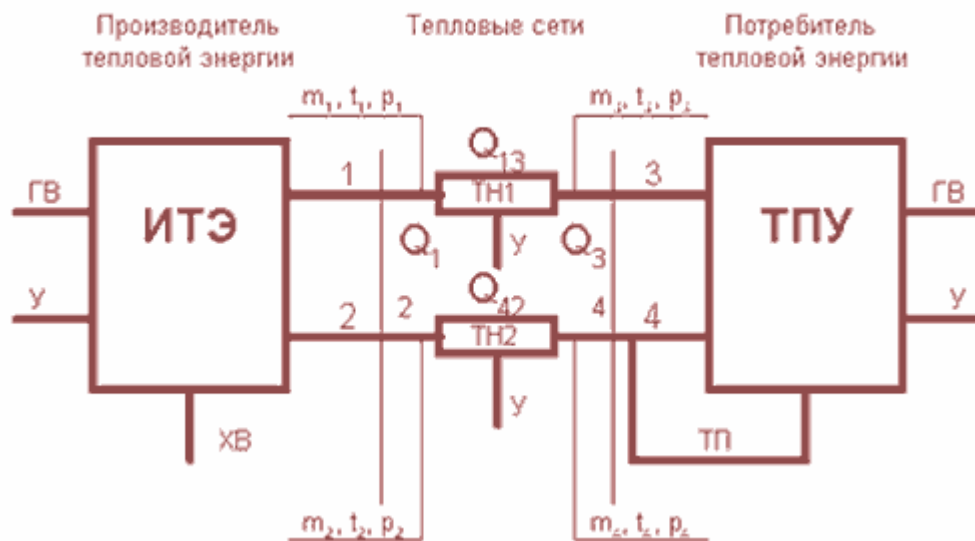


ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.И. Лисенков, к.т.н., нач. сектора ВНИИМС, Москва

В настоящее время в системах теплоснабжения при учете энергии используются две измеряемые величины: тепловая энергия и количество теплоты. В качестве измеряемой величины тепловая энергия в последнее время получила широкое распространение. Практически во всей технической документации, имеющей общий характер, употребляется в качестве измеряемой величины тепловая энергия. Она используется в Законе "Об энергосбережении", "Правилах учета тепловой энергии и теплоносителя", Рекомендации МИ 2412-97, Рекомендации МИ 2451-98 и во многих описаниях для Госреестра на теплосчетчики и тепловычислители и др. документации. В то же время, в качестве измеряемой величины в ряде случаев используется количество теплоты, например, в рекомендации МИ 2164-91 (которая в настоящее время корректируется), некоторых описаниях для Госреестра на теплосчетчики и тепловычислители. Возникает вопрос, насколько целесообразно применение первой или второй величины.

Для ответа на этот вопрос обратимся к объекту измерения. Представим себе структурную схему простейшей системы теплоснабжения в виде, изображенной на **рисунке**. В общем случае, в систему теплоснабжения входят источник тепловой энергии (ИТЭ), далее - источник энергии, подающий и обратный трубопроводы и теплопотребляющая установка (ТПУ), которые, как правило, принадлежат различным владельцам, соответственно, производителю тепловой энергии, тепловым сетям, обеспечивающим транспортировку тепловой энергии и теплоносителя, и потребителю тепловой энергии. В целом система теплоснабжения представляет собой замкнутый контур, в котором обеспечивается циркуляция теплоносителя в определенном направлении, показанном стрелкой, от источника энергии к теплопотребляющей установке и обратно. При циркуляции теплоносителя по трубопроводам возникают тепловые потери в трубопроводах, вызванные теплообменом и утечками теплоносителя, которые на схеме представлены в виде тепловых нагрузок ТН1 (для подающего трубопровода) и ТН2 (для обратного трубопровода). Кроме того, на рисунке показаны условно горячее водоснабжение (ГВ) на источнике энергии и теплопотребляющей установке, холодное водоснабжение (ХВ), утечки (У), подпиточный трубопровод (ПТ).



Рисунок

ИТЭ - источник тепловой энергии; ТПУ - теплопотребляющая установка; ТН1 - тепловая нагрузка по подающему трубопроводу; ТН2 - тепловая нагрузка по обратному трубопроводу; ГВ - горячее водоснабжение; ПТ - трубопровод подпитки; ХВ - холодное водоснабжение; У - утечки; m_1, m_2, m_3, m_4 - массовые расходы теплоносителя в сечении контура 1, 2, 3, 4; t_1, t_2, t_3, t_4 - температура теплоносителя в сечении контура 1, 2, 3, 4; p_1, p_2, p_3, p_4 - давление теплоносителя в сечении контура 1, 2, 3, 4;

Рассмотрим, какое количество энергии содержится в теплоносителе, прошедшем через характерные сечения контура 1, 2, 3, 4 на границах балансовой принадлежности тепловых сетей в течение определенного интервала времени $t_1 - t_0$. Из термодинамики известно, что если тело (или система) находится в равновесии с внешней средой, то с любым его состоянием связана энергия, численно равная энтальпии тела в данном состоянии [6]. Распространяя это положение на нашу систему, можно считать, что при равновесном режиме системы относительно внешних условий

энергия теплоносителя, прошедшего через любое сечение (1...4) контура, численно равна энтальпии теплоносителя в состоянии для данного сечения или численно равна интегралу произведения массового расхода теплоносителя на его удельную энтальпию в данном сечении. Удельная энтальпия может быть заменена просто энтальпией, которая определяется в соответствии с таблицами ГСССД [7, 8]. При такой замене удельной энтальпии на энтальпию по таблицам ГСССД [7, 8] получаем формулу измерения энергии теплоносителя Q_i , прошедшего через любое i -е сечение контура (или просто через трубопровод [3, 4, 9]), в виде

$$(1) \quad Q_i = \text{Интеграл от } t_0 \text{ до } t_1 [m_i h_i] dt$$

где m_i и h_i - массовый расход и энтальпия теплоносителя в i -ом сечении контура, энтальпия соответствует температуре t_i и давлению P_i по таблицам ГСССД.

Для разности энергий теплоносителя смежных сечений контура (принадлежащих одному участку контура) можем записать уравнения

$$(2) \quad Q_{12} = - (Q_1 - Q_2)$$

$$(3) \quad Q_{13} = Q_1 - Q_3$$

$$(4) \quad Q_{34} = Q_3 - Q_4$$

$$(5) \quad Q_{42} = Q_4 - Q_2$$

где индексами ij в обозначениях тепловых энергий Q_{ij} отмечены соответствующие участки контура. В уравнении (2) перед скобками введен условно знак минус, поскольку на этом участке контура энергия определяется против движения теплоносителя. Уравнение (2) определяет энергию на выходе источника энергии, уравнение (4) определяет энергию на входе теплотребляющей установки потребителя, а уравнения (3) и (5) определяют потери энергии, соответственно, в подающем и обратном трубопроводах.

Нетрудно видеть, что сумма энергий по всему замкнутому контуру системы равна нулю:

$$(6) \quad Q_{12} + Q_{13} + Q_{34} + Q_{42} = 0$$

т.е. количество энергии, отпущенной источником энергии, равно количеству израсходованной энергии, некоторая часть которой потеряна в тепловых сетях, а другая часть поступила на вход теплотребляющей установки, при этом в контуре обеспечивается баланс энергий. В данном случае не имеет принципиального значения, каким образом производится энергия на источнике энергии и как используется эта энергия у потребителя и на самом источнике. На основании формулы (6) можно сделать вывод, что для обеспечения взаиморасчетов между потребителем и изготовителем энергии необходимо и достаточно определить энергию на выходе источника энергии Q_{12} и энергию на входе теплотребляющей установки потребителя Q_{34} . Что касается потерь в тепловых сетях, то они при необходимости могут быть определены как разность между Q_{12} и Q_{34} .

С физической точки зрения энергии Q_{12} и Q_{34} имеют две составляющие. Одна составляющая энергии Q_{12} производится источником энергии путем нагрева циркулирующего в контуре теплоносителя, который поступает по обратному трубопроводу, другая - производится источником энергии путем введения и нагрева дополнительной массы теплоносителя, поступающего по трубопроводу холодного водоснабжения:

$$(7) \quad Q_{12} = - (\text{Интеграл} [m_2 (h_1 - h_2)] dt + \text{Интеграл} [(m_1 - m_2) h_1] dt)$$

Энергия, поступающая на вход теплотребляющей установки потребителя, Q_{34} , имеет две составляющие при условии, что она в установке не превращается частично в работу. Одна из составляющих превращается в теплоту путем охлаждения теплоносителя в теплообменном контуре установки, а другая - отбирается вместе с потребляемой горячей водой (на горячее водоснабжение, подпитку по трубопроводу ТП) и утечками горячей воды в установке:

$$(8) \quad Q_{34} = \text{Интеграл} [m_4 (h_3 - h_4)] dt + \text{Интеграл} [(m_3 - m_4) h_3] dt)$$

Как видно из формул (7) и (8), величины Q_{12} и Q_{34} содержат составляющие (вторые интегралы), которые нельзя рассматривать как количество теплоты и, следовательно, величины Q_{12} и Q_{34} называть количеством теплоты не представляется возможным. Эти величины можно называть тепловой энергией.

В том случае, когда вторые интегралы в формулах (7) и (8) отсутствуют (это может быть в так называемых закрытых системах теплоснабжения, в которых обеспечивается равенство $m_1=m_2$ и $m_3=m_4$), величины Q_{12} и Q_{34} можно называть и тепловой энергией и количеством теплоты, поскольку в источнике энергии и в теплотребляющей установке происходит только превращение энергии путем теплообмена. Но и в этом случае, по-видимому, более корректно говорить о тепловой энергии, а не о количестве теплоты, в частности, по следующим причинам.

Во-первых, в термодинамике принято считать, что при теплообмене количество теплоты связано с изменением энтальпии тела (системы). В нашем случае в качестве тела выступает движущийся по контуру теплоноситель и его

нельзя считать одним и тем же телом одновременно в двух сечениях контура. Например, если в сечении 3 контура теплоноситель имеет частицы А, то эти частицы могут появиться в сечении 4 контура через некоторое время, которое зависит от скорости и пути их движения между этими сечениями. Да и условия равновесия в двух сечениях, как правило, различные даже при одном и том же массовом расходе теплоносителя. По-видимому, по этой причине для двух сечений более правильно говорить о разности энергий «двух» теплоносителей, а не изменение энтальпии двух теплоносителей.

Во-вторых, количество теплоты зависит не только от изменения энтальпии теплоносителя, но и от пути ее изменения.

Можно показать, что формулы (1, 2, 4, 7, 8) позволяют осуществлять измерения тепловой энергии практически во всех существующих системах теплоснабжения. Они нашли отражения в рекомендациях МИ 2412-97 и МИ 2451-98. В указанных рекомендациях тепловые энергии выражены различными формулами, имеют соответствующие уточнения, например, "тепловая энергия, отпущенная источником тепловой энергии при равенстве расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах" и др. Термин "тепловая энергия" подчеркивает тот факт, что эта энергия связана с тепловым движением частиц в теплоносителе, определяемым его термодинамическим состоянием. Термин "тепловая энергия" еще не имеет формально стандартного определения, хотя, как уже было отмечено выше, широко употребляется. По-видимому, этот термин требует широкого обсуждения и стандартизации.

Единица измерения тепловой энергии и количества теплоты одна и та же - джоуль, и поэтому в качестве поверочной схемы средств измерений тепловой энергии может, по-видимому, использоваться поверочная схема средств измерений количества теплоты, если, конечно, обеспечивается физическая возможность передачи размера величины от эталона количества теплоты к средствам измерений тепловой энергии. Может быть разработана специальная поверочная схема средств измерений тепловой энергии. Впрочем, вопросы эталона и поверочной схемы средств измерений тепловой энергии требуют отдельного рассмотрения.

Как видно из изложенного выше, для учета тепловой энергии достаточно обеспечить измерение тепловой энергии по формулам (1, 2, 4, 7, 8), либо по формулам, приведенным в рекомендациях МИ 2412-97 и МИ 2451-98. Следует отметить, что рекомендации МИ 2412-97 и МИ 2451-98 позволяют измерять тепловую энергию с введением поправки на тепловую энергию холодной воды $Q_{хв}$ используемой для подпитки системы. В рекомендациях МИ 2412-97 и МИ 2451-98 в уравнения поправка введена исключительно с тем, чтобы не противоречить Правилам, в то же время в них предусмотрена возможность ее исключения. Тепловая энергия $Q_{хв}$ может измеряться самостоятельно по формуле (1) и поэтому она может быть исключена из других уравнений измерений тепловой энергии.

По нашему мнению тепловую энергию холодной воды $Q_{хв}$ в случае необходимости ее учета следует измерять отдельно по формуле (1) или аналогичной формуле только для источника тепловой энергии, а для потребителя вычислять на основании измерений массы отобранного теплоносителя и температуры холодной воды, а учитывать либо путем вычитания $Q_{хв}$ из тепловых энергий Q_i , либо путем уменьшения тарифов на тепловую энергию, например, на величину, пропорциональную $Q_{хв}$.

В последнее время возникает много вопросов, связанных с формулами определения тепловой энергии, приведенными в Правилах [2]. Указанные формулы предназначены для учета тепловой энергии и, хотя они представлены в виде, напоминающем уравнения измерений, их нельзя рассматривать в качестве уравнений измерений. На самом деле они в полной мере не реализуются ни в теплосчетчиках, ни в узлах учета. Формально уравнения измерений могут быть регламентированы в НД Госстандарта или его органов, а не в Правилах, которые не имеют такого статуса. В настоящее время измерения тепловой энергии следует осуществлять в соответствии с МИ 2412-97 и МИ 2451-98. Правила в части метрологии следует корректировать.

В заключение следует отметить, что разработка нормативной документации, регламентирующей требования к методам и средствам измерений тепловой энергии, в последнее время затормозилась, в том числе из-за того, что затронутые в Правилах вопросы измерений противоречат современным требованиям, в частности, МИ 2412-97 и МИ 2451-98. Возникают большие затруднения при "увязке" разрабатываемых требований и средств измерений тепловой энергии с требованиями Правил [2], с зарубежными аналогичными требованиями и средствами, в частности, при установлении номинальных функций преобразования, нормировании пределов метрологических характеристик, регламентации методов поверки средств измерений и др.

Выводы:

- В качестве измеряемой величины в системах теплоснабжения следует принять величину "тепловая энергия". Термин "тепловая энергия" целесообразно широко обсудить и ввести в нормативную документацию.
- Измерения тепловой энергии следует осуществлять в соответствии с регламентированными в рекомендациях МИ 2412-97 и МИ 2451-98 уравнениями измерений, исключив из них член, определяющий тепловую энергию холодной воды.
- Формулы определения тепловой энергии и все требования, регламентирующие вопросы измерений, относящиеся к

компетенции Госстандарта, следует исключить из Правил учета тепловой энергии и теплоносителя. Вместо указанных формул целесообразно в Правилах привести алгоритмы учета тепловой энергии, в состав которых не должны входить члены уравнений измерений тепловой энергии. Раздел 5 Правил, регламентирующий основные требования к приборам учета тепловой энергии, следует привести в соответствие с современными требованиями.

ЛИТЕРАТУРА

Закон РФ "Об энергосбережении".

Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. Москва, 1995.

Рекомендация МИ 2412-97 "ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя". Москва, ВНИИМС, 1997.

Рекомендация МИ 2451-98 "ГСИ. Паровые системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя". Москва, ВНИИМС, 1998.

Рекомендация МИ 2164-91 "ГСИ. Теплосчетчики. Требования к испытаниям, метрологической аттестации, поверке". СПб, ВНИИМ, 1991.

М.П. Вукалович, И.И. Новиков. Термодинамика. Москва, Машиностроение, 1972.

ГСССД 98-86. "Вода, Удельный объем и энтальпия при температурах 0...800°C и давлениях 0,001... МПа". М. Издательство стандартов, 1986.

ГСССД ... Плотность, энтальпия и вязкость воды. М. Издательство ВНИИЦ СИБ, 1993.

В.М. Беляев, А.И. Лисенков, В.И. Лачков. Уравнения измерений тепловой энергии - Материалы Международной научно-практической конференции 21-23 апреля 1998 "Коммерческий учет энергоносителей". СПб, 1998.

Статья предоставлена сайтом: www.teplopunkt.ur.ru