

Измерение тепловой энергии

с помощью расходомера переменного перепада давления и вычислителя УВП-280

В. Б. Воздвиженский, Е. Н. Зарецкий, предприятие № 11 «Теплоэнергоремонт» филиала № 2 Мостеплоэнерго ОАО «МОЭК»

В настоящей статье рассмотрены вопросы коммерческого измерения тепловой энергии для предприятий, использующих пар в качестве технологической нагрузки.

Предприятия-потребители пара размещаются, как правило, в непосредственной близости от источника теплоснабжения (ТЭЦ), от которого прокладывается общий паропровод. На первом по ходу пара предприятии оборудуется головной узел учета тепла (I, рис. 1), где производится измерение общего количества тепловой энергии в паре, поступающей от ТЭЦ. Далее имеет место разветвление основной нитки паропровода по предприятиям, причем во многих случаях проложены «транзитные» паропроводы, по которым пар поступает сразу к нескольким абонентам.

Принципиальная схема размещения точек измерения количества тепловой энергии и массы теплоносителя представлена на рис. 2. В качестве сужающего устройства применяется камерная диафрагма с угловым способом отбора давления типа ДКС-10. К диафрагме подсоединяются два токовых преобразователя перепада давления, один из которых (PDE1) предназначен для измерения верхнего, а другой (PDE2) – нижнего предела расхода пара и один токовый преобразователь избыточного давления. В соответствии с п. 6.2.11.2

ГОСТ 8.563.2-97 измерение избыточного давления производится перед сужающим устройством из «плюсовой» камеры диафрагмы. Дополнительно измеряется температура с помощью термометра сопротивления. В качестве вычислителя используется прибор УВП-280А. Блок вычислителя и перефийный контроллер (ПИК УВП) размещаются в одном корпусе. Существует модификация прибора УВП-280Б, у которого блок вычислителя и ПИК УВП размещаются в разных корпусах, что позволяет сократить кабельные проводки от устанавливаемых датчиков.

Следует отметить, что при использовании расходомеров переменного перепада давления с сужающим устройством не требуется специально поставленных экспериментов по градуировке и аттестации расходомера, которые необходимы для других типов приборов, вычисляющих расход и тепловую энергию пара, например, вихреакустических.

На рис. 3 показана принципиальная монтажная схема установки сужающего устройства на трубопроводе. Выбор диапазона измерения датчиков

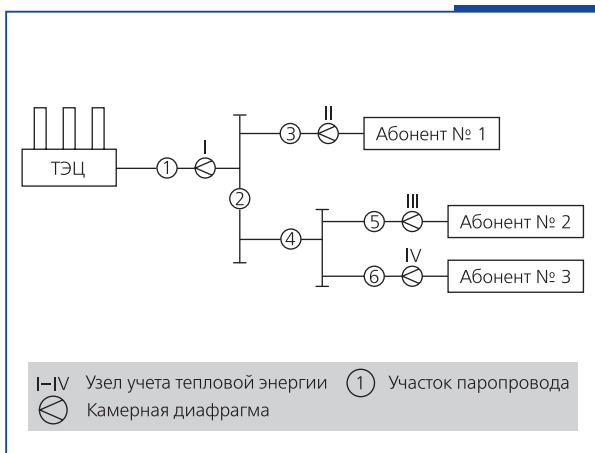


Рис. 1. Распределение пара по абонентам

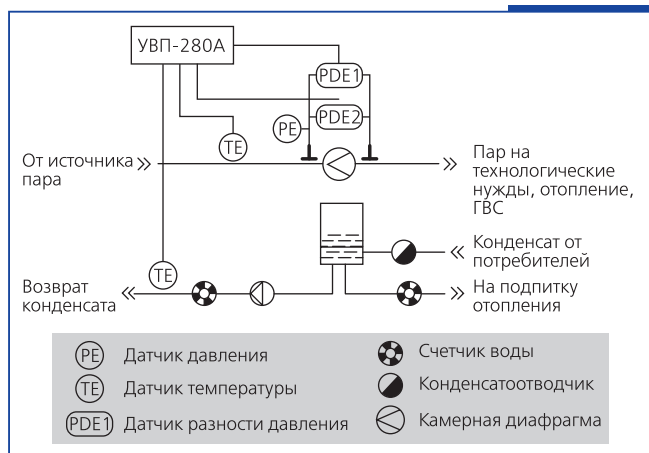


Рис. 2. Схема размещения точек измерения количества тепловой энергии

перепада давления, расчет диаметра сужающего устройства, длины прямых участков L1 и L2 производятся по программе «Расходомер-СТ» (версия 4.47) и утверждаются Ростестом (Москва). При увеличении у потребителя тепловых нагрузок и, следовательно, расхода пара можно изменить пределы измерения перепада давления без изменения геометрии измерительного трубопровода и сужающего устройства путем перенастройки первичных датчиков. Значения параметров определяются в соответствии с критериями оптимальности, приведенными в «Современной нормативной базе для расходомеров переменного перепада давления с сужающими устройствами» (под. ред. С. М. Патрикеева и Б. М. Белова, 1999 год) и вычисляемыми с помощью программных комплексов «Расходомер-СТ» или «Флоуметрика».

Массовый расход теплоносителя (пара) m_1 рассчитывается вычислителем УВП-280А по формуле в соответствии с ГОСТ 8.563.1-97:

$$m_1 = CE\varepsilon(\pi d^2 / 4)(2\rho\Delta p)^{1/2},$$

где C – коэффициент истечения;

E – коэффициент скорости входа;

ε – коэффициент расширения;

d – диаметр отверстия сужающего устройства при рабочей температуре среды, м;

ρ – плотность среды, кг/м³;

Δp – перепад давления на сужающем устройстве, Па.

Тепловая энергия, израсходованная потребителем, рассчитывается по следующей формуле в соответствии с МИ 2451-98 ГСИ:

$$Q_T = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 h_1 d\tau - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 h_{хв} d\tau,$$

где m_1 – массовый расход теплоносителя (пара) в трубопроводе, кг/ч;

h_1 – энтальпия теплоносителя (пара) в трубопроводе, ккал/кг;

$h_{хв}$ – энтальпия холодной воды на источнике теплоты, ккал/кг;

τ_0, τ_1 – время начала и конца измерения и накопления соответственно, ч.

В соответствии с Правилами учета тепловой энергии и теплоносителя, разработанными Госэнергонадзором в 1995 году, количество тепловой энергии в паре, полученное потребителем за период, определенный договором, рассчитывается по формуле:

$$Q = Q_{и} + Q_{п} + (D - G_{к})(h_{к} - h_{хв}) \cdot 10^{-3},$$

где $Q_{и}$ – тепловая энергия, израсходованная потребителем по показаниям вычислителя, Гкал;

$Q_{п}$ – тепловые потери на участке от границы балансовой принадлежности системы теплоснабжения потребителя до его узла учета (определяется в договоре и учитывается, если узел учета оборудован не на границе балансовой принадлежности), Гкал;

D – масса пара, полученная потребителем и определенная по приборам учета, т/ч;

$G_{к}$ – масса возвращенного потребителем конденсата, т/ч;

$h_{к}$ – энтальпия конденсата в конденсатопроводе на источнике теплоты, ккал/кг;

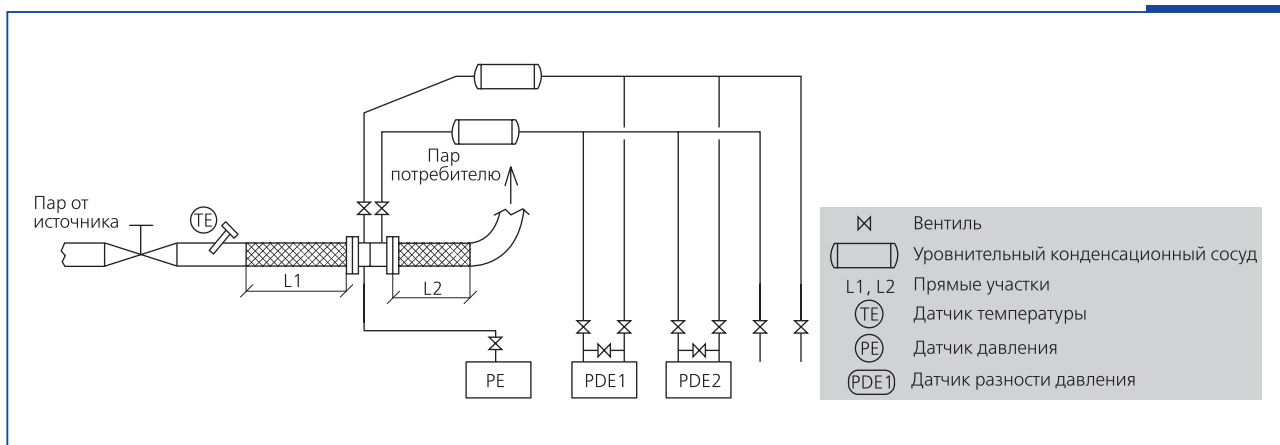
$h_{хв}$ – энтальпия холодной воды, используемой для подпитки систем теплоснабжения на источнике теплоты, ккал/кг.

При отсутствии возврата конденсата формула приобретает следующий вид:

$$Q_{и} = Q_T.$$

Установка термометра сопротивления в этом случае не требуется, значение $h_{хв}$ программируется и принимается равным 10 ккал/кг, что соответствует 10 °С.

Расчет энтальпии h_1 производится по показаниям датчика давления и термометра сопротивления, который устанавливается на паропроводе в соответствии с «Правилами...» до сужающего устройства. Однако необходимая длина прямого участка L1, рассчитанная по программе «Расходомер-СТ», при установке термометра сопротивления перед сужающим устройством оказывается достаточно большой, что часто не позволяет произвести монтаж узла учета в имеющихся габаритах



▼ Рис. 3. Монтажная схема установки сужающего устройства

помещения. В таких случаях допускается устанавливать термометр сопротивления за сужающим устройством по ходу потока пара. Расчеты показывают, что при размещении термометра сопротивления за сужающим устройством температура пара снижается на 0,1–0,2 °С по причине снижения давления в камерной диафрагме (эффект дросселирования), а рассчитанная энтальпия пара оказывается меньше на 0,2–0,4 кДж/кг. Реально падение давления на сужающем устройстве составляет 0,1–0,6 кгс/см². В этом случае значение тепловой энергии, определяемое вычислителем УВП-280, уменьшается приблизительно на 0,01 %, что значительно меньше допустимой погрешности. При размещении термометра сопротивления за сужающее устройство для более точного расчета энтальпии следует производить отбор пара для измерения давления и вычисления энтальпии также за сужающим устройством, т. к. при снижении давления имеет место сохранение энтальпии $h_1 = f(T_1, P_1) = h_2 = f(T_2, P_2)$, где h_1 и h_2 – значение энтальпии до и после сужения. В этом случае необходимо применять вычислитель, который предусматривает обработку двух сигналов избыточного давления для измерения расхода и энтальпии.

Значение энтальпии сравнивается с энтальпией насыщенного пара $h_s = f(T_s) = f(P_s)$; при значениях энтальпии меньших или равных h_s пар считается насыщенным, и расчет тепловой энергии производится для пара, который находится в состоянии насыщения.

При взаимных расчетах за потребленную тепловую энергию большее значение имеют тепловые потери в паропроводах, проложенных большей частью открыто. Расчеты нормированных потерь, выполненных в соответствии со СНиП 2.04.14, показывают, что для предприятий, имеющих небольшую нагрузку и, соответственно, незначительный пар, потери значительно превышают тепловую энергию, измеренную на узле учета. Ясно, что такие расчеты не могли устроить многих абонентов, поэтому по взаимному согласию тепловые потери Q_n определялись как разность тепловой энергии, измеренной на головном узле учета I и суммы показаний вычислителей всех предприятий – абонентов (узлы учета II, III, IV). Потери Q_n распределялись между потребителями пара в соответствии с коэффициентами, которые соответствуют доли площади поверхности паропроводов, по которым производится теплоснабжение конкретного предприятия. В случае, если теплоснабжение производится по совмещенному участку паропровода, то его площадь поверхности распределяется между предприятиями, потребляющими пар от данного участка паропровода пропорционально договорной нагрузке. Тепловые потери от подводящего магистрального паропровода 1 рассчитывались по формуле:

$Q_n = \sum q_i l_i$, где q_i – удельные потери, определяемые по СНиП 2.04.14 на i -том участке паропровода длиной l_i .

Расчетные потери температуры на участке 1 определялись по формуле:

$$\Delta t = Q_n / G_n C_n,$$

где G_n – расчетный расход пара,

$C_n = 0,5$ ккал/кг – теплоемкость пара.

При расчете с абонентами за потребленную тепловую энергию в паре следует руководствоваться методикой расчета, принятой в Энергосбыте ОАО «Мосэнерго».

Размер оплаты за расчетный период вычисляется по формуле:

$$B_{тэ} = (Q_{т.с.} + Q_{т.с.} / T_{штат. раб.} T_{функц. отказа} + G_{дог} T_{max} Q_{т.с.} / G_{т.с.} + G_{мин} T_{мин} Q_{т.с.} / G_{т.с.} + Q_{т.с.} / T_{штат. раб.} T_{ош. парам. среды} + Q_{тепл. потери}) C_{теп.} + (G_{т.с.} + G_{конд. трансп.} + G_{т.с.} / T_{штат. раб.} \times T_{функц. отказа} + G_{дог} T_{max} + G_{мин} T_{мин} + G_{т.с.} / T_{штат. раб.} \times T_{ош. парам. среды}) C_{конд.},$$

где $Q_{т.с.}$ – количество потребленной тепловой энергии за отчетный период, зарегистрированное теплосчетчиком за время его работы в штатном режиме, Гкал;

$Q_{функц. отказа} = Q_{т.с.} / T_{штат. раб.} T_{функц. отказа}$ – количество потребленной тепловой энергии за время функционального отказа исходя из среднерасчетной величины тепловой энергии за время штатной работы, Гкал;

$Q_{max} = G_{дог} T_{max} Q_{т.с.} / G_{т.с.}$ – количество тепловой энергии за время работы теплосчетчика в режиме расхода выше максимального исходя из среднерасчетной величины энтальпии за время штатной работы, Гкал;

$Q_{мин} = G_{мин} T_{мин} Q_{т.с.} / G_{т.с.}$ – количество тепловой энергии за время работы теплосчетчика в режиме расхода ниже минимального исходя из среднерасчетной величины энтальпии за время штатной работы, Гкал;

$Q_{ош. парам. среды} = Q_{т.с.} / T_{штат. раб.} T_{ош. парам. среды}$ – количество тепловой энергии за время работы теплосчетчика в режиме ошибки параметра среды исходя из среднерасчетной величины тепловой энергии за время штатной работы, Гкал;

$Q_{тепл. потери}$ – тепловые потери;

$G_{т.с.}$ – масса пара за отчетный период, зарегистрированная теплосчетчиком за время его работы в штатном режиме, т;

$G_{конд. трансп.}$ – масса конденсата, образующегося при транспортировке пара, определяемая расчеты режимов пароснабжения;

$G_{функц. отказа} = G_{т.с.} / T_{штат. раб.} T_{функц. отказа}$ – масса пара, потребленная за время функционального отказа, исходя из среднерасчетной величины массы пара за время штатной работы, т;

$G_{(max)} = G_{дог} T_{max}$ – масса пара, полученная за время работы теплосчетчика в режиме расхода выше максимального, исходя из договорного расхода теплоносителя;

$G_{(min)} = G_{min} T_{min}$ – масса пара, полученная за время работы теплосчетчика в режиме расхода ниже минимального, исходя из технической характеристики прибора;

$G_{\text{ош. парам. среды}} = G_{\text{т. с.}} / T_{\text{штат. раб.}} T_{\text{ош. парам. среды}}$ – масса пара, полученная за время работы теплосчетчика в режиме ошибки параметров среды, исходя из среднерасчетной массы пара за время штатной работы, Гкал;

$C_{\text{теп.}}$ – тариф тепловой энергии, руб/Гкал;

$C_{\text{конд.}}$ – тариф конденсата, руб/т.

При $T_{\text{ош. пар. среды}} > 25\% T_{\text{отчетный период}}$ осуществляется переход на расчет по договорным нагрузкам (теплосчетчик является некоммерческим).

При $T_{\text{функ. отказа}} > 15 \text{ сут./год}$ расчет за тепловую энергию и теплоноситель производится по договорным нагрузкам (п. 9.8 «Правил учета тепловой энергии и теплоносителя», Москва, 1995 год).

Измерительные комплексы, состоящие из сужающего устройства, датчиков переменного перепада давления и вычислителя УВП-280 обладают относительно высокой точностью измерения тепловой энергии пара; предел допускаемой относительной погрешности при измерении тепловой энергии пара составляет не более:

- 5 % в диапазоне расхода пара 10–30 %;
- 4 % в диапазоне расхода пара 30–100 %.

Предел допускаемой относительной погрешности измерения количества (массы) теплоносителя

составляет не более 3 % в диапазоне расхода пара 10–100 %. Снизить нижний предел измерения расхода можно за счет применения первичного датчика малого перепада с более высоким классом точности (например, типа «Метран», класс точности 0,15).

Погрешности измерения не превышают значения допускаемых погрешностей, приведенных в «Правилах учета тепловой энергии и теплоносителя».

Применение интеллектуальных датчиков перепада давления и избыточного давления «Метран-100» с классом точности 0,15–0,5, термопреобразователей сопротивления «ТСП-0595» с показателем тепловой инерции не более 8–20 с, в комплекте с вычислителем УВП-280 позволяет снизить относительную погрешность измерения тепловой энергии пара до 3 %. Рассчитанные параметры архивируются и сохраняются в течение 5 лет.

Все средства измерения, применяемые в составе измерительного комплекса, подвергаются Государственному метрологическому контролю, включающему в себя:

- проведение первичной и периодической поверок каждого отдельного средства измерения (не реже одного раза в три года) в соответствии с разд. 6 «Правил по метрологии» ПР 50.2.022-99;
- проведение первичной и периодической поверок сужающего устройства на соответствие требованиям ГОСТ 8.563.1 не реже одного раза в год в соответствии с разд. 7 ПР 50.2.022-99. ■