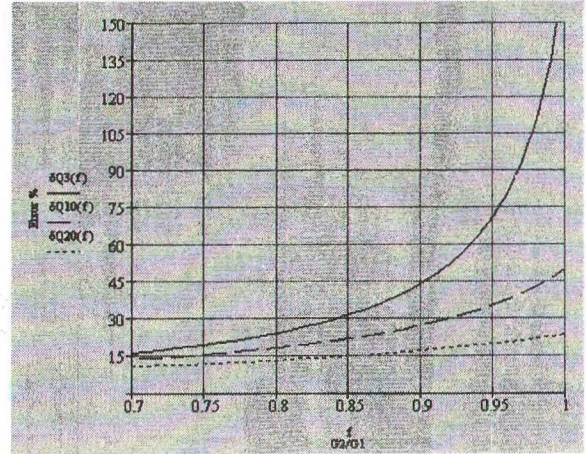


Рис. 4. Погрешность измерения количества теплоты при различных Δt , $\delta G = 4\%$:
 — $\Delta t = 3^\circ\text{C}$; - - - $\Delta t = 10^\circ\text{C}$;
 $\Delta t = 20^\circ\text{C}$

Одним из путей уменьшения погрешности измерения тепла в открытых системах может быть измерение контролируемых параметров, а именно установка второго расходомера на трубопровод ГВС (на рис. 1 показано пунктиром) и расчет по алгоритму (2). В этом случае погрешность определится по формуле

$$\delta Q_2 = 110 \cdot \frac{\sqrt{((t_1 - t_2) \cdot \delta G)^2 + \Delta t_{1-xc}^2 + ((t_2 - t_{xc}) \cdot f1 \cdot \delta G)^2 + (f1 \cdot \Delta t_{2-xc})^2 + \Delta_{TB}^2}}{t_1 - t_2 + f1 \cdot (t_2 - t_{xc})}, \quad (14)$$

где $f1$ — доля теплоносителя, отбираемая из подающего трубопровода на ГВС.

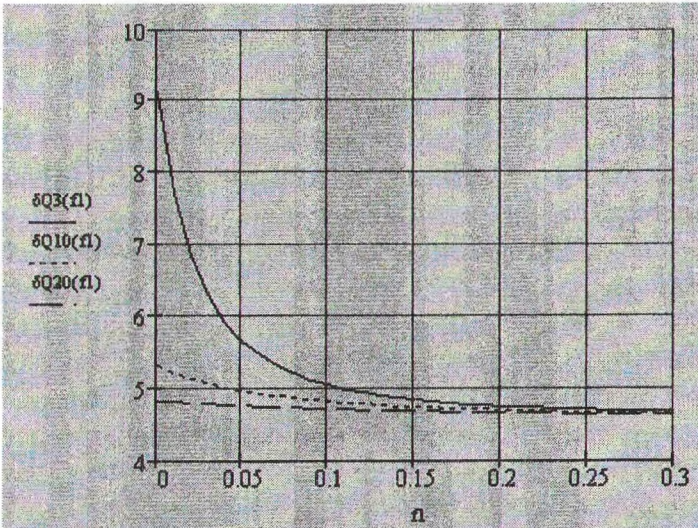


Рис. 5. Погрешность измерений количества теплоты по (2): — $\Delta t = 3^\circ\text{C}$; $\Delta t = 10^\circ\text{C}$; - · - · - $\Delta t = 20^\circ\text{C}$, $\delta G = 4\%$

Результаты расчета, приведенные на рис. 5, показывают, что при тех же затратах на оборудование узла учета можно значительно уменьшить методическую погрешность измерения количества теплоты в открытых системах и обеспечить ее соответствие требованиям нормативных документов.

В заключение необходимо отметить, что оценка погрешностей расчета тепла производится при недостаточности информации о процессе измерения (действие влияющих факторов, степень взаимного влияния и т.д.). Использованное сложение погрешностей по квадратичному методу дает завышенный ре-

зультат. Для получения более точной оценки погрешности необходимо использовать вероятностный метод, при котором систематические погрешности суммируются алгебраически, а случайные – квадратичным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. МИ 2164 – 91 Государственная система обеспечения единства измерений. Теплосчетчики. Требования к испытаниям, метрологической аттестации, поверке. Общие положения.
2. Рябинкин В.Н. Об алгоритмах учета тепловой энергии и теплоносителя в водных системах теплоснабжения // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей». – С-Пб, 1998.
3. АртемьевБ.Г., ГолубевС.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. Изд. 2-е. – М: Изд - во стандартов, 1986.

УДК 681.2.531.75

А.А. Василенко, аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ КАЛИЯ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ СУСПЕНЗИИ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ

The combined system of measuring a fraction of total mass of potassium in solid phase of suspension during flotation is describe and its metrology performances are test. The multiparameter method of control of a composition of aerated suspension designed. The system contains data units of density of suspension, electrical conductivity of suspension and liquid phase, scintillation detector for measuring the content of total mass of potassium and temperature sensor. The algorithm of calculation is realized on the micro-processor controller Л-112.

На обогатительных фабриках производства калийных минеральных удобрений информация о содержании твердого в суспензиях, массовой доли калия в твердой фазе суспензии необходима для управления многими технологическими процессами, как измельчение, классификация, обесшламливание, флотация, фильтрование, сгущение и др. Поэтому основной задачей является измерение массовой доли калия в твердой фазе, суспензии с учетом специфических условий эксплуатации аппаратуры, факторов влияющих на точность измерения, и высокой агрессивности измеряемой среды.

При флотационном способе обогащения руды основной технологической средой является азрированная суспензия, состоящая из жидкой, твердой и газообразной фаз. Для измерения концентрации твердой фазы суспензии можно использовать радиоизотопный плотномер. Однако наличие в суспензии пузырьков воздуха приводит к дополнительной погрешности измерения. Эта погрешность пропорциональна концентрации газообразной фазы и может в несколько раз превышать основную погрешность измерения. Для повышения точности контроля дополнительно измеряют объемную концентрацию дисперсной фазы, а расчет ведут по формуле [1]

$$C_{TV} = \frac{\rho_{ж}}{\rho_T} C_V + \frac{\rho_C}{\rho_T} - \frac{\rho_{ж}}{\rho_T}, \quad (1)$$