

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).

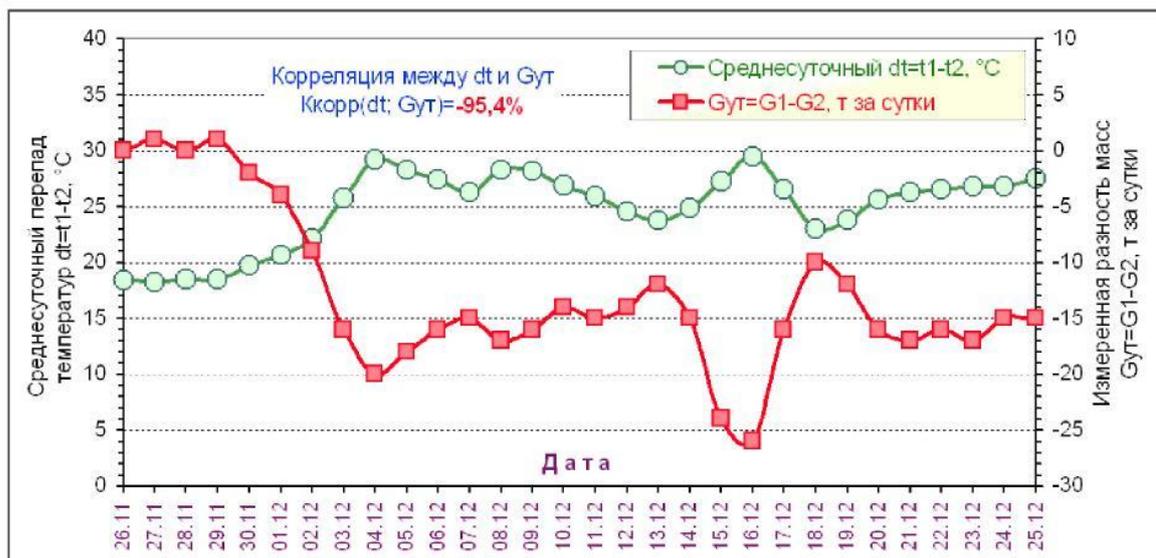


Рис. 1. Изменение разности температур и разности расходов теплоносителя на тепловом вводе

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 Gut является строгой функцией разности температур.

Эта зависимость будет более наглядна, если представить график изменения Gut 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

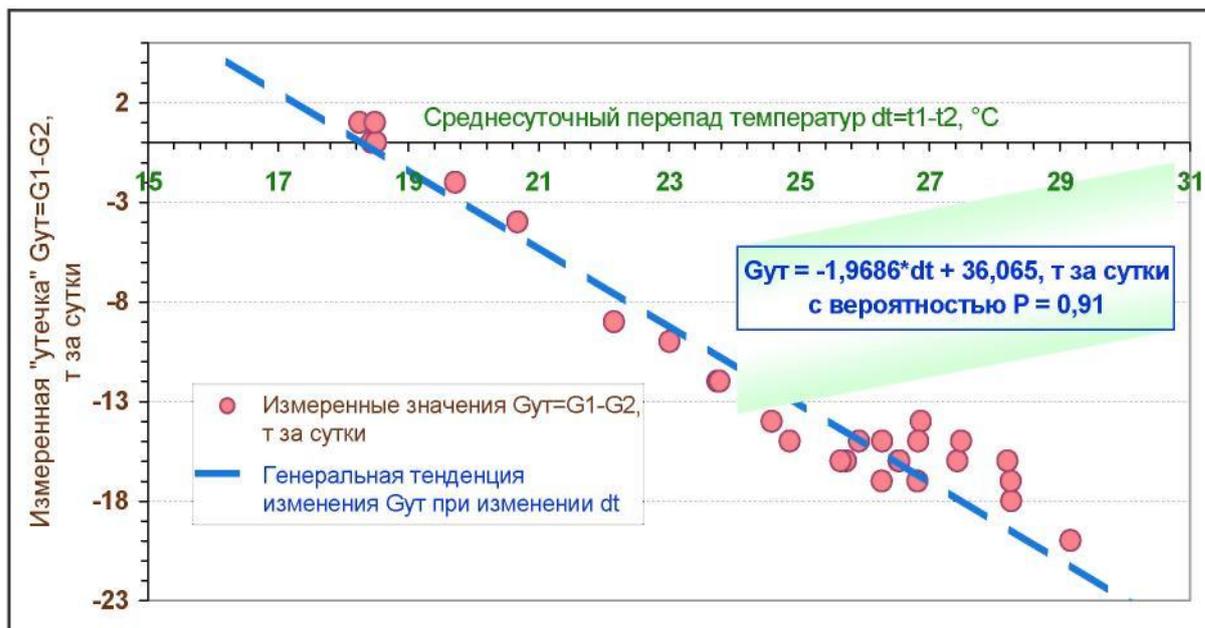


Рис. 2. Зависимость измеренных значений разностей масс теплоносителя от температурного перепада на тепловом вводе

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.