

Теплосчетчик «в разрезе».

О тепловычислителях



Дмитрий Анисимов,
главный специалист
ООО «Диамер»,
автор сайта «Теплопункт»

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/см²). 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 (м³). 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/м³·°С);

V – объем теплоносителя, прошедшего через систему теплоснабжения (м³);

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. □