

# Теплосчетчик «в разрезе».

## О тепловычислителях



Согласно устоявшемуся определению тепловычислитель – это устройство, обеспечивающее измерение тепловой энергии на основе входной информации о массе (или объеме), температуре и давлении теплоносителя. Образно говоря, вычислитель – это мозг теплосчетчика, в то время как преобразователи расхода, температуры и давления – это органы чувств. В предыдущих статьях нашего цикла мы уже говорили о том, каким образом «органы» передают информацию «мозгу». Здесь еще раз повторим то же самое, но как бы «с точки зрения» тепловычислителя. А затем рассмотрим процессы, происходящие в самом «мозге».

### Обработка сигналов преобразователей

Итак, обычно любой преобразователь подключается к вычислителю кабелем. Каждый – к своему определенному «входу». Количество и назначение входов, а также способы подключения (винтовые зажимы, разъемы или др.) описываются в руководствах по эксплуатации и различаются для приборов различных типов (марок, моделей). Тепловычислитель с определенной периодичностью измеряет те или иные параметры сигналов на входах (иногда говорят: «опрашивает» входы) и далее по заложенным в него алгоритмам «переводит» результаты этих измерений в «цифру», отображает полученные значения на дисплее, а также использует для расчетов. Выглядит это примерно так.

Для измерений температуры теплоносителя в составе теплосчетчика применяются обычно термопреобразователи сопротивления. Вычислитель измеряет сопротивление каждого термопреобразователя и «переводит» его в градусы (см. «Коммунальный комплекс России» № 2'2010). Значения температур выводятся на дисплей и используются для вычисления массы теплоносителя и далее – тепловой энергии.

Для измерений **давления** теплоносителя в трубопроводах системы теплоснабжения в составе теплосчетчика чаще всего используются датчики давления с токовым выходом. Вычислитель измеряет силу тока в цепи датчика и по заложенной в него формуле «переводит» ее в единицы давления (МПа или кгс/см<sup>2</sup>). Полученные значения выводятся на дисплей и используются для вычисления массы теплоносителя и далее – тепловой энергии. Напомним, что на объектах с

тепловой нагрузкой менее 0,5 Гкал/ч давления могут не измеряться (см. № 5'2010). В этом случае их значения вводятся в вычислитель как константы, приближенно соответствующие действительности – они и используются в дальнейших расчетах.

Для измерений **объема** теплоносителя, проходящего через систему теплоснабжения, часто применяют преобразователи расхода (расходомеры) с импульсным выходом (см. № 6-7'2010). Получая очередной импульс от такого преобразователя, вычислитель добавляет к ранее измеренному значению объема соответствующее одному импульсу количество литров (м<sup>3</sup>). Кроме того, по определенным формулам вычислитель рассчитывает так называемый «мгновенный» расход (см. № 6-7'2010 и № 2'2011) и выводит его значения на дисплей. Далее, используя измеренные значения температур и давлений, прибор вычисляет плотность и энтальпию теплоносителя. Зная плотность и объем, он вычисляет массу, а зная массу и энтальпию – вычисляет тепловую энергию.

Разумеется, сигналы преобразователей могут быть и другими. Например, существуют датчики температуры с частотным выходом и датчики давления, информативный параметр сигнала которых – не сила тока, а напряжение на выходе. Также применяются преобразователи расхода с частотным или токовым выходом. При работе с ними вычислитель должен «уметь» не только измерять частоту или силу тока на соответствующем входе, но и по-другому обрабатывать измеренные значения. Ведь тогда как «импульсный» преобразователь предоставляет информацию о прошедшем через него за неизвестный заранее промежуток времени объеме теплоносителя, то «частотный» и «токовый» – о скорости (расходе) теплоносителя в каждый конкретный момент.

Кроме того, в последнее время появляются «интеллектуальные» преобразователи, на выходе которых – «готовый» цифровой код. Отдельный случай – единые теплосчетчики, для которых понятие выходных сигналов преобразователей может вообще не иметь смысла, поскольку «измерительная» и «вычислительная» части объединены схемотехнически. Вот почему далее мы рассмотрим просто некую абстрактную модель тепловычислителя, на входе которой – неважно каким образом получаемая информация о температурах, давлениях и расходах (объемах), а на выходе – значения тепловой энергии.

■ Наш цикл статей об устройстве теплосчетчика близится к завершению. Изучив устройство и принципы работы термопреобразователей (см. «Коммунальный комплекс России» № 2'2010), датчиков давления (№ 5'2010) и преобразователей расхода (№№ 6-7'2010, 9'2010, 2'2011), переходим к «центральному», объединяющему все эти изначально разрозненные средства измерений прибору – тепловычислителю.

### Измерения тепловой энергии

Два небольших замечания.

Первое. Как это ни странно, мы до сих пор не знаем точно, какую именно физическую величину измеряют наши теплосчетчики. В различных публикациях можно встретить понятия «тепловая энергия», «тепло», «теплота», «количество теплоты» – при этом для нахождения всех этих величин используются одни и те же формулы. Не вступая в терминологические споры, в данном цикле статей мы пишем «тепловая энергия», поскольку у нас есть «Правила учета» именно «тепловой энергии», а в общем («не метрологическом») смысле употребляем иногда и слово «тепло». Как ни странно, по этим же самым Правилам «теплосчетчик» – это «прибор... для определения количества теплоты» (раздел «Термины и определения»), но измеряет он все же «тепловую энергию» (см. п. 3.2.1).

Второе. Когда говорят о теплосчетчиках и тепловычислителях, то порой уверяют, что тепловую энергию (тепло, теплоту и т.п.) они не «измеряют», а «вычисляют». Или «рассчитывают». Мы же все эти глаголы используем как синонимы. Дело в том, что теплосчетчик и тепловычислитель – средства измерений, а значит они именно «измеряют». В то же время измерения тепловой энергии – косвенные, то есть искомые значения «вычисляются» («рассчитываются») на основании известных зависимостей между величиной тепловой энергии и «прямо измеряемыми» величинами объемов, температур и давлений теплоносителя.

Каковы же эти зависимости?

Для закрытых систем теплоснабжения, то есть для систем, где теплоноситель из сети не отбирается, формула выглядит так:

$$Q = M (h_n - h_o), \quad (1)$$

где  $M$  – масса теплоносителя, прошедшего через систему теплоснабжения;

$h_n$  и  $h_o$  – удельные энтальпии теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы соответственно.

Для массы  $M$  мы сознательно не указываем индекс, обозначающий принадлежность к тому или иному трубопроводу. Ведь в закрытой системе  $M_n = M_o$ , и преобразователь расхода можно устанавливать хоть в «подачу», хоть в «обратку». В «обратку» – лучше для преобразователя, так как там ниже температура, и давление, а значит условия для работы благоприятней. На практике же энерго-снабжающие организации рекомендуют

(или требуют) в закрытых системах монтировать расходомер в подающий трубопровод. В обратный при этом часто ставится так называемый «контрольный» расходомер. В измерениях тепловой энергии его показания не участвуют, а нужен он для обнаружения несанкционированного отбора (по-простому – воровства) теплоносителя из системы.

Очевидно, что «внутри» формулы (1) содержатся еще формулы расчета массы и энтальпий, поэтому, простая с виду, она не так проста для «реализации».

А вот, например, в европейских странах для измерений тепловой энергии в закрытых системах используется действительно «легкая» формула:

$$Q = V K_t \cdot (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где  $K_t$  – тепловой коэффициент (МДж/м<sup>3</sup>·°С);

$V$  – объем теплоносителя, прошедшего через систему теплоснабжения (м<sup>3</sup>);

$T_1$  и  $T_2$  – значения температуры теплоносителя (°С) в подающем и обратном трубопроводах соответственно.

Тепловой коэффициент, называемый также коэффициентом Штюка, численно «уравнивает» произведение объема на разность температур с произведением соответствующей данному объему при данной температуре массы теплоносителя на разность соответствующих данным температурам удельных энтальпий. Понятно, что для различных диапазонов температур различными должны быть и коэффициенты. В частности, для теплосчетчика, преобразователь расхода которого устанавливается в «подачу», коэффициент один, для теплосчетчика с расходо-



Фото предоставлено фирмой Sensus



Фото предоставлено фирмой Sempal

мером в «обратке» – другой. Очевидно, что при неправильном монтаже преобразователя, а также в условиях «нестандартных» или меняющихся в широком диапазоне температур теплосчетчик, работающий по формуле (2), будет измерять тепловую энергию с большей методической погрешностью, нежели теплосчетчик, работающий по формуле (1). Тем не менее, в России действуют ГОСТы как на те, так и на другие приборы. Но в «Правилах учета тепловой энергии и теплоносителя» приведена только формула вида (1).

Эта формула, как мы уже написали выше, «предназначена» для закрытых систем теплоснабжения. Чтобы использовать теплосчетчик, работающий по такому алгоритму, в открытой системе, к его показаниям необходимо прибавить еще «кое-что» – см. формулу (3.1) в «Правилах учета». В общем же для открытой системы будет справедливо выражение:

$$Q = M_n \cdot (h_n - h_{хв}) - M_o \cdot (h_n - h_{хв}), \quad (3)$$

где  $h_{хв}$  – энтальпия холодной воды, используемой для подпитки систем теплоснабжения на источнике теплоты.

Собственно, эта формула универсальна: в закрытой системе при равенстве масс теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах она сводится к виду (1). Однако в реальной жизни из-за погрешностей измерений  $M_n$  и  $M_o$  этого не произойдет, и если теплосчетчик, работающий по такой формуле, применить в закрытой системе, его показания будут отличаться от показаний теплосчетчика (1) в большую сторону при измеренных

$M_n > M_o$  и в меньшую – при измеренных  $M_n < M_o$ . Вообще тема применимости тех или иных алгоритмов в системах тех или иных конфигураций весьма обширна и интересна. Но в рамках данной статьи рассмотреть ее мы не будем, и, вернувшись к формуле (1), разберемся, как тепловычислитель реализует ее на практике.

#### **Алгоритм работы тепловычислителя**

Формула (1) понятна сама по себе, но если задуматься, как «пользуется» ей вычислитель, возникают вопросы. Например, какому периоду времени должны соответствовать значения массы и разности энтальпий, которые мы должны перемножать? И как часто вычислитель должен выполнять это умножение – раз в час, в сутки, а может быть в минуту? Ведь если показания массы непрерывно «накапливаются», то разность температур (а значит и энтальпий) даже в течение часа может несколько раз измениться. Вот почему, умножив накопленное за час значение массы на измеренное один раз в конце этого часа значение разности энтальпий, мы вычислим вовсе «не ту» тепловую энергию, что наш объект получил за этот час.

Приведем абстрактный пример без привязки к действительности и к реальным единицам измерения. Допустим, в течение часа разность энтальпий у нас изменялась трижды, причем ступенчато, и составляла первые 20 минут 10 единиц, вторые 20 минут – 12 единиц, и затем – 15 единиц. А расход был постоянен, и за каждые 20 минут через систему проходило 10 единиц теплоносителя. Если бы мы вычисляли тепловую энергию каждые 20 минут, то получили бы  $Q = 10 \times 10 + 10 \times 12 + 10 \times 15 = 370$  единиц. Если бы вычислили ее один раз в час, умножив накопленное за этот час значение массы на измеренное в конце часа значение разности энтальпий, получили бы  $Q = 30 \times 15 = 450$  единиц. Но результат не должен зависеть от того, менялись ли и как именно менялись в течение часа (суток, месяца и т.п.) значения расхода и температур. Это значит, что измерять и перемножать нужно как можно чаще, а значения за час, сутки, месяц получать суммированием этих «частых» результатов. Напоминает способ вычисления интеграла, не правда ли?

И в самом деле – фактически для вычислителя формулу расчета тепловой энергии, потребленной системой за время  $\tau = \tau_1 - \tau_0$ , нужно записывать так:

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m \cdot (h_n - h_o) d\tau, \quad (4)$$

где  $m$  – массовый расход теплоносителя;  
 $h_n$  и  $h_o$  – как и прежде, удельные энтальпии теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы.

Вычисление интеграла прибор осуществляет периодическим суммированием приращений  $Q_i = M_i \cdot (h_{ni} - h_{oi})$ , рассчитываемых в относительно коротких рабочих циклах ( $i$  – номер цикла). Чем короче цикл, тем точнее вычисляется интеграл, но тем больше нагружен процессор вычислителя, и, соответственно, тем больше вычислитель потребляет электроэнергию. Вот почему если рабочий цикл тепловычислителя с сетевым электропитанием, как правило, составляет 1–2 секунды, то цикл «автономного» прибора может быть минутным и более. Впрочем, пользователю теплосчетчика задумываться об этом в общем случае не нужно: предполагается, что выбранный производителем период обеспечивает заявленную точность измерений тепловой энергии.

Что касается нахождения значений масс и энтальпий («напрямую», напомним, теплосчетчик измеряет объемы и температуры), то об этом мы уже говорили выше. Существуют таблицы зависимости плотности и энтальпии воды от ее температуры и давления, а массу можно найти по простой «школьной» формуле, умножив плотность на объем. Правда, в памяти тепловычислителя вышеупомянутые таблицы, как правило, не содержатся: вместо них используются так называемые аппроксимирующие полиномы. Теоретически вид выбранного полинома влияет на точность измерений плотности и энтальпии, а значит – на точность измерений массы теплоносителя и тепловой энергии. Но и здесь пользователь должен рассчитывать на то, что производитель прибора позаботился о том, чтобы «его» полиномы обеспечивали заявленные метрологические характеристики теплосчетчика.

Завершая рассказ об алгоритме измерений тепловой энергии, вернемся к «импульсным» и «частотным» (или «токовым») преобразователям расхода. Как мы уже писали и в этой статье, и в статье о расходомерах, опубликованной в № 6-7'2010, частотный и токовый выход позволяют нам в любой момент времени узнать (измерить) расход теплоносителя. Следовательно, реализуя формулу (4), мы в каждом рабочем цикле вычислителя измеряем этот расход и, зная

его и зная длительность цикла, находим приращение объема (и по нему – приращение массы) теплоносителя в этом цикле.

С импульсным выходом, как ни странно, все немного сложнее. Ведь импульс никак не привязан к циклу, он приходит тогда, когда через преобразователь прошла очередная нормированная «порция» теплоносителя. Конечно, можно привязать циклы к моментам поступления очередных импульсов. Но тогда, во-первых, при изменении расхода будет меняться длительность цикла. Во-вторых, длительность цикла будет зависеть от соотношения расхода и «веса» импульса. И то, и другое делает вычислитель не вполне универсальным. Вот почему некоторые (а может и многие) тепловычислители, работающие с «импульсными» расходомерами, для расчета значений тепловой энергии используют «искусственно» вычисленные значения «мгновенного» расхода. То есть импульсы подсчитываются вне основного рабочего цикла. Через количество импульсов, полученных за определенное время, определяется расход, и в очередном цикле измерений тепловой энергии используется последнее на данный момент из вычисленных значений расхода.

Очевидно, что чем меньше «вес» импульса преобразователя и чем выше реальный расход, тем точнее вычисляется наш расход «искусственный». За то, чтобы погрешность измерений соответствовала заявленной во всем паспортном диапазоне расходов и для любых допустимых значений «веса» импульса, также отвечает производитель тепловычислителя.

Как видим, тепловычислитель – это вовсе не «простейший калькулятор», каким его можно себе представить. И это при том, что мы описали только те нюансы, которые связаны с реализацией одной лишь формулы для закрытой системы теплоснабжения. А ведь большинство современных вычислителей способны работать и в открытых системах, где нюансов еще больше, позволяют выбрать нужный алгоритм (схему измерений) из довольно обширного набора, ведут архивы измерений, осуществляют диагностику измерительных преобразователей и самодиагностику, определенным образом отрабатывают всевозможные нештатные ситуации, а также передают данные на внешние устройства и даже иногда управляют теплопотреблением. Но об этом мы расскажем в следующей статье. □