

## О ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗНОСТИ МАСС ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.Г. Лупей

ОАО «Территориальная генерирующая компания № 1»

пр. Добролюбова, 16, корп. 2, лит. А, 197198, Санкт-Петербург, Россия

E-mail [Lupey.AG@tgc1.ru](mailto:Lupey.AG@tgc1.ru)

В настоящее время в двухтрубных открытых системах теплоснабжения с непосредственным водоразбором на нужды горячего водоснабжения (ГВС) в большинстве случаев применяется такая схема учёта тепловой энергии, при которой величина водоразбора из системы теплоснабжения  $G_{ГВС}$  определяется как разность показаний счётчиков воды, установленных в подающем ( $G_1$ ) и обратном ( $G_2$ ) трубопроводах тепловой сети, т.е.

$$G_{ГВС} = G_1 - G_2. \quad (1)$$

Иногда такой косвенный метод измерения водоразбора является единственно возможным: например, на тепловых магистралях, отходящих от источника теплоты, в головных тепловых пунктах или в точках передачи тепловой энергии оптовым потребителям-перепродавцам иного способа измерения  $G_{ГВС}$  просто не существует.

Главным недостатком метода измерения  $G_{ГВС}$  по формуле 1 является чрезвычайно низкая точность результатов учета  $G_{ГВС}$ , особенно в тех случаях, когда величина водоразбора ( $G_{ГВС}$ ) по отношению к  $G_1$  достаточно мала. На практике часто можно наблюдать ситуации, когда результаты учёта  $G_{ГВС}$  оказываются или многократно искаженными, или измеренное значение  $G_{ГВС}$  вообще отрицательно, хотя расходомеры (счетчики)  $G_1$  и  $G_2$  полностью исправны, т.е. погрешность их показаний не превышает допусковых значений.

Определим выражение, позволяющее рассчитать допускаемую относительную погрешность измерения разности расходов  $G_{ГВС} = G_1 - G_2$ , исходя из допускаемой погрешности расходомеров  $G_1$  и  $G_2$  и фактических показаний этих расходомеров.

По определению абсолютная погрешность измерения разности двух величин есть разность абсолютных погрешностей измерения этих величин. В нашем случае при измерении разности расходов по формуле (1) можно записать, что абсолютная погрешность измерения  $G_{ГВС}$

$$\Delta G_{ГВС} = \Delta G_1 - \Delta G_2, \quad (2)$$

где  $\Delta G_1$  и  $\Delta G_2$  – абсолютные (с учётом знака) погрешности измерения массы теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах тепломагистрали или теплового ввода потребителя.

Относительная погрешность измерения разности расходов по формуле 1 есть отношение абсолютной погрешности этой разности расходов к измеряемой величине:

$$\delta G_{ГВС} = \Delta G_{ГВС} / G_{ГВС} = (\Delta G_1 - \Delta G_2) / (G_1 - G_2). \quad (3)$$

Видно, что формула (3) устанавливает зависимость относительной

погрешности разности расходов  $\delta G_{ГВС}$  от абсолютных погрешностей измерения  $G_1$  и  $G_2$ . Применять такую формулу неудобно, т.к. на практике у расходомеров и счётчиков нормируется не абсолютная погрешность измерения расхода (массы), а относительная погрешность. Поэтому преобразуем формулу (3) таким образом, чтобы относительная погрешность разности расходов  $\delta G_{ГВС}$  зависела не от абсолютных, а от относительных погрешностей измерения величин  $G_1$  и  $G_2$ . Для этих целей  $\Delta G_1$  умножим и разделим на  $G_1$ , а  $\Delta G_2$  умножим и разделим на  $G_2$ . В результате получим:

$$\delta G_{ГВС} = ((\Delta G_1/G_1) \cdot G_1 - (\Delta G_2/G_2) \cdot G_2) / (G_1 - G_2). \quad (4)$$

В выражении (4)  $\Delta G_1/G_1$  есть относительная (в безразмерных единицах) погрешность расходомера  $G_1$ , а  $\Delta G_2/G_2$  – это относительная погрешность расходомера  $G_2$ . Обозначив эти относительные погрешности как  $\delta G_1$  и  $\delta G_2$ , формула (4) переписывается так:

$$\delta G_{ГВС} = \delta G_1 \cdot [G_1 / (G_1 - G_2)] - \delta G_2 \cdot [G_2 / (G_1 - G_2)], \quad (5)$$

Полагая, что относительная погрешность счётчиков (расходомеров)  $G_1$  и  $G_2$  одинакова по величине, но противоположна по знаку ( $\delta G_1 = -\delta G_2 = \delta G$ ), получим окончательное выражение для расчёта предельной (максимально допустимой) относительной погрешности результата косвенных измерений разности расходов (разности масс)  $G_{ГВС}$ :

$$\delta G_{ГВС} = \pm \delta G \cdot [(G_1 + G_2) / (G_1 - G_2)]. \quad (6)$$

Формула 6 наглядно указывает на полную метрологическую неэффективность измерения  $G_{ГВС}$  как разности расходов воды в подающем и обратном трубопроводах, т.к. относительная погрешность измерения разности расходов  $\delta G_{ГВС}$  зависит не только от допускаемой относительной погрешности применяемых расходомеров  $\delta G$ , но и в значительно большей степени  $\delta G_{ГВС}$  зависит от соотношения измеряемых расходов  $G_1$  и  $G_2$ , т.е. от величины фактического водоразбора  $G_{ГВС}$ .

На рис. 1 в качестве примера приведены графики зависимости допускаемой относительной погрешности измерения разности расходов воды в подающем и обратном трубопроводах от величины относительного водоразбора (в % от  $G_1$ ) при применении в узле учёта расходомеров или счётчиков, допускаемая относительная погрешность которых  $\delta G$  не превышает 1, 2 или 5 %. Графики, представленные на рис. 1, рассчитаны по формуле 6.

Анализируя формулу 6 и зависимости, представленные на рис. 1, приходим к следующим неутешительным выводам.

1. При изменении относительного (например, по отношению к  $G_1$ ) водоразбора от 100 % (однотрубная система теплоснабжения) до 0 % (закрытая двухтрубная система теплоснабжения) относительная погрешность измерения разности расходов  $G_{ГВС} = G_1 - G_2$  изменяется от конечного значения, равного погрешности применяемых счётчиков, до бесконечности.

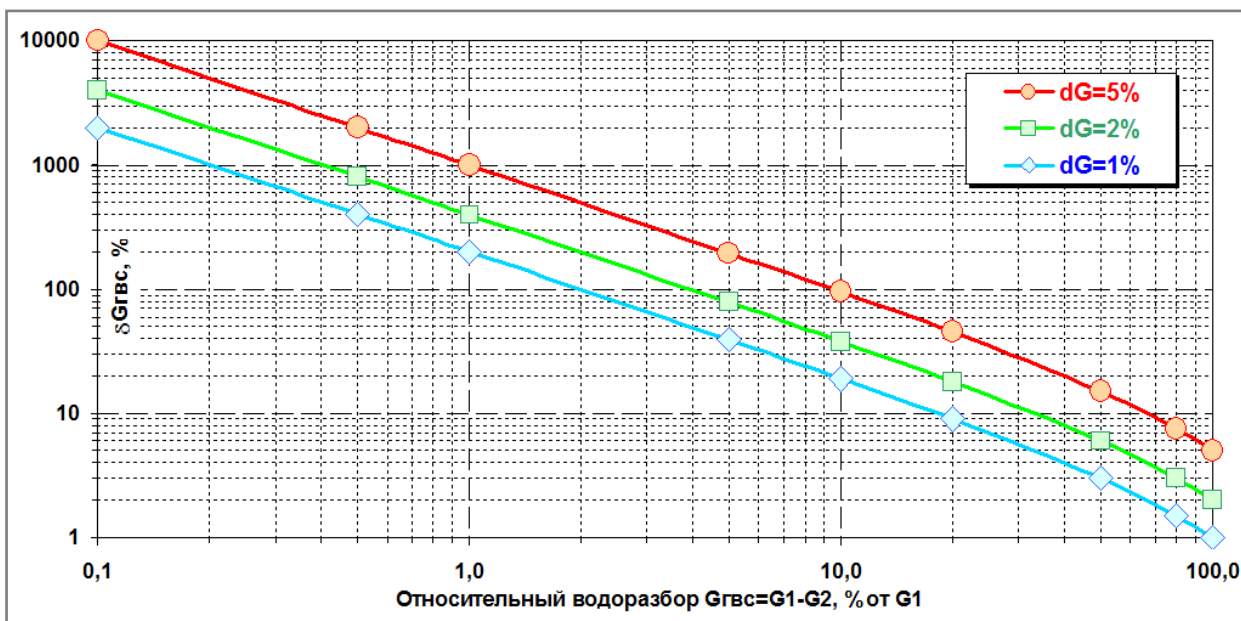


Рис. 1. Зависимость относительной погрешности косвенного измерения

$G_{ГВС} = G_1 - G_2$  от относительного водоразбора при применении расходомеров различной точности

2. При одинаковых соотношениях значений  $G_1$  и  $G_2$  (при неизменном относительном водоразборе) при увеличении допускаемой погрешности счётчиков воды в  $N$  раз допускаемая погрешность измерения  $G_{ГВС}$  также возрастает в  $N$  раз.

3. Стремление применять в узлах учёта высокоточные (класса эталонов, например) расходомеры или счётчики лишь отчасти решает проблему повышения достоверности измерений разности расходов, поскольку у любого потребителя в течение суток всегда имеются довольно продолжительные отрезки времени, на протяжении которых относительный водоразбор из системы теплоснабжения сравнительно невелик, поэтому относительная погрешность его измерения может достигнуть (и часто достигает на практике) сотен и тысяч процентов даже при применении высокоточных расходомеров или счётчиков.

4. Для расходомеров определённой точности всегда существует критическое значение относительного водоразбора  $G_{ГВС}^{кр}$ , при котором погрешность его измерения достигает 100 %. Если на практике фактический относительный водоразбор на тепломагистрали (у потребителя) окажется меньше критического, то допускаемая погрешность его измерения косвенным методом превышает 100 %, и по результатам измерений величина  $G_{ГВС}$  может быть не только многократно искажённой, но даже и отрицательной (что часто можно наблюдать в действующих узлах учёта).

В этой связи важно при наличии в тепловом пункте потребителя трубопровода ГВС измерение  $G_{ГВС}$  выполнять не косвенным (как разность расходов воды в подающем и обратном трубопроводах), а непосредственным способом, для чего достаточно в трубопровод ГВС установить

соответствующий расходомер или счётчик. Точность измерений  $G_{ГВС}$  при этом будет многократно увеличена (на десятки, сотни и даже тысячи процентов), т.к. относительная погрешность современных счётчиков достаточно мала и практически всегда не превышает 1 - 2 %. В то же время при измерениях  $G_{ГВС}$  как разности расходов  $G_1 - G_2$  такой точности добиться принципиально невозможно даже при применении сверхточных расходомеров  $G_1$  и  $G_2$ .