

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

А.Г. Лупей

ОАО «Территориальная генерирующая компания № 1», пр. Добролюбова, 16, корп. 2, лит. А, 197198, Санкт-Петербург, Россия

E-mail Lupey.AG@tgcl.ru

При ведении учета тепловой энергии с применением двухканальных теплосчетчиков (ТС), как правило, трудно добиться полного совпадения результатов измерений массы воды в подающем (G1) и обратном (G2) трубопроводах в тех случаях, когда система теплоснабжения является закрытой и фактически отбор теплоносителя за узлом учета не производится. Часто главной причиной неравенства измеренных расходов (масс) является различие (по размеру и знаку) систематических погрешностей измерения расхода в каналах G1 и G2, из-за чего добиться нулевой разности масс $G_{\text{ут}} = G1 - G2$ при выполнении измерений практически невозможно.

Наличие инструментальных погрешностей в каналах измерения масс G1 и G2 приводит к известному результату: при отсутствии фактического отбора теплоносителя у некоторых потребителей ТС фиксируют «метрологическую утечку» ($G1 > G2$), и эти потребители вынуждены оплачивать составляющую суммарного теплоснабжения, численно равную $(G1 - G2) \cdot (h_2 - h_{\text{хв}})^1$. У других потребителей сочетание размеров и знаков погрешностей измерения масс G1 и G2 может быть иным, из-за чего по результатам измерений окажется, что $G2 > G1$, и в этом случае уже поставщик вынужден оплачивать потребителю «метрологическую подпитку». В целом же можно было бы ожидать, что знак измеренной разности масс $G_{\text{ут}} = G1 - G2$ равновероятен, т.к. теоретически размеры и знаки погрешностей измерения G1 и G2 должны сочетаться случайным образом.

Однако при анализе результатов измерений, накопленных ТС различных типов, замечено, что на точность измерений масс G1 и G2 заметное влияние оказывает температура теплоносителя. Иными словами, у некоторых ТС при измерении массы воды отрицательная погрешность измерения масс G1 и G2 тем больше, чем выше температура теплоносителя в трубопроводах. И, коль скоро всегда выполняется неравенство $t1 > t2$, то и степень занижения массы G1 всегда больше, чем степень занижения массы G2. По этой причине измеренные массы G1 и G2 и их разность $G_{\text{ут}}$ являются не только функцией инструментальных погрешностей каналов измерения масс G1 и G2, но и в значительной степени зависят от значений температур $t1$ и $t2$ и их разности $dt = t1 - t2$.

Очевидно, что рассчитывать на знакопеременный характер температурной погрешности (как в случае с инструментальной

¹ Здесь принято, что суммарное теплоснабжение определяется по известному выражению $Q_c = G1 \cdot (h1 - h2) + (G1 - G2) \cdot (h2 - h_{\text{хв}})$.

погрешностью) не приходится: эта погрешность всегда отрицательна, поскольку всегда выполняется условие $t_1 > t_2$. По этой причине неисключенная функция влияния температуры на погрешность измерения массового расхода (массы) приводит к систематическому занижению результатов учета масс G_1 и G_2 , разности масс $G_{ут}$ и отпускаемой (потребляемой) тепловой энергии. При этом потребитель получает «льготу» в оплате потребляемых тепловой энергии и теплоносителя, а поставщик, соответственно, имеет заметный финансовый ущерб.

Покажем на примере конкретного узла учета, насколько существенна проблема отсутствия компенсации влияния температуры на погрешность измерения масс G_1 и G_2 и их разности.

У данного потребителя функционирует закрытая система теплоснабжения с независимым присоединением теплоснабжающих установок. На тепловом вводе на подающем и обратном трубопроводах установлены расходомеры G_1 и G_2 . Технологически выполняется равенство $G_1 = G_2$.

В отчете о теплоснабжении за месяц приведены следующие данные: $t_1 = 73,19$ °С, $t_2 = 48,35$ °С, $G_1 = 102247$ т, $G_2 = 102629$ т. Видно, что измеренная «утечка» составила $G_{ут} = G_1 - G_2 = -382$ т, т.е. по результатам измерений потребитель якобы подал в тепловую сеть 382 т горячей воды. Суммарное теплоснабжение за месяц составило $Q_c = 2521$ Гкал, при этом на нужды отопления израсходовано $Q_{ов} = 2549$ Гкал, а тепловая энергия измеренной «утечки» $Q_{ут} = -28$ Гкал.

Очевидно, что попытка измерить несанкционированный водоразбор или утечку в системе теплоснабжения привела к противоположному результату: потребитель не только не измерил и не оплатил водоразбор (если таковой имел место), но и получил от поставщика деньги за 28 Гкал отрицательной утечки.

Причина нежелательной для теплоснабжающих организаций перемены ролями поставщика и потребителя становится ясна, если по данным отчета построить графики изменения во времени измеренных среднесуточных перепадов температур на тепловом вводе dt и измеренных разностей суточных масс воды $G_{ут} = G_1 - G_2$.

На рис. 1 приведены указанные зависимости за период времени с 26 ноября по 25 декабря 2012 г.

Из рисунка отчетливо видна практически полная симметричность поведения во времени двух технологически независимых процессов: всякий раз при изменении перепада температур dt (левая ось графика) происходит пропорциональное изменение в противоположную сторону отрицательной утечки $G_{ут}$ (правая ось).

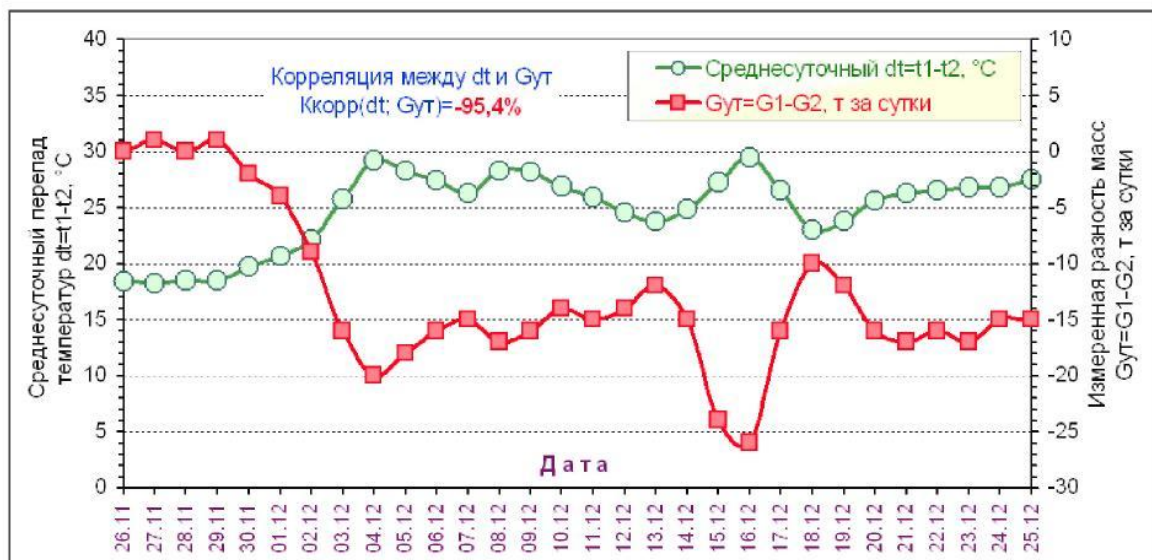


Рис. 1. Изменение разности температур и разности расходов теплоносителя на тепловом вводе

Приведенные на рис. 1 данные свидетельствуют о том, что погрешность измерения масс G1 и G2 существенно зависит от температуры измеряемой среды: чем выше температура теплоносителя в трубопроводах, тем больше степень занижения результатов измерений масс и, как следствие, разность масс $G_{ут}$ является строгой функцией разности температур.

Эта зависимость будет более наглядна, если представить график изменения $G_{ут}$ как функцию dt (см. рис. 2).

Из рис. 2 видно, что зависимость измеренного отрицательного водоразбора от температурного перепада практически линейна, что позволяет аппроксимировать эту зависимость следующим линейным уравнением:

$$G_{ут} = -1,9686 \cdot dt + 36,065, \text{ т за сутки.} \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что при $dt = 0$ ($t_1 = t_2$) температурные погрешности измерения G1 и G2 равны по размеру по знаку, и в этом случае разность суточных масс равна $G_{ут} = G_1 - G_2 = +36,065$ т за сутки, или +1082 т за месяц.

Таким образом, неисключенная температурная погрешность применяемых расходомеров привела к занижению результатов учета

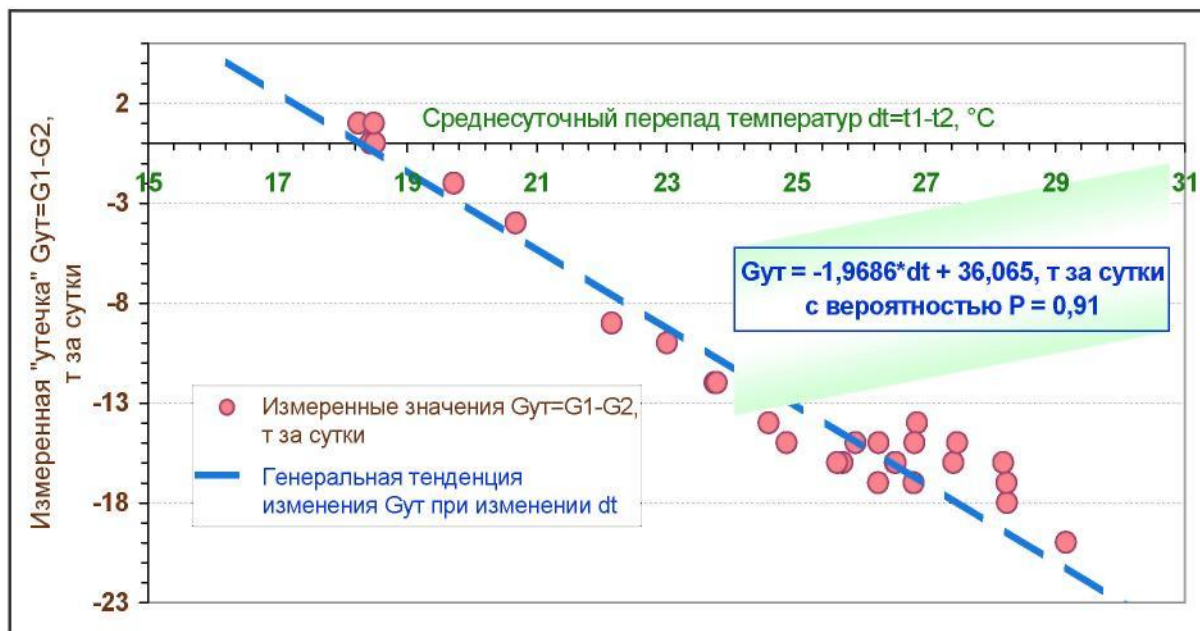


Рис. 2. Зависимость измеренных значений разностей масс теплоносителя от температурного перепада на тепловом вводе

Если такие расходомеры установить на трубопроводах открытой тепломагистрали или на вводе открытой системы у потребителя, то результаты учета подпитки магистрали (водоразбора) при прежних расходах и температурах будут тоже занижены на 1464 т за месяц.

Расчеты показали: погрешность измерения расхода из-за влияния температуры у данных расходомеров определяется зависимостью

$$\delta G = -0,065 \cdot t + 2,34, \% \text{ от } G, \quad (2)$$

где t – температура теплоносителя в трубопроводе.

Из формулы 2 видно, что отрицательная погрешность измерения расхода теплоносителя возрастает на 6,5% при изменении температуры на $100 ^\circ\text{C}$, что делает невозможным применение таких расходомеров в узлах коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителя.

Очевидно, что разработчикам и изготовителям расходомеров следует обратить самое пристальное внимание на наличие температурной погрешности у расходомеров и предпринять меры по ее компенсации путем введения соответствующих поправок в результаты измерений.