

О.Н.Устьянцева
Учет тепловой энергии в системах
теплоснабжения

Содержание

1. Основные понятия и терминология	2
2. Основные системы теплоснабжения	3
3. Уравнения измерений тепловой энергии и теплоносителя в водяных системах теплоснабжения.	4
4. Требования к метрологическим характеристикам приборов учета тепловой энергии.	8
5. Обзор теплосчетчиков.	10
6. Анализ погрешностей средств измерений, входящих в состав теплосчетчика.	13
7. Оценки погрешности измерений тепловой энергии	22
Выводы	27
Список литературы	27
Приложение	28

1. Основные понятия и терминология

В обзоре используется термин «тепловая энергия». Теплоэнергетика – раздел энергетике, связанный с получением, использованием и преобразованием тепла в различные виды энергии (ГОСТ 19431-84). В ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин» такие величины как «энергия, работа, теплота, количество теплоты» измеряются в одних единицах – джоулях, поскольку джоуль является универсальной единицей. В джоулях измеряются и такие термодинамические функции, как внутренняя энергия и энтальпия (h). В соответствии с представлениями термодинамики «теплота является особой формой перехода энергии от одного тела к другому, не связанная с переносом вещества и совершением работы»; количество теплоты – энергия передаваемая в этой особой форме, связана с изменением энтальпии тела. Энтальпия является функцией температуры (t) и давления (p) теплоносителя. На основании измерений параметров теплоносителя и его количества может определяться значение тепловой энергии. В термине «тепловая энергия» определение «тепловая» указывает вид энергии. Поскольку термин «тепловая энергия» применяется во многих нормативных документах, на которые имеются ссылки в данной работе, целесообразно использовать термин «тепловая энергия». Математически тепловая энергия Q теплоносителя, прошедшего через трубопровод за определенный интервал времени выражается формулой:

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} q_m \cdot h d\tau \quad (1)$$

где q_m и h – массовый расход и энтальпия теплоносителя;

τ_0 и τ_1 – моменты времени, соответствующие началу и окончанию измерения тепловой энергии.

Расход жидкости - физическая величина, равная пределу отношения приращения массы или объема, или количества жидкости, протекающего в трубопроводе через сечение, перпендикулярное направлению скорости потока, к интервалу времени, за который это приращение произошло, при неограниченном уменьшении интервала времени [ГОСТ 15528-86].

Массовый расход (Q_m) выражают через массу и время, (килограммах в секунду, тоннах в час и т. д.), объемный расход (Q_v) – выражают через объем и время (кубических метрах в секунду, кубических метрах в час и т. д.).

Тепловычислитель – электронное устройство, обеспечивающее расчет количества теплоты (тепловой энергии) на основе измерительной информации о расходе, температуре и давлении теплоносителя (Правила)

Теплосчетчик – комплект приборов (измерительная система), предназначенный для определения количества теплоты (тепловой энергии) и измерения массы и параметров теплоносителя.

Система теплоснабжения – совокупность взаимосвязанных источника теплоты, тепловых сетей и систем теплоснабжения (Правила)

Закрытая система теплоснабжения – система теплоснабжения, в которой вода, циркулирующая в тепловой сети, из сети не отбирается.

Открытая система теплоснабжения – водяная система теплоснабжения, в которой вода частично или полностью отбирается из системы потребления тепловой энергии.

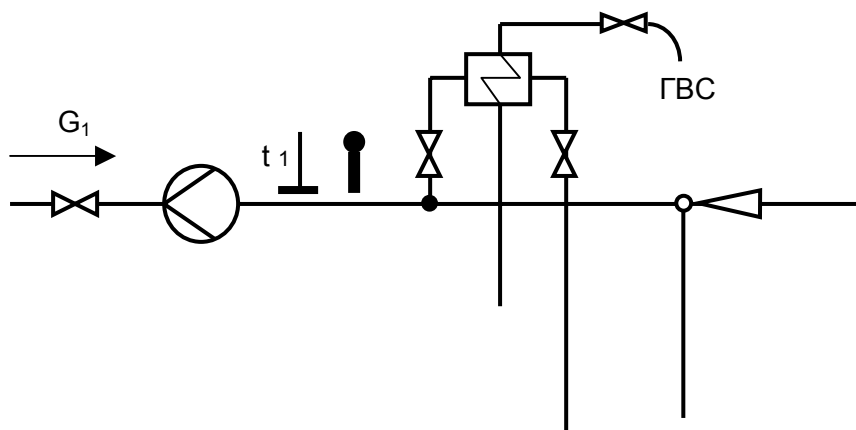
Узел учета – комплект приборов и устройств, обеспечивающий учет тепловой энергии, массы (объема) теплоносителя, а также контроль и регистрацию его параметров.

2. Основные системы теплоснабжения

Многообразие систем теплоснабжения в России привело к сложным схемам измерения и учета тепловой энергии и теплоносителя. В зависимости от присоединения к источнику теплоснабжения системы потребления тепловой энергии и теплоносителя подразделяют на зависимые и независимые, с непосредственным водоразбором и независимым водоразбором, различают одно-, двух-, трех- и четырехтрубные системы теплоснабжения. По своей структуре и назначению различаются системы теплоснабжения поставщика и потребителя тепловой энергии. В работе рассматриваются системы теплоснабжения потребителя, т.к. именно у них наибольшая проблема с учетом тепловой энергии и расчетом за потребленное тепло с теплоснабжающей организацией, при сведении балансов теплоснабжения.

В целом система теплоснабжения потребителя представляет собой замкнутый контур, в котором обеспечивается циркуляция теплоносителя в определенном направлении. При циркуляции теплоносителя по трубопроводам возникают тепловые потери в трубопроводах, вызванные теплообменом и утечками теплоносителя. Большинство систем теплоснабжения, независимо от многочисленных разновидностей, по сути, сводятся к закрытым и открытым системам теплоснабжения. Исходя из определения, приведенного в терминах, закрытая система теплоснабжения представляет собой систему теплоснабжения, в которой предполагается полное отсутствие потребления теплоносителя. Строго закрытых систем в Санкт-Петербурге почти нет, чаще это «условно» закрытые системы, такие, где водоразбора нет, но могут быть утечки, величина которых не превышает погрешности приборов измерения расхода. Практически закрытую систему теплоснабжения следует рассматривать как частный случай открытой системы теплоснабжения.

Закрытая и открытая системы теплоснабжения приведены ниже.



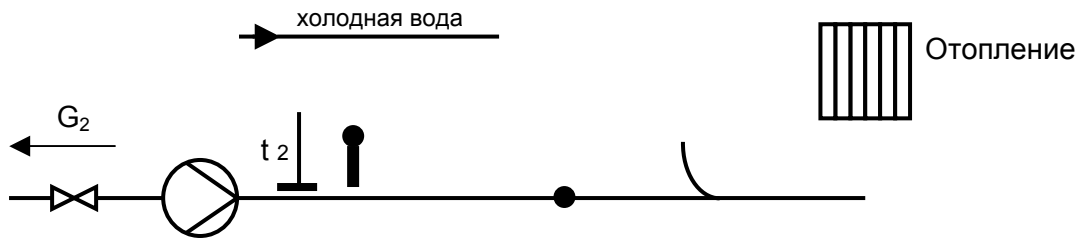


Рис.1 Закрытая система теплоснабжения.

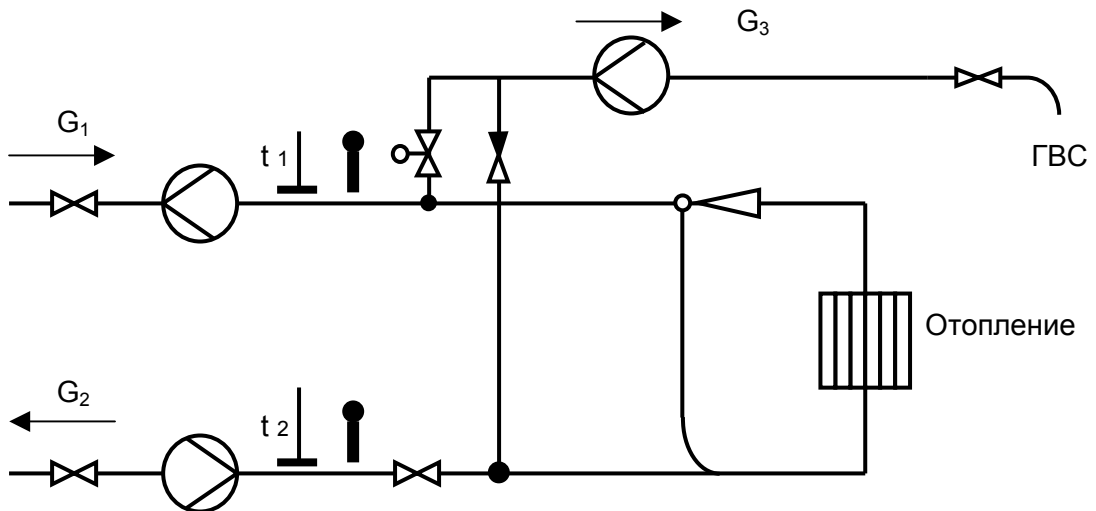


Рис.2. Открытая система теплоснабжения.

3. Уравнения измерений тепловой энергии и теплоносителя в водяных системах теплоснабжения.

В Санкт-Петербурге как правило используются открытые системы теплоснабжения. Это в значительной степени усложнило учет тепловой энергии и теплоносителя. Как следует из представленной схемы у потребителя можно измерить количество протекающего теплоносителя и его теплосодержание в прямом и обратном трубопроводах. Определить потребленную тепловую энергию и количество невозвращенного теплоносителя можно по следующей формуле:

$$Q = \int_1^2 G_1 h_1 dt - \int_1^2 G_2 h_2 dt - \int_1^2 (G_1 - G_2) h_{xв} dt \quad (2)$$

где t_1 и t_2 – моменты времени начала и конца измерения;

G_1 и G_2 – теплоноситель, прошедший через подающему и обратному трубопроводу

h_1 и h_2 - энтальпия горячей воды в подающем и обратном трубопроводах;

$h_{хв}$ - энтальпия холодной воды у источника теплоснабжения.

Каждый из трех интегралов имеет четкий физический смысл. Первый интеграл – это тепловая энергия, полученная потребителем по подающему трубопроводу, второй интеграл – тепловая энергия, возвращенная потребителем по обратному трубопроводу и третий интеграл – не подлежащая оплате энергия, полученная поставщиком вместе с взятой на подпитку системы холодной водой источника водоснабжения. Для удобства дальнейших выкладок выражение (2) запишем в следующем виде:

$$Q = G_1 h_1 - G_2 h_2 - (G_1 - G_2) h_{хв} \quad (3)$$

или

$$Q = G_1 (h_1 - h_{хв}) - G_2 (h_2 - h_{хв}) \quad (4)$$

Теоретически формула (4) верна, но на практике у потребителя измеряются только температуры T_1 и T_2 , так как энтальпия холодной воды $h_{хв}$, как функция температуры $T_{хв}$, может быть измерена только на источнике тепла. Теплосчетчики всех потребителей определяют абсолютную энергию. Учет полученной тепловой энергии у потребителя ведется без учета энергии холодной воды, которая используется на источнике для подпитки тепловой сети, хотя эта энергия составляет заметную долю от всей поставленной потребителю энергии, и потребитель не должен оплачивать эту часть тепловой энергии, на которую поставщик не затрачивал топлива. Как правило, за температуру холодной воды потребитель принимает договорное значение равное 0°C . Тогда уравнение измерения тепловой энергии представляется формулой:

$$Q = G_1 h_1 - G_2 h_2 \quad (5)$$

Пренебрегая изменением теплоемкости воды C с изменением давления P от 0 до 8 кгс/см^2 ($0,8 \times 10^{-5} \text{ Па}$) и температуры T от 40 до 120°C , которое не превышает $0,4\%$, т.е. полагать, что $h_1 = CT_1$ и $h_2 = CT_2$, тогда формулу (5) можно записать:

$$Q = G_1 T_1 - G_2 T_2 \quad (6)$$

где T_1 и T_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах.

Собственно именно это уравнение и реализуется у потребителей тепловой энергии, будь это закрытая или открытая система теплоснабжения.

В Правилах предлагается для измерения потребленной тепловой энергии уравнение следующего вида:

$$Q_u = G_1 (T_1 - T_2) \quad (7)$$

Но так как это уравнение не учитывает утечек и количество невозвращенной горячей воды, то расчет за все потребленное тепло предлагается вести по следующей формуле:

$$Q_\Sigma = Q_u + Q_{ym} + (G_1 - G_2)(h_2 - h_{хв}) \quad (8)$$

Формулу (8) следует понимать как уравнение баланса, а не измерения тепловой энергии. Это приборно-расчетный метод, и тепло $Q_{ут}$, добавленное к Q_u , это договорная величина, в которую можно вложить любые небалансы поставщика.

Формула (7) справедлива лишь в случае, когда $G_1 = G_2$, т.е. в случае закрытой системы, а в случае $G_1 \neq G_2$, формула (7) искажает процесс измерения, так как в этом случае не будет учтен невозвращенный теплоноситель.

Правила допускают использование следующих уравнений:

$$Q = G_1(h_1 - h_2) + G_n(h_2 - h_{xв}) \quad (9)$$

$$Q = G_1(h_1 - h_2) + (G_1 - G_2)(h_2 - h_{xв}) \quad (10)$$

$$Q = G_2(h_1 - h_2) + G_n(h_2 - h_{xв}) \quad (11)$$

$$Q = G_2(h_1 - h_2) + (G_1 - G_2)(h_2 - h_{xв}) \quad (12)$$

$$Q = G_1(h_1 - h_{xв}) - G_2(h_2 - h_{xв}) \quad (13)$$

$$Q = G_1h_1 - G_2h_2 - G_n h_{xв} \quad (14)$$

$$Q = G_1h_1 - G_2h_2 - (G_1 - G_2)h_{xв} \quad (15)$$

Расчет потребленной тепловой энергии по всем формулам должен давать одинаковые результаты, однако точность определения Q при использовании различных уравнений не одинакова, так как зависит от места установки приборов, их характеристик, способа обработки результатов измерений и условий эксплуатации приборов.

В зависимости от схемы расположения датчиков реализация уравнения измерений могут быть разными.

Например, уравнение вида: $Q = G_1(h_1 - h_2) + G_3(h_2 - h_{xв})$ реализовано в приведенных ниже схемах:

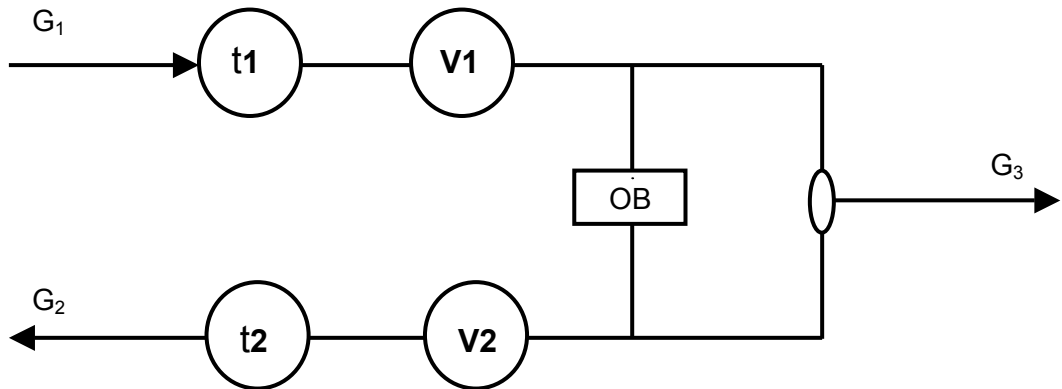


Рис.3 Открытая система теплоснабжения с водосчетчиком в подающем и обратном трубопроводе

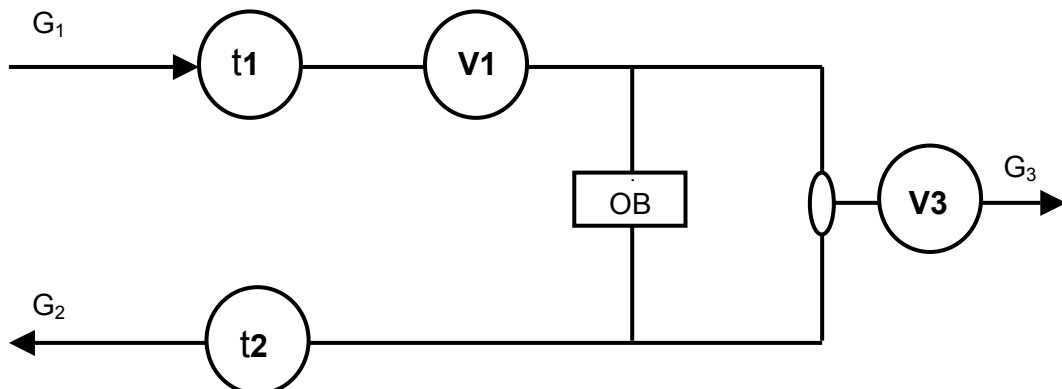


Рис.4 Открытая система теплоснабжения с водосчетчиком в подающем трубопроводе и трубопроводе ГВС.



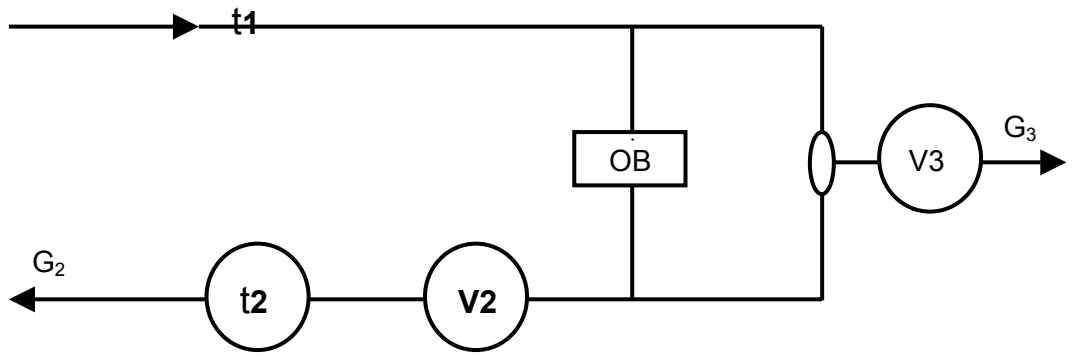


Рис.5 Открытая система теплоснабжения с водосчетчиком в обратном трубопроводе и трубопроводе ГВС.

В случае закрытой системы теплоснабжения когда: $G_1 = G_2$

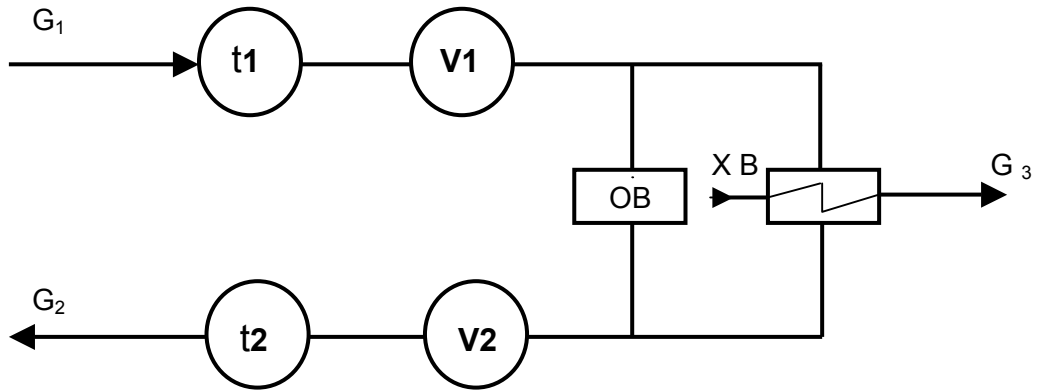


Рис.6 Закрытая система теплоснабжения с водосчетчиком в подающем и обратном трубопроводе и измерением Q через G_1 или G_2

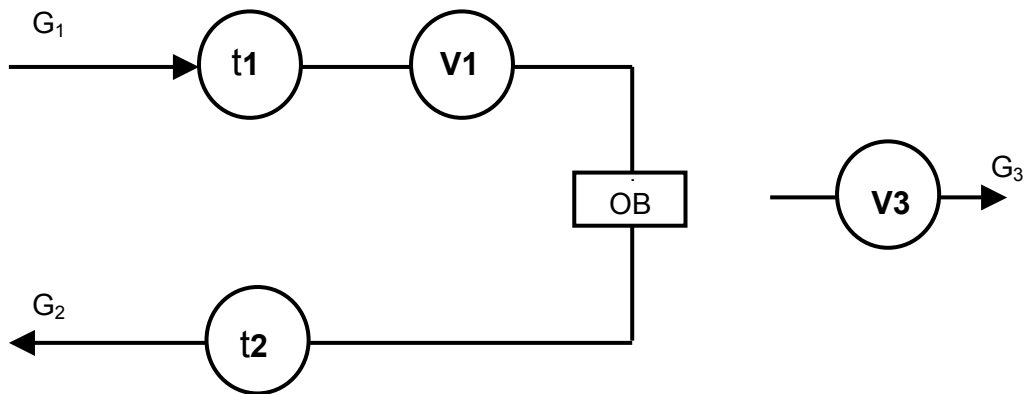


Рис.7 Закрытая система теплоснабжения с водосчетчиком в подающем трубопроводе и дополнительным трубопроводом ГВС

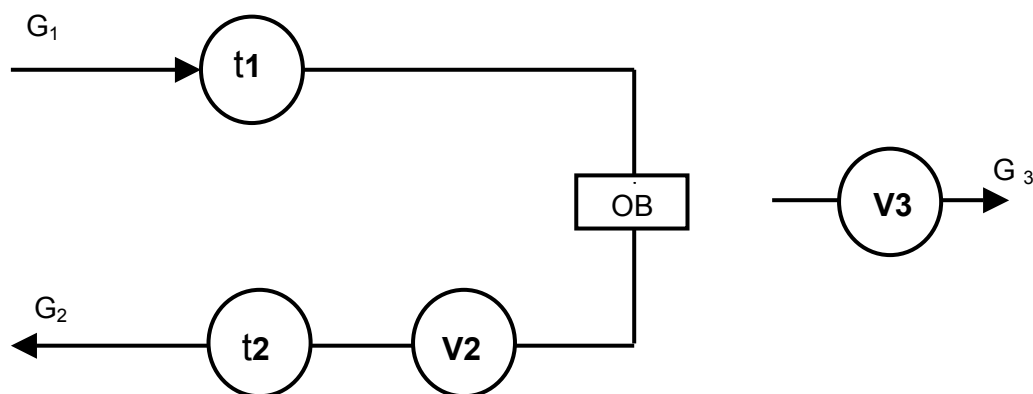


Рис.8 Закрытая система теплоснабжения с водосчетчиком в обратном трубопроводе и дополнительным трубопроводом ГВС.

Разные схемы включения приборов значительно отличаются по точности и достоверности результатов измерения. Погрешность измерения тепловой энергии зависит от способа реализации приведенных уравнений, соотношения измеряемых параметров теплоносителя, метрологических характеристик применяемых средств измерений.

4. Требования к метрологическим характеристикам приборов учета тепловой энергии.

Требования Правил к оснащению приборами узлов учета тепловой энергии различаются в зависимости от суммарной тепловой нагрузки потребителя. Предлагается несколько схем размещения точек измерения количества тепловой энергии, массы (объема) теплоносителя и его параметров в закрытых и открытых системах теплоснабжения. Обязательно независимо от нагрузки в открытых и закрытых системах теплоснабжения должны определяться:

- время работы приборов,
- полученная тепловая энергия;
- масса (объем) теплоносителя, полученного по подающему трубопроводу и возвращенного по обратному трубопроводу за каждый час и нарастающим итогом;
- среднечасовая и среднесуточная температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;

В открытых системах дополнительно должны определяться масса теплоносителя, израсходованного на водоразбор в системах ГВС и среднечасовые давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах. Среднечасовые и среднесуточные значения параметров теплоносителя определяются на основании показаний приборов, регистрирующих параметры теплоносителя. Таким образом для учета тепловой энергии используется не просто комплект приборов, а измерительная система, с постоянным опросом датчиков, обработкой информации, архивированием этой информации и передачей на расстояние.

В Правилах учета тепловой энергии установлены следующие требования к приборам учета.

Теплосчетчики должны обеспечивать измерение тепловой энергии горячей воды с относительной погрешностью не более

- 5% при разности температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 20°C ;
- 4% при разности температур в подающем и обратном трубопроводах более 20°C.

При этом водосчетчики (или расходомеры) должны обеспечивать измерение массы (объема) теплоносителя с относительной погрешностью не более 2% в диапазоне расхода воды от 4 до 100%. Для приборов измеряющих температуру теплоносителя нормирована абсолютная погрешность, которая не должна превышать значений, определяемых по формуле:

$$\Delta t = \pm(0,6 + 0,004 \cdot t)$$

Указанная формула не согласуется с допусками на термометры сопротивления приведенными в ГОСТ Р 50353-92.

Приборы измерения давления должны иметь относительную погрешность не более 2%. Регистрация времени должна быть осуществляться с относительной погрешностью не более 0,1%.

Такие требования в полной мере соответствуют классам теплосчетчиков по МИ 2164-91. В МИ 2164-91 предлагается определять класс теплосчетчика только в зависимости от диапазона измеряемых разностей температур, хотя максимальная погрешность при вычислении тепловой энергии возникает тогда, когда расход и разность температур находятся на нижней границе динамического диапазона. МИ 2164-91 по сути является адаптированным переводом рекомендации МОЗМ (IR 75). Однако положения IR75 не учитывают особенностей систем теплоснабжения в России и рассчитаны только на закрытые системы теплоснабжения, а, кроме того, они устарели и уже не используются в Европе, т.к. введен Европейский стандарт EN1434, в котором даны различные требования по точности измерения к единым и составным теплосчетчикам.

В европейском стандарте регламентированы требования только для теплосчетчиков, реализующих уравнения измерений, предусмотренные EN 1434 для закрытых систем теплоснабжения, двух видов :

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} q_m \cdot \Delta h \cdot dt$$

а, в том случае, если прибор определяет объем, а не массу теплоносителя, используется уравнение с тепловым коэффициентом K , который функционально связан с температурой теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах и давлением в трубопроводе, в котором измеряется расход воды

$$Q = \int_{V_0}^{V_1} k \cdot \Delta \Theta \cdot dV$$

В зависимости от метрологических характеристик приборов измеряющих расход теплоносителя единые теплосчетчики могут быть трех классов точности – 1, 2 или 3 класса. Для составных теплосчетчиков максимально допустимую погрешность определяют арифметическим суммированием максимально допустимых погрешностей составных частей. Действующие в зарубежных странах закрытые системы теплоснабжения оснащаются теплосчетчиками, технические и метрологические характеристики которых отвечают требованиям EN 1434. В Российской Федерации теплоснабжение осуществляется преимущественно посредством открытых систем теплоснабжения, тепловой энергии. Для измерения тепловой энергии в открытых системах теплоснабжения используется почти в два раза больше приборов, чем в закрытых системах, поэтому положения EN 1434 не могут приниматься за нормы точности при оценивания погрешности измерения. Отсутствие исходных требований к точности измерений тепловой энергии, в случае открытых систем теплоснабжения, существенным образом осложняет нормирование метрологических характеристик средств измерений, которые используются в открытых системах теплоснабжения. Взамен МИ 2164-91 разработаны МИ 2573-2000, но этот документ регламентирует только методику поверки теплосчетчиков для водяных систем теплоснабжения, в которой нет требований к точности

теплосчетчиков. Требования к точности теплосчетчиков указаны в ГОСТ Р 51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические условия». Однако эти требования повторяют требования вышеуказанной EN 1434 и не применимы к открытым системам теплоснабжения.

5. Обзор теплосчетчиков.

В зависимости от конструктивного решения теплосчетчики подразделяются на единые, составные и комбинированные, в основу разработки которых положены разные физические явления. Единые представляют собой неразделяемый функциональный блок, например теплосчетчик «ЕЕМ-1» фирмы Данфосс. В России такие теплосчетчики не выпускаются, т.к. они рассчитаны только на закрытые системы. Составные теплосчетчики – это теплосчетчики состоящие из функциональных блоков, объединенные в средство измерения или измерительную систему общими требованиями, регламентированными в технической документации. Составные теплосчетчики представляют собой большую группу теплосчетчиков, которые используются в настоящее время. Примером таких теплосчетчиков являются ТСП фирмы «Взлет» (г.С.Петербург), ТСК-4 фирмы «Теплоком» (г.С.Петербург), ТС-06 или последняя разработка ТС-07 Арзамасского приборостроительного завода, (г.Арзамас), SA-94 ЗАО «Асвега-М» (г.Москва) и многие другие. Наиболее распространенные - комбинированные теплосчетчики, состоящие из функциональных блоков, объединенные в систему измерения на месте эксплуатации. Типичным представителем комбинированных теплосчетчиков являются теплосчетчики с расходомерами переменного перепада давления. Этот метод измерения расхода очень распространен и универсален, поскольку может измерять расход воды, а в случае, если теплоносителем является пар, то и пара, а вычислителем может быть не только специализированный тепловычислитель, но и персональный компьютер, при применении соответствующих преобразователей, например, комплексы измерительно-вычислительные «Спрут» АОЗТ «ОВ» (г.С.Петербург). Поскольку теплосчетчики по этой классификации представляют собой разноуровневые измерительные системы, то и требования к их точности разные. Наиболее точными являются единые теплосчетчики, т.к. при испытаниях и в эксплуатации это единый блок, который находится в одних и тех же условиях и подвергается одним и тем же влияниям. Комплект термометров в этих теплосчетчиках, как правило, подобранная пара, (в импортных теплосчетчиках это, промаркированная пара - для подающего трубопровода красного, а для обратного синего цвета), один расходомер и компактный вычислитель. Составные, а тем более комбинированные теплосчетчики, состоят из средств измерений зачастую изготовленных и испытанных на разных предприятиях. При испытаниях измерительные приборы подвергаются различным влияющим величинам, испытывается их износостойчивость, время реакции, глубина архивов, динамический диапазон, погрешность измерения и т.д. По результатам испытаний утверждается их класс и межповерочный интервал. Измерительная система, собранная из отдельных средств измерений, как правило, не испытывается совместно. Погрешность такого теплосчетчика может определяться только расчетным путем на основании погрешностей средств измерений, входящих в комплект теплосчетчика, а правила суммирования погрешностей должны быть оговорены в нормативных документах.

В настоящее время в государственный реестр включено более 150 типов теплосчетчиков. Комплект теплосчетчика состоит из датчиков (преобразователей расхода, температуры, давления) и тепловычислителя. Теплосчетчики различаются преобразователями расхода. Преобразователи расхода по принципу действия подразделяются на расходомеры переменного перепада давления, тахометрические, вихревые, электромагнитные, ультразвуковые. Наиболее простыми, с точки зрения метрологического обслуживания, являются расходомеры переменного перепада. Этот метод достаточно изучен и при соблюдении методики выполнения измерений

расхода по ГОСТ 8.563.2-97 и точности подобранных дифманометров-расходомеров обеспечивает точность не хуже 2%. Такие расходомеры устойчиво работают в условиях изменения режимов эксплуатации трубопроводных сетей (гидроударов), вибраций трубопроводов, изменений температуры окружающей среды, кроме того они не дороги в эксплуатации и обеспечены поверкой. Широко применяются электромагнитные расходомеры (ЭМР). Преимуществами ЭМР перед другими расходомерами являются: возможность измерения расхода теплоносителя практически с любой жесткостью, вязкостью и степенью загрязненности (внутренняя поверхность расходомера футерована фторопластом, на котором благодаря его свойствам к адгезии, не удерживаются отложения осадка накипи или ржавчины), нет потерь давления в трубопроводе, не требуются большие длины прямых участков. ЭМР имеют широкий диапазон измерения и при правильном подборе преобразователя обеспечивают измерение объема с относительной погрешностью от 0,5 до 2%. При подборе в пару ЭМР обеспечивают достаточно точный учет утечек теплоносителя. ЭМР метрологически обеспечены в эксплуатации – имеются имитаторы для их поверки. Применяются для измерения расхода теплоносителя ультразвуковые и корреляционные расходомеры. Для получения точных результатов измерения эти расходомеры должны использоваться при определенных скоростях потока, при отсутствии пузырьков воздуха в среде, при отсутствии коррозии трубопровода, при соблюдении требований к длинам прямых участков. Все ультразвуковые расходомеры чувствительны к различным помехам, требуют обязательного заземления, качество их измерения зависит от правильного монтажа и точности определения программируемых параметров прибора. При соблюдении всех перечисленных требований и тщательном техническом обслуживании они могут давать хорошие результаты. Тахометрические датчики расхода являются самыми дешевыми, но и наименее надежными в эксплуатации. Требуется установка магнитных и сетчатых фильтров, сетчатые фильтры забиваются грязью, появляются потери давления. Счетчики воды чувствительны к наличию перекоса при установке в трубопроводе. Низкое качество пластмассы приводит к выходу из строя подшипников турбинок и разрушению лопастей. После 2 лет эксплуатации 30% приборов нуждаются в регулировке. В жестких условиях эксплуатации погрешность 2% в течение межповерочного интервала большинство приборов не выдерживает. Вихревые преобразователи расхода конструктивно более просты, поэтому имеют большую эксплуатационную надежность, хотя они также требуют установки перед прибором магнитного фильтра.

На работоспособность и точность расходомеров влияют различные факторы, которые имеют место в реальных отечественных системах теплоснабжения.

1. Вследствие отложения осадков изменяется проходное сечение трубопровода. Сужение сечения рабочего участка трубопровода вызывает изменение режима течения жидкости и влияет на характеристики преобразования и погрешность расходомеров практически всех типов. В меньшей степени это сказывается на характеристиках тахометрических и электромагнитных расходомеров. В большей – на характеристиках ультразвуковых и вихревых расходомеров, поскольку для этих расходомеров диаметр проходного сечения является опорной величиной. С помощью ультразвуковых толщиномеров размер отложений определить невозможно из-за неопределенности химического состава отложений, их пористости и плотности, а следовательно и корректировка их показаний в процессе эксплуатации невозможна.
2. В воде содержится большое количество взвешенных твердых частиц, которые не улавливаются фильтрами, т.к. покрыты консистентной смазкой (продукты разрушения сальниковых уплотнений насосов, подшипников, прокладок). Твердые частицы наиболее опасны для вихревых расходомеров с электромагнитным преобразованием флуктуаций скорости в электрический сигнал. Они могут ухудшить электрический контакт токосъемников с измеряемой средой.
3. Попадание нефтепродуктов после проведения ремонтных работ в летний период особенно влияет на работу электромагнитных расходомеров, работающих на электромагнитном принципе, механизм воздействия – потеря электрического

контакта со средой. При интенсивной циркуляции горячей воды обычно происходит самоочистка электродов, однако в некоторых случаях необходима отмывка растворителями (бензин, ацетон, спирт).

4. Внутренние поверхности расходомеров после эксплуатации покрываются отложениями ржавчины, что очень влияет на работу электромагнитных расходомеров, т.к. у них снижается чувствительность по отношению к «чистому» на 5%. Для вихревых расходомеров это не представляет опасности, поскольку мерой расхода в них является частота вихреобразования, а потеря чувствительности легко компенсируется изменением коэффициента усиления.
 5. Наличие пульсаций давления и расхода, вызываемых большими гидравлическими сопротивлениями в значительной степени влияют на работу вихревых расходомеров, т.к. в случае зашумленного сигнала простой подсчет импульсов, генерируемых преобразователем, может привести к очень большой погрешности измерений расхода. Вибрации трубопроводов ухудшают работу ультразвуковых расходомеров с многоходовым треком луча, т.к. могут полностью расфокусировать систему отражателей.
 6. Скачки напряжения в сети питания, вызванные включением насосов большой мощности, помехи сетевой частоты, отсутствие качественного контура заземления представляют опасность для электромагнитных ультразвуковых расходомеров.
 7. Образование в системе теплоснабжения двухфазного потока плохо переносят все расходомеры, особенно вихревые с ультразвуковым преобразованием энергии.
- Из перечисленного выше следует, что расходомер на поверочном стенде и в реальном контуре теплоснабжения – это не одно и то же. Все перечисленные факторы влияют на расхождение показаний расходомеров на подающем и обратном трубопроводах даже в закрытой системе.

Для измерения температуры теплоносителя в теплосчетчиках как правило используются подобранные попарно комплекты платиновых термометров сопротивления, погрешность которых при измерении разности температур достигает 0,1%. Это обусловлено высокой стабильностью во времени платиновых термометров сопротивления. Допускается применение в узлах учета некомплектных термопреобразователей, которые отвечают требованиям Правил, однако применение согласованной пары термопреобразователей позволяет достичь наилучших результатов точности измерения температуры теплоносителя. Проведение индивидуальной градуировки термопреобразователей позволяет определить индивидуальную характеристику, а современные тепловычислители способны учесть эти поправки.

У всех современных теплосчетчиков тепловычислитель представляет собой микроЭВМ с устройством ввода-вывода, хранения, индикации и регистрации данных. Минимальные возможности такого вычислителя: три измерительных канала на входе (расходомер и два термопреобразователя), несколько внешних устройств на выходе: принтер, порты RS-232, RS-485, несколько токовых или импульсных каналов, архив достаточной глубины для хранения вычисляемой информации, ЖК-дисплей и кнопка для выбора и просмотра данных. Для проверки правильности занесенной в программу теплосчетчика исходной информации: характеристик приборов, числовых констант, алгоритма вычислений, достаточно подключить на вход тепловычислителя имитационные сигналы и осуществить тестовый расчет. Как правило, тепловычислитель менее всего подвергается различным влияющим на его работу факторам, и его погрешность не изменяется от времени эксплуатации, могут быть лишь технические отказы.

Одной из основных организаций в Санкт-Петербурге, производящих проектирование, изготовление, монтаж, наладку, сдачу в эксплуатацию, а также реконструкцию, ремонт и обслуживание узлов учета тепловой энергии и тепловых центров со встроенными узлами учета, является Производственное, научно-исследовательское и проектно-конструкторское учреждение (ПНИПКУ) "Венчур" (см. Приложение).

6. Анализ погрешностей средств измерений, входящих в состав теплосчетчика.

Определение количества теплоты осуществляется косвенным методом, путем вычислений по результатам прямых измерений массового или объемного расхода, температуры теплоносителя и его физических свойств. Особенностью косвенных измерений является то, что погрешность теплосчетчика определяется не только погрешностью СИ, но и диапазоном измеряемых параметров и сочетаниями текущих значений расходов и температур. Оценивать погрешность косвенного измерения можно исходя из разных предпосылок относительно характера погрешности – случайная, систематическая постоянная или переменная, вида распределения погрешности, зависимости между частными погрешностями в связи с тем, что они находятся под влиянием некоторых общих факторов, в первую очередь температуры и давления теплоносителя. Основным источником погрешностей при измерении тепловой энергии являются средства измерений, участвующие в процедуре измерения. Рассмотрим возможный вклад в погрешность каждого из приборов теплосчетчика.

Большинство теплосчетчиков не используют датчики измерения давления. Это связано с тем, что изменение давления в трубопроводе незначительно и его значение вводят в вычислитель, как константное значение. Кроме того, определение энтальпии воды по константному, а не измеренному значению давления, не вносит значительной погрешности. Реализация вычисления тепловой энергии с использованием формул определения энтальпии воды h и плотности ρ по МИ2412-97, учитывающих влияние давления в трубопроводе, довольно затруднительно. Влияние неучета давления воды на показания теплосчетчика можно определить по формуле:

$$\delta_h = \frac{h(t, p_0) - h(t, p)}{h(t, p)} \cdot 100\% \quad (1)$$

где p_0 – неизменное давление, относительно которого вычисляется δ_h ;

p – изменяющееся давление;

$h(t, p_0)$ и $h(t, p)$ – значения энтальпии, вычисленные по Международной системе уравнений (Ривкин).

Расчет показал, что при изменении давления на 50% изменение энтальпии не превышает $\pm 0,2\%$. Погрешность вычисления тепловой энергии от неучета влияния давления можно определить по формуле:

$$\delta_Q = \frac{Q_p - Q_d}{Q_d} \cdot 100\% \quad (2)$$

где Q_p – тепловая энергия без учета изменения давления;

Q_d – тепловая энергия с учетом изменения давления.

Значения Q_p и Q_d вычисляются по формулам:

$$Q_p = V\rho(t_1, p_{01}) \cdot (h_1(t_1, p_{01}) - h_2(t_2, p_{02})) \quad (3)$$

$$Q_d = V\rho(t_1, p_1) \cdot (h_1(t_1, p_1) - h_2(t_2, p_2)) \quad (4)$$

где V – объемный расход;

p_{01} , p_{02} – неизменные значения давлений, относительно которых вычисляется погрешность δ_Q ;

p_1, p_2, t_1, t_2 – изменяющиеся давление и температура;

ρ , h_1, h_2 – плотность и удельная энтальпия воды.

Расчеты показывают, что погрешность вычисления тепловой энергии в большей степени зависит от разности температур, возрастая с уменьшением Δt , а при изменении δp в диапазоне $\pm 50\%$, методические погрешности не превышают $\pm 0,1\%$.

Погрешность определения энтальпии теплоносителя в теплосчетчике равна сумме погрешностей измерения по каналу измерения температуры, давления и вычисления энтальпии. Как показал вышеприведенный расчет в основном погрешность определения энтальпии δ_h обусловлена погрешностью измерения температуры. Реально измеряемой величиной является температура, а энтальпия – это промежуточная величина, которую вычислитель определяет по значению измеренной температуры и константному значению давления, поэтому для теплосчетчика можно принять, что относительная погрешность определения энтальпии равна погрешности измерения температуры.

В теплосчетчиках обычно применяются платиновые термометры сопротивления, требования к которым установлены в ГОСТ 6651-94. В России чаще используется платина W_{100} со значением 1,3910, хотя в ГОСТ 6651-94 на термопреобразователи сопротивления имеется и значение W_{100} равное 1,3850. Импортные теплосчетчики укомплектованы термопреобразователями сопротивления с основным значением $W_{100} = 1,3850$, т.к. платина с значением $W_{100} = 1,3850$ имеет более стабильную градуировку. ГОСТ 6651-94 регламентирует номинальную статическую характеристику (НСХ) для трех классов термопреобразователей – А, В и С. Классы допуска термопреобразователей указывают границы систематической погрешности, зависящей от текущего значения измеряемой температуры. Эти границы описываются формулой вида:

$$dt(t) = \pm(A + Bt) \quad (5)$$

где $dt(t)$ – абсолютная погрешность измерения температуры;
 t – измеряемая температура, °С.

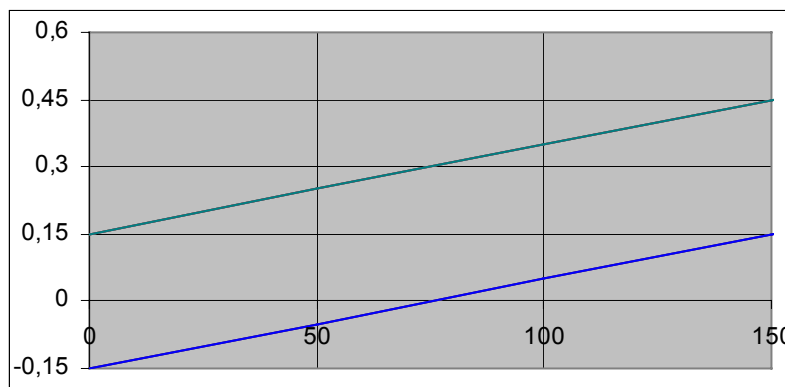


Рис.1. Границы допуска термопреобразователей класса А

Для платиновых термометров сопротивления (ТСР) предел допускаемого отклонения сопротивления от НСХ составляет:

$$\text{класс А} \quad \pm(0,15 + 0,002 \cdot |t|) \quad (6)$$

$$\text{класс В} \quad \pm(0,3 + 0,005 \cdot |t|) \quad (7)$$

$$\text{класс С} \quad \pm(0,6 + 0,008 \cdot |t|) \quad (8)$$

В соответствии с Правилами в теплосчетчиках допускается применять термометры класса допуска не хуже В. Это связано с тем, что при измерении разности температур погрешность измерения разности отдельными термометрами может составить несколько процентов. Например, в случае закрытой системы теплоснабжения вклад термометров в погрешность теплосчетчика будет равна:

$$\delta Q(t) = \frac{dt_1 - dt_2}{t_1 - t_2} \quad (9)$$

Т.е. погрешность определяется алгебраической разностью погрешностей dt_1 и dt_2 , а сами погрешности dt_1 и dt_2 зависят от измеряемых температур t_1 и t_2 . Максимальную погрешность вклада пары термометров в погрешность теплосчетчика можно рассчитать подстановкой в формулу (9) уравнений верхней и нижней границ области возможных значений погрешности термометров по формуле (5). Значения погрешности пары термометров разных классов и для разных диапазонов разности измеряемых температур в подающем и обратном трубопроводах приведены ниже:

	Класс А	Класс В
$\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	1,5%	3,3%
$\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$	5,2	11,5

Поэтому термометры для теплосчетчиков при изготовлении подбирают в пары с близкими характеристиками. Близость характеристик достигается жестким допуском на отличие сопротивлений R_0 и чувствительности W_{100} . Соотношение между температурой и сопротивлением каждого отдельного датчика в паре не должно отличаться от значений, указанных для классов А и В больше чем на $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Согласно ГОСТ 6651-94 и МЭК-751 интерполяционное уравнение для ТСП в диапазоне от 0 до $600 \text{ }^\circ\text{C}$ имеет вид:

$$W(t) = 1 + At + Bt^2 \quad (9)$$

где А и В коэффициенты градуировки.

Так как $W(t) = R_t / R_0$, то уравнение (9) может быть представлено в виде:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (10)$$

Где R_t и R_0 – сопротивление ТСП соответственно при температуре t и $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Сопротивление R_t в соответствии с уравнением (10) зависит только от величины номинального сопротивления R_0 и коэффициентов А и В, значит при комплектовании пар ТСП возможны следующие варианты:

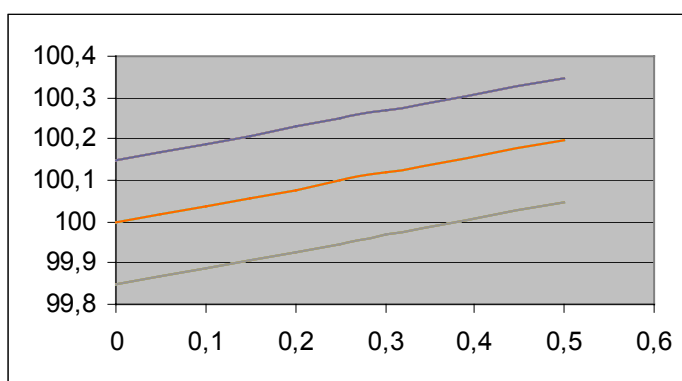


Рис.1. Различные значения R_0 при равных коэффициентах А и В, (равных W_{100}). НСХ

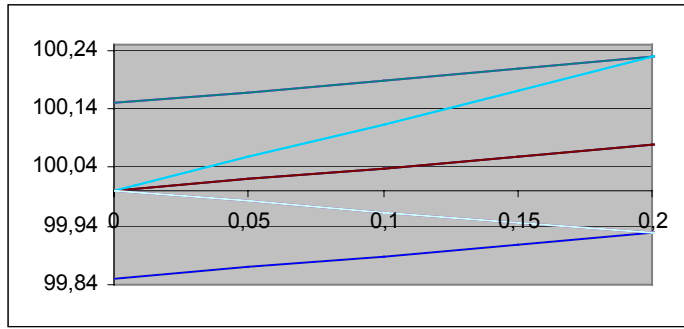


Рис.2. Различные коэффициенты А и В при одинаковых значениях R_0 . НСХ .

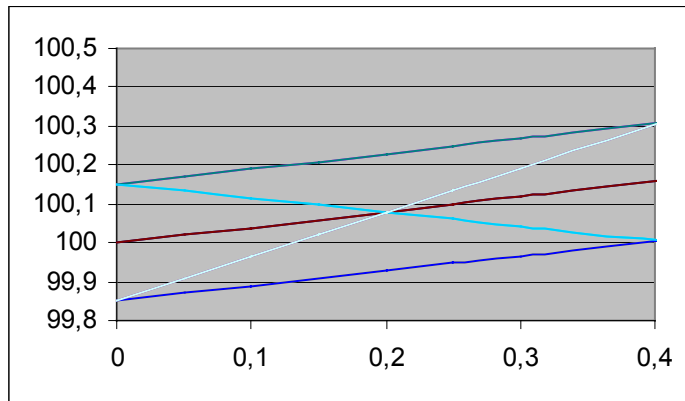


Рис.3. Термометры сопротивления различаются по R_0 и по величинам коэффициентов А и В. На практике такой вариант встречается наиболее часто.

Поскольку третий вариант комплектования термометров сопротивления представляет комбинацию первых двух вариантов, то основная погрешность обусловлена двумя составляющими R_0 и W_{100} . Например, для пары термометров 100П комплекта КТСРП допуск на R_0 равен $\pm 0,015$ Ом, что в температурном эквиваленте соответствует $\pm 0,0375$ К, а допуск на различие чувствительности не превышает $\pm 0,0001$, что в температурном эквиваленте соответствует различию показаний при 100 °С в пределах $\pm 0,0263$ К. Т.о. погрешность этой пары термометров описана уравнением:

$$dt = \pm(0,0375 + 0,000263 \cdot |t|) \quad (11)$$

Подставив в формулу (9) значения погрешностей, рассчитанных по этому уравнению, можно определить вклад погрешности измерения температуры пары КТСРП в погрешность теплосчетчика:

$\Delta t = 40$ °С	0,32 %
$\Delta t = 10$ °С	1,2 %

Погрешность пары датчиков при измерении разности температур нормируется в зависимости от диапазона разности измеряемых температур. Как правило, это диапазон по Δt от 5 до 10 °С, от 10 до 20 °С и от 20 до 155 °С. Полученный результат погрешности для $\Delta t = 40$ °С равный 0,32% удовлетворителен, но для $\Delta t = 10$ °С погрешность 1,2% достаточно велика, т.к. из допускаемой погрешности на теплосчетчик в 4% на долю всех остальных блоков остается 2,8%. Уравнение (11) описывает границы погрешности пары термометров, но не дает сведений о том, как

располагаются внутри этих границ кривые погрешностей - положительна разность погрешностей или отрицательна, возрастает она с температурой или уменьшается. Поскольку погрешность измерения разности температур зависит не только от погрешности пары датчиков, но и от диапазона измеряемых температур, то для уменьшения погрешности важно знать индивидуальные характеристики термометров при подборе их в пару.

Такая методика предложена в журнале ИТ №11 за 1999 год профессором П.В.Новицким.

В общем случае для открытой системы теплоснабжения с отбором ГВС вычислитель теплосчетчика определяет количество теплоты по формуле:

$$Q = M_1 h_1 - M_2 h_2 \quad (12)$$

Если не учитывать изменения теплоемкости воды, которое в диапазоне изменения давления от 0 до 8 кгс/см² и изменения температуры от 40 до 120 °С не превышает 0,4 %, т.е. полагать $h_1 = c t_1$ и $h_2 = c t_2$, то формулу (12) можно записать в виде:

$$Q = c \cdot (M_1 t_1 - M_2 t_2) \quad (13)$$

Поскольку численное различие выражений (12) и (13) составляет не более 0,4%, такой погрешностью можно пренебречь. Взяв дифференциал выражения (12), можно определить относительную погрешность измерения тепловой энергии:

$$\delta(Q) = \frac{dQ}{Q} = \frac{dM_1 t_1 + M_1 dt_1 - dM_2 t_2 - M_2 dt_2}{M_1 t_1 - M_2 t_2} \quad (14)$$

При условии $dM_1 = dM_2 = 0$, получим выражение для погрешности определения тепловой энергии, обусловленной систематическими погрешностями dt_1 и dt_2 термометров:

$$d(Q)_T = \frac{M_1 dt_1 - M_2 dt_2}{M_1 t_1 - M_2 t_2} \quad (15)$$

или после деления всех членов этого выражения на M_1

$$\delta(Q)_T = \frac{dt_1 - (M_2 / M_1) dt_2}{t_1 - (M_2 / M_1) t_2} \quad (16)$$

а для закрытой системы (при $M_1 = M_2$):

$$\delta(Q)_T = \frac{dt_1 - dt_2}{t_1 - t_2} \quad (17)$$

Как видно из формулы (17) наибольшая погрешность, вносимая парой термометров в погрешность теплосчетчика как для закрытых так и для открытых систем теплоснабжения, определяется алгебраической разностью абсолютных погрешностей, а сами погрешности изменяются с изменением температур. Погрешность $\delta(Q)_T$, вносимая парой термометров в погрешность определения тепловой энергии, находится подстановкой в выражение (17) значений индивидуальных погрешностей каждого термометра для текущих значений температур. Исходя из этого, требование к согласованной паре термометров состоит в том, чтобы при разных рабочих температурах t_1 и t_2 выполнялось условие равенства абсолютных погрешностей термометров, как по значению, так и по их знаку. Только это условие обеспечит минимальный вклад пары термометров в погрешность определения тепловой энергии. Совпадение индивидуальных

характеристик погрешности термометров свидетельствует о постоянстве погрешности пары термометров и независимости от перестановки местами, а не о малом вкладе термометров в погрешность теплосчетчика. Для обеспечения минимальной погрешности требуется взаимная коррекция погрешностей, что достигается при равенстве dt_1 и dt_2 пары термометров при любом сочетании измеряемых температур в определенном диапазоне. При расположении характеристик пары термометров как на рис.4. это не обеспечено: термометр t_1 измеряет температуру $90\text{ }^\circ\text{C}$, при которой его погрешность $dt_1 = 0,18\text{ }^\circ\text{C}$, а термометр t_2 измеряет температуру $30\text{ }^\circ\text{C}$, при которой его погрешность $dt_2 = -0,1\text{ }^\circ\text{C}$. Эти погрешности не компенсируют друг друга, их разность равна $0,28\text{ }^\circ\text{C}$. Для обеспечения взаимной коррекции погрешностей характеристики термометров должны не совпадать, а располагаться, как это показано на рис.5. Здесь, например, при зимнем режиме теплоснабжения $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$ погрешность термометра горячей воды $dt_1=0,075\text{ }^\circ\text{C}$, температура обратной воды $t_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ погрешность термометра тоже равна $dt_2=0,075\text{ }^\circ\text{C}$. В результате этого погрешности компенсируются. После перехода на осенне-весенний режим теплоснабжения температуры принимают, например, значения $t_1=60\text{ }^\circ\text{C}$, а $t_2 = 40\text{ }^\circ\text{C}$. На рис.5 характеристики термометров расположены так, что и при этих температурах погрешности обоих термометров равны между собой и тоже полностью компенсируются. В моменты перехода теплосети с одного режима на другой обе температуры изменяются достаточно синхронно и рабочие точки термометров перемещаются вдоль участка их характеристик. Недостаток пары, подобранной по рис.5 состоит в том, что она дает близкую к нулю погрешность только при данном расположении термометров, а при перестановке их местами погрешность определения тепловой энергии существенно возрастает. Для устранения этого недостатка требуется указать места размещения пары в подающем и обратном трубопроводах, промаркировав их. Для уменьшения зависимости погрешности, вносимой согласованной парой, от перестановки термометров, необходимо, чтобы обе характеристики были почти горизонтальными, рис.6. Практическое ограничение использования такого правила подбора согласованных пар вызвано тем, что термометры с горизонтальными индивидуальными характеристиками встречаются редко. Но для достижения погрешности $0,2 - 1,0\%$ достаточно, чтобы характеристики термометров в диапазоне температур $30-70\text{ }^\circ\text{C}$ пересекались при небольшом наклоне, как на рис.7. Хотя характеристики этих термометров совпадают лишь в точке пересечения, погрешность такой пары остается достаточно малой. Таким образом, критерием подбора согласованных пар термометров является не идеальная близость характеристик термометров на протяжении всего диапазона изменения температур, а малый вклад в погрешность определения тепловой энергии. Сравнение рисунков показывает, что пары с пересекающимися характеристиками дают меньшие погрешности при определении тепловой энергии. Подбор пар должен проводиться, исходя из погрешности пары термометров, вносимой в погрешность определения тепловой энергии по формуле (17): для класса 2,0 не более 2% при $t_1 - t_2 = 5\text{ }^\circ\text{C}$ и не более 1% при $t_1 - t_2 \geq 10\text{ }^\circ\text{C}$, для класса 1,0 соответственно, не более 1 и $0,5\%$ и для класса 0,5 не более $0,5$ и $0,25\%$. Для подбора пар термометров с указанными критериями имеется программа, которая перебирает все возможные сочетания пар из имеющейся группы термометров. При таком подборе согласованных пар термометров достаточно вычислять погрешность только для четырех значений разности температур $5, 10, 20$ и $40\text{ }^\circ\text{C}$, т.к. при больших разностях погрешность пары монотонно уменьшается. Подобранная пара термометров изменяет погрешность при перестановке их местами, поэтому программа вычисляет погрешность для одного и другого размещения термометров на трубопроводах, определяет наименьшую, и термометры маркируются для использования в конкретном трубопроводе. Например, импортные пары термометров имеют красную и синюю проводку, соответственно для подающего (горячего) и обратного (холодного) трубопроводов.

Недостатком этого метода является то, что с течением времени характеристики термометра изменяются. Скорость этих изменений максимальна сразу после

изготовления и экспоненциально уменьшается с течением времени, т.е. характеристики постепенно стабилизируются. Для ускорения стабилизации рекомендуется выдерживать термометры при повышенной температуре (80-100 °С). Термопреобразователи сопротивления при эксплуатации в узлах учета тепла находятся именно в условиях естественного старения, т.е. обладают прогрессирующей погрешностью. Для определения размера и знака прогрессирующей погрешности необходимо знать годовые приросты погрешности. Эта информация хранится в протоколах ежегодных поверок термометров сопротивления, и ею можно воспользоваться для обеспечения непрерывной диагностики метрологической надежности каждого блока. По результатам поверки термометр одного класса может перейти в другой класс точности. Если при поверке определяется фактическая кривая абсолютной погрешности и сравнивается с допустимыми для данного класса границами, чтобы получить заключение о годности в определенном классе, то при индивидуальной градуировке в качестве заключения должно быть дано описание самой кривой изменения действительного значения абсолютной погрешности в виде формулы.

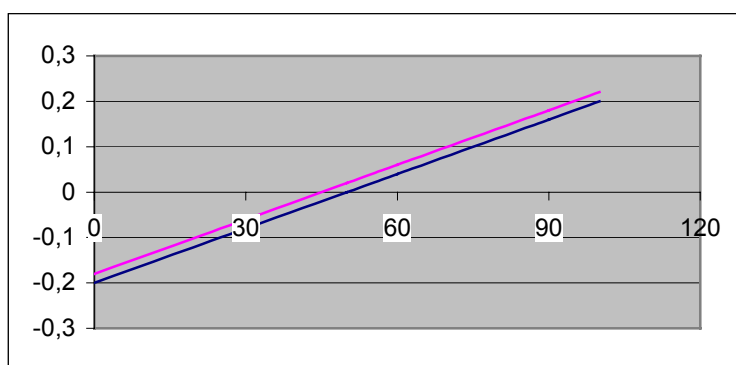


Рис.4. При совмещении характеристик

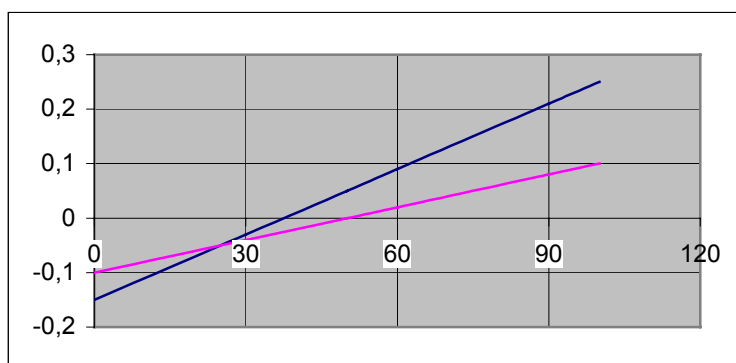


Рис.5 При существенном различии наклонов

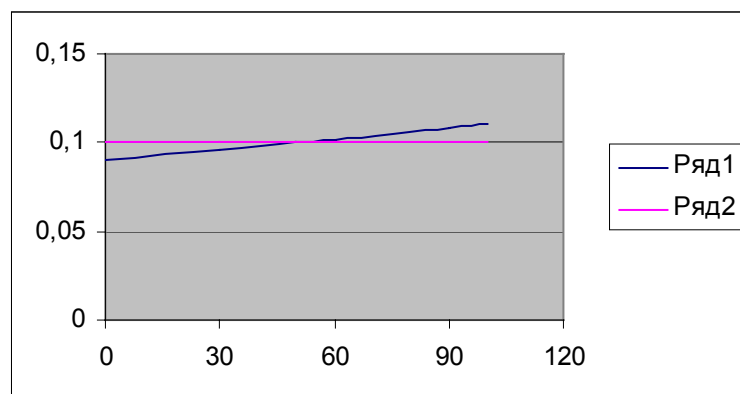
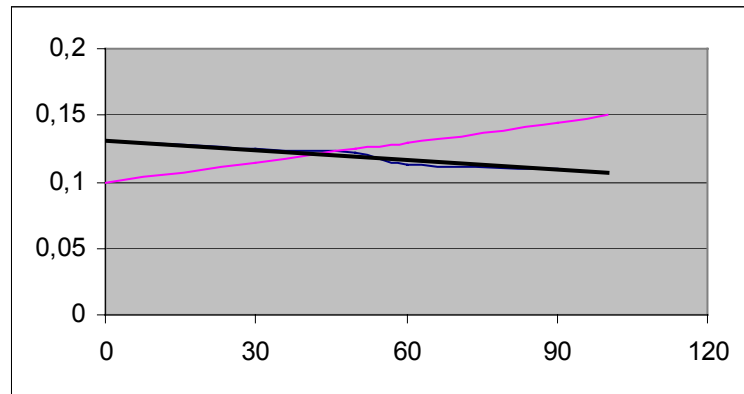


Рис.6. При очень малых наклонах

Рис.8. При пересечении характеристик

При определении индивидуальных характеристик действительной погрешности изменяются требования к точности их определения. Один из способов – это увеличение дискретности (количество значащих цифр) при определении характеристик термометров. Коэффициенты формул для описания границ области допускаемых погрешностей принято выражать лишь двумя значащими разрядами. Но в формулах допускаемой погрешности при индивидуальной градуировки термопреобразователей сопротивления коэффициенты необходимо указывать со знаками и тремя значащими цифрами. Другой способ предложен в журнале Приборы №3 2000г. В.А.Медведевым (Ростест, Москва) – повысить точность образцовых



средств измерений в три раза. Кроме того, этот же автор предлагает определять индивидуальную статическую характеристику термометров не по двум точкам диапазона (0 и 100 °С), а по трем точкам. Для точного описания характеристики, которая является квадратичной (зависимость R от t), нужно решить систему трех уравнений для каждого термопреобразователя. Процедура расчета значения погрешности при заданных температурах сводится к расчету значений сопротивлений при этих температурах с использованием индивидуальных значений R_0 , A и B для каждого термопреобразователя и к вычислению по этим значениям величин температур t_1 и t_2 по формуле (10) с использованием номинальных значений R_0 , A и B из ГОСТ 6651-94. Для упрощения расчетов предлагается программа. Это позволит иметь более точную индивидуальную характеристику термопреобразователей сопротивления, а современные тепловычислители могут преобразовывать сигналы от термопреобразователей сопротивления и вычислять температуру по обратному интерполяционному уравнению, например, такую функцию имеют тепловычислители фирмы Логика.

В международном стандарте на теплосчетчики EN 1434 установлены требования к точности пар термометров сопротивления формулой вида:

$$E_t = \pm(0,5 + \Delta\Theta_{\min} / \Delta\Theta) \quad (18).$$

где E_t отражает соотношение измеренного значения с условно истинным значением отношения измеренного сигнала парой термометров и разностью температур ($\Delta\Theta$). Международный стандарт рекомендует при подборе пар термометров использовать систему трех уравнений для вычисления трех констант в уравнении зависимости сопротивления от температуры. После определения индивидуальной статической характеристики каждого термометра определяют погрешность пары для наименьшего температурного диапазона и в пределах разности температур. Критерием подбора пар является формула (18). Проект Российского ГОСТа на комплекты термопреобразователей сопротивления также принял эти требования.

Наибольший вклад в погрешность теплосчетчика вносят расходомеры. Используемые в составе теплосчетчиков расходомеры или водосчетчики – это как правило несогласованные между собой средства измерений. Причем, как указывалось выше, в процессе эксплуатации имеется множество факторов, влияющих на их точность. Как и в случае с термометрами, согласованность расходомеров могла бы существенно снизить вклад погрешности расходомеров в общую погрешность теплосчетчика. Однако изготовление и поверка расходомеров в подавляющем большинстве проводится индивидуально каждого. В настоящее время появились теплосчетчики укомплектованные подобранными попарно расходомерами, например SKM фирмы Катра и MT200 фирмы Взлет, но после эксплуатации в течение одного отопительного периода их характеристики требуют подстройки. Эти приборы, в отличие от термопреобразователей, имеют регулировочные органы, и согласование их характеристик достигается не подбором, а регулировкой нуля и чувствительности, но нет статистики о том, как долго приборы сохраняют свои характеристики неизменными. Поэтому такой «подборанной паре» трудно доверять. В соответствии с Правилами на долю водосчетчиков и расходомеров должно приходиться не более 2% погрешности. Обеспечить такую погрешность во всем диапазоне измерений могут обеспечить далеко не все расходомеры. Например, широко используемые расходомеры переменного перепада давления не могут обеспечить высокой точности, т.к. ограничены пределом дифманометра и могут использоваться лишь в узком рабочем диапазоне расходов. Для расчета погрешности теплосчетчика необходима относительная погрешность измерения расхода. При малых значениях разности расходов относительная погрешность результата измерения может быть настолько велика, что получаемые данные находятся за порогом чувствительности данного метода косвенных измерений, и вообще не несут информации о действительном значении измеряемой величины. Подбор пар расходомеров с близкими характеристиками столь же эффективен для снижения методической погрешности теплосчетчика, как и подбор пар термометров. Особенность многократного возрастания погрешности разностей двух измеренных

величин характерна для всех операций вычитания, выполняемых алгоритмом работы узла учета, поэтому кроме применения согласованных пар термопреобразователей и расходомеров, остается возможность поиска такого метода косвенных измерений, в алгоритме которого нет операций вычитания.

7. Оценки погрешности измерений тепловой энергии

Теоретические основы и практические методы по обработке и метрологической оценке погрешностей измерений были заложены выдающимся ученым профессором Санкт-Петербургского технического университета, действительным членом Метрологической академии, заслуженным деятелем науки и техники П.В.Новицким. В его многочисленных монографиях и книгах, статьях и докладах описаны не только вопросы теории погрешностей и динамики приборов, но и изложены практические методы оценки результатов измерений. Причем приводятся примеры, начиная с простейших расчетов по паспортным данным используемых средств измерений и кончая обработкой и оценкой более сложных многофакторных измерений. Исследованиями в этой области занимались такие известные ученые Санкт-Петербурга как В.Г.Кнорринг, Г.Н.Солопченко, Ю.В.Тарбеев, В.И.Мишустин, Ж.Ф.Кудряшова, А.И.Походун, Г.А.Кондрашкова, а также Москвы (ВНИИМС) М.А.Земельман, А.И.Лисенков, Б.М.Беляев. В результате исследований были разработаны нормативно-технические документы, которые, как правило, используют сложный подход к оценке погрешностей тепловой энергии и не учитывают особенностей систем теплоснабжения и не дают однозначных результатов.

Вопросам оценки погрешности измерений тепловой энергии особенно в последнее время уделяется много внимания. Это связано с необходимостью точного измерения отпуска и потребления энергоресурсов, постоянным повышением их стоимости, необходимостью их экономии и сведения балансов между поставщиком и потребителем. Имеется много различных предложений о том, как рассчитать погрешность, как свести баланс и даже как распределить ее между сторонами. Однако большинство рекомендаций имеют противоречивый характер и не вносят окончательной ясности в эти вопросы. Одним из основных вопросов, по которому не достигнуто единства среди специалистов - это вопрос о том, как следует оперировать значениями погрешностей приборов, входящих в состав теплосчетчика, при вычислении результирующей погрешности. Согласно сложившейся практике в большинстве случаев применяется геометрический метод суммирования погрешностей (за результирующую погрешность принимают значение квадратного корня из суммы квадратов значений погрешностей приборов, составляющих теплосчетчик). Геометрическое суммирование вполне оправдано при оценке случайных погрешностей, когда ни величина, ни знаки ее составляющих неизвестны, заданы лишь границы, внутри которых могут находиться действительные значения погрешностей измеряемых величин. Однако особенностью измерения количества тепла и теплоносителя является то, что это измерения интегральные, они измеряются нарастающим итогом, следовательно, случайные погрешности промежуточных результатов измерений компенсируются и на окончательные результаты измерений оказывают влияние в основном систематические погрешности. Для оценки погрешности окончательных результатов измерений нет единой модели, поэтому предлагаются различные варианты.

В многочисленных публикациях и выступлениях профессор Новицкий П.В. , а также ряд авторов предлагают проводить индивидуальную градуировку и подбор пар термопреобразователей и расходомеров по критерию наименьшего вклада их погрешности в погрешность теплосчетчика. В алгоритме работы теплосчетчика производится операция определения разности двух величин трижды: разность температур, разность расходов и разность тепловых мощностей. Методические погрешности, зависящие от применения того или иного метода измерения разности температур, разности расходов, разности тепловых мощностей, проявляются в теплосчетчиках не в том, что к сумме инструментальных погрешностей

используемых средств измерений добавляется какая-то определенная «методическая погрешность», а в том, что относительная погрешность определения разностей оказывается больше инструментальных погрешностей используемых средств измерений в K раз, где K – методический коэффициент, зависящий от соотношения расходов и температур и многократно увеличивающий погрешность результата измерений. Каждый раз при определении разностей относительные величины могут быть значительно больше погрешностей измеряемых величин, поэтому единственным путем построения теплосчетчиков в этих условиях является подбор пар приборов, входящих в состав теплосчетчика. Измерительные блоки узлов учета (термометры, преобразователи расхода, вычислители) могут иметь как систематические, так и случайные погрешности. В основу определения количества тепловой энергии и теплоносителя узлом учета положен принцип суммирования многих тысяч отдельных отсчетов. Поэтому центрированные случайные погрешности всех блоков узла учета в показаниях накопленных сумм практически отсутствуют, т.к. глубоко усредняются при интегрировании. Например, в теплосчетчиках фирмы Логика серии СПТ происходит вычисление тепловой энергии 1 раз за 4 секунды, т.е. 21600 отсчетов в сутки. При случайной погрешности каждого отсчета в 1% погрешность суточного отсчета составит 0,007%, т.е. подавляется в 150 раз. Согласно ГОСТ 8.207 существенной остается только систематическая погрешность, ее оценка должна проводиться на основании суммирования систематических погрешностей измерительных блоков, и на величину этой систематической погрешности следует корректировать результат измерения. Но при поверке не определяются размеры и знаки подлежащих суммированию систематических погрешностей, а определяется лишь соответствие характеристик приборов технической документации, (т.е. укладываются ли характеристики прибора в допускаемые пределы погрешности для приборов этого класса), Это значит, что процесс поверки не годится для определения индивидуальной характеристики прибора и определения систематической погрешности. Для проведения индивидуальной градуировки приборов должны быть разработаны специальные методики, с указанием числа серии измерений, способа обработки результатов измерений, и результаты индивидуальной градуировки должны быть выражены как многофакторная функция изменения погрешности в пространстве соответствующей размерности. Если погрешность определения количества тепловой энергии или количества теплоносителя определять алгебраической суммой систематических погрешностей блоков узла учета, которые изменяются при изменении измеряемых расходов и температур теплоносителя, то выявленные систематические погрешности блоков для расчета суммарной погрешности должны быть представлены соответствующими формулами в функции от измеряемых расходов и температур. Таким образом, для всех блоков необходимо получить зависимости действительных значений систематических погрешностей этих блоков от сочетаний значений измеряемых величин. Причем такие зависимости, по которым можно было бы рассчитать действительные погрешности определения тепловой энергии при любом сочетании температур и расходов теплоносителя. Поскольку оценка результирующей погрешности измерения количества тепловой энергии образуется как алгебраическая сумма вкладов погрешностей используемых пар термометров и расходомеров с учетом их знаков, то перестановка местами двух термометров или двух расходомеров приводит к изменению знака вклада их погрешности на противоположный. Вследствие этого перестановка местами элементов пары, например термометров, или корректирует вклад погрешности расходомеров и уменьшает результирующую погрешность, или, наоборот, существенно ее увеличивает. В этом случае взаимозаменяемость составляющих блоков принципиально недопустима, а размещение комплекта на трубопроводе должно осуществляться с указанием индивидуальных номеров. Однако, автор статьи в ИТ №4 1998 год А.А.Вакулин, считает что, для предприятий с низкой тепловой нагрузкой выполнение этого требования может оказаться экономически нецелесообразным. В отличие от относительной погрешности определения расхода количества тепла, которая неограниченно возрастает с уменьшением разности

температур и разности расходов в подающем и обратном трубопроводах, абсолютная погрешность определения тепловой энергии и связанные с ней экономические потери с уменьшением dt и dG , напротив, снижаются. Поэтому, финансовые затраты на приобретение первичных преобразователей с высоким классом точности или тщательно подобранных пар преобразователей могут не окупиться за счет повышения точности теплоучета.

Кроме применения подобранных пар термометров и расходомеров остается возможность поиска таких методов косвенных измерений, в алгоритме которых не содержится операций вычитания. Для преодоления этого на практике устанавливают дополнительный расходомер $G_{ГВС}$. Теплосчетчик с расходомером в обратном трубопроводе измеряет количество потребленной тепловой энергии, а другой теплосчетчик с расходомером в трубопроводе ГВС измеряет $Q_{ГВС}$, и тогда в алгоритме вычисления результата измерения остается только сложение.

$$Q = G_1(t_1 - t_2) + G_{ГВС}(t_2 - t_{xв}) \quad (20)$$

Методика оценивания погрешности измерения потребленной тепловой энергии по такому алгоритму описана в проекте ГОСТ группой авторов (И.В.Кузник, М.Ю.Тиунов, В.А.Брюханов) ИВК Саяны.

В качестве модели погрешности измерений каждого из параметров теплоносителя принята модель центрированного (относительно нуля) одномодального распределения с конечными нижним и верхним пределами. Пределы допускаемых относительных или абсолютных погрешностей измерения параметров теплоносителя должны быть либо указаны в технической документации на теплосчетчики, либо должны быть оценены по нормируемым метрологическим характеристикам средств измерений, из которых сформированы каналы измерений каждого из параметров теплоносителя. Предел допускаемой относительной погрешности измерений тепловой энергии, для конкретного режима работы системы теплоснабжения, можно оценить (при условии использования в подающем и обратном трубопроводах расходомеров одного класса точности) по формуле:

$$\delta_Q = \frac{1,1\sqrt{[f\Delta_1]^2 + [(1-f)\Delta_2]^2 + [\delta G(t_1 - t_{xв})]^2 + [\delta Gf(t_2 - t_{xв})]^2}}{f(t_1 - t_2) + (1-f)(t_1 - t_{xв})} \times 100\% \quad (21)$$

где:

δG - предел допускаемой относительной погрешности измерений массового расхода теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (в долях единицы);

Δ_1 - предел допускаемой абсолютной погрешности измерений разности температур $(t_1 - t_2)$, °С;

Δ_2 - предел допускаемой абсолютной погрешности измерений разности температур $(t_1 - t_{xв})$, °С;

$f = G_2 / G_1$.

Максимальное значение предела допускаемой относительной погрешности измерений величин Q , характеризующее точностные свойства используемой системы теплосчетчиков во всем диапазоне изменений параметра f , т.е. от 0 до 1,0 рассчитывают для значений $f=1$ и для значений температур t_1 и t_2 , удовлетворяющих соотношению:

$$(t_1 - t_2) \geq 0,33t_1 \quad (22)$$

Для систем ГВС, для которых при соблюдении установленных норм и правил проектирования (СниП) выполняется соотношение $f \leq 0,7$, максимальное значение

предельной относительной погрешности измерений величин Q , характеризующее точностные свойства используемой системы теплосчетчиков во всем диапазоне изменений параметра f (от 0 до 0,7), рассчитывают значения $f = 0,7$ и для значений температур t_1 и t_2 , удовлетворяющих соотношению

$$(t_1 - t_2) \geq 0,05t_1 \quad (23)$$

В том случае, когда $\delta G \geq 0,01$ и разности температур $(t_1 - t_2)$ и $(t_1 - t_{xв})$ измеряют с пределом допускаемой абсолютной погрешности, описываемым формулой $\Delta = (0,1 + 0,005\Delta t)^\circ\text{C}$, для приближенного оценивания погрешности измерений потребленной тепловой энергии (с точностью до десятых долей процента) может быть использована формула:

$$\delta Q = \frac{1.1\delta G \sqrt{(t_1 - t_{xв})^2 + [f(t_2 - t_{xв})]^2}}{f(t_1 - t_2) + (1-f)(t_1 - t_{xв})} \times 100\% \quad (24)$$

В том случае, если в алгоритме измерений используется не фактическое значение температуры холодной воды, а условное значение, принятое постоянным, то его выбирают из интервала температур $(0 - 30)^\circ\text{C}$.

Из опыта практического применения приборного учета в разнообразных схемах теплоснабжения, авторы ряда статей из города Тольятти А.Е.Каханков, А.В.Чигинев сделали следующий вывод. Установка расходомеров на подающем и обратном трубопроводах не может решить вопрос достоверности учета из-за опрокидывания циркуляции в обратном трубопроводе (в летний период ГВС осуществляется по обратному трубопроводу). Чтобы избежать нарушения режимов работы теплосчетчика следует разделить контуры отопления и горячего водоснабжения, но каждый контур обеспечить полным комплектом первичных преобразователей согласно требований Правил. Конечно, разделение контуров отопления и ГАС ведут к удорожанию узла учета. Однако, неизменность расходов в контуре отопления (закрытая система) и разницы температур в контуре ГВС дает возможность уменьшения погрешности измерения тепловой энергии за счет подбора согласованных пар расходомеров и термометров в небольшом диапазоне изменения измеряемых параметров. Подобрать согласованную пару термометров для одного значения температур в подающем и обратном трубопроводах, а также согласованную пару расходомеров для постоянного циркуляционного расхода - более реально, чем подобрать согласованные преобразователи во всем диапазоне изменения расходов и температур. В таком случае оценка погрешности измерения тепловой энергии проводится исходя из предположения о независимости погрешностей измерения расходов и температур. Если погрешность измерения расходов в трубопроводах считать одинаковой, тогда для любого контура относительную погрешность можно рассчитать по формуле:

$$\delta_Q = [\delta_G(1 + kj) + \delta t_1 + kj\delta t_2 + (1 - k)j_0\delta_{G1-G2} + (1 - k)j_0\delta t_{xв}] / [1 - kj - (1 - k)j_0] \quad (25)$$

где: $k = G_2/G_1$; $j = t_2/t_1$; $j_0 = t_{xв}/t_1$,

параметры с индексом 1 относятся к подающим трубопроводам, а параметры с индексом 2 – к обратным.

В случае подобранных пар расходомеров для контура отопления и подобранных пар термометров для контура ГВС получаются следующие выражения:

$$\delta_Q = [\delta_G(1 - kj) + \delta t_1 + kj\delta t_2 + (1 - k)j_0\delta_{G1-G2} + (1 - k)j_0\delta t_{xв}] / [1 - kj - (1 - k)j_0] \quad (26)$$

$$\delta_Q = [\delta_G(1 + kj) + \delta t_1 - kj\delta t_2 + (1 - k)j_0\delta_{G1-G2} + (1 - k)j_0\delta t_{xв}] / [1 - kj - (1 - k)j_0] \quad (27)$$

Критическое отношение к алгебраическому суммированию погрешностей высказывают авторы статей из ВНИИМ Ж.Ф.Кудряшова и В.И.Мишустин. Если исходить из предположения, что погрешности внутри заданных пределов, используемых при измерении тепловой энергии СИ, являются систематическими, то при оценивании погрешности измерений тепловой энергии следует применить алгебраическое суммирование составляющих погрешностей этих СИ только в том случае, если необходимо обеспечить доверительную вероятность погрешности измерений тепловой энергии близкую к единице. Но для этого необходимо знать знаки систематических погрешностей. Если же заданы только пределы этих систематических погрешностей, а об их знаках ничего не известно, то можно оценить только максимальное значение относительной погрешности. Для закрытых систем теплоснабжения (при сохранении массы теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах) методы алгебраического и квадратического суммирования дают практически один и тот же результат, при наличии подобранной пары термопреобразователей. Это объясняется небольшим числом суммирующих составляющих. Поэтому западные страны, для которых основной является закрытая система теплоснабжения, используют алгебраическое сложение погрешностей. Предел допускаемой погрешности характеризует конкретный тип СИ. Однако маловероятно, что погрешности всех используемых СИ при оценивании погрешности измерения потребляемой тепловой энергии будут представлены своими пределами. Даже если какое-нибудь СИ имеет погрешность равную предельной, погрешность измерений результата этим СИ не всегда равна этой предельной погрешности. Число составляющих погрешности измерений потребляемой тепловой энергии может увеличивать тепловая энергия потерь, тепловая энергия подпитки и т.д. Поскольку знаки этих составляющих погрешности могут быть разными, суммировать их следует аналогично методу сложения неисключенных систематических погрешностей (также почти всегда представленных своими пределами) с учетом коэффициентов, которые дают возможность оценить границы погрешности при определенной доверительной вероятности. К тому же при оценивании погрешностей измерений не используют доверительную вероятность $P = 1$ (т.е. алгебраическое суммирование составляющих погрешности измерений), так как появление погрешности, соответствующей этой вероятности, - событие маловероятное. Оценивание погрешности при подобной вероятности позволяет за неоправданно большой погрешностью скрывать нерациональное использование энергоресурсов производителями и продавцами энергии (например, сверхнормативные потери тепла из-за утечек теплоносителя). Характеризуя результат измерений значительной погрешностью мы этим самым незаслуженно принижаем ценность полученного результата измерений. Поэтому доверительную вероятность (доверительные границы погрешности) измерений тепловой энергии следует оценивать для доверительной вероятности $P = 0,95$ квадратическим суммированием. Оценивание предельной относительной погрешности алгебраическим суммированием для доверительной вероятности близкой к единице необходимо применять для двух теплосчетчиков, состоящих из двух термопреобразователей и двух преобразователей расхода, уравнение измерений которого соответствует уравнению:

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} m_1 h_1 d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} m_2 h_2 d\tau \quad (28)$$

Если характеризовать этой погрешностью теплосчетчики, то следует использовать значения параметров теплоносителя (массу, энтальпию или ее разность, плотность), которые приводят к максимально возможной погрешности и предусмотрены в технических условиях на данный тип теплосчетчиков. При оценивании погрешности измерений тепловой энергии квадратическим суммированием используют текущие значения измеряемых величин Q , h_1 , h_2 , M_1 , M_2 и соответственно их погрешности. Теплосчетчики, снабженные тепловычислителями, дают сведения о массах

теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах. Это позволяет оценить средневзвешенные значения энтальпий в каждом трубопроводе. При оценивании погрешности измерений тепловой энергии погрешности измерений энтальпий можно заменить погрешностями измерений температур, соответствующих этим энтальпиям.

Следовательно алгебраическое суммирование погрешностей допустимо лишь при расчете предела допускаемой погрешности теплосчетчика, при оценивании погрешностей измерений тепловой энергии следует использовать квадратическое суммирование составляющих погрешности при выбранной доверительной вероятности, например 0,95.

Введенная в действие с 01.09.99 года Рекомендация МИ 2553-99 "Методика оценивания погрешности измерений тепловой энергии", предлагает два варианта оценивания погрешности и квадратическое, и алгебраическое в зависимости от того, что известно на момент оценки результата измерений. Формулы для оценки погрешности измерений представлены в виде алгебраической суммы составляющих этой погрешности с сохранением арифметических знаков (+,-), соответствующих уравнениям измерений. Такое представление формул погрешности измерений позволяет их использовать при различных способах суммирования. При оценивании наибольшей погрешности измерений с доверительной вероятностью, близкой к единице, суммирование погрешностей осуществляется алгебраически, а с доверительной вероятностью 0,95 осуществляется квадратическим суммированием. В случае существенной корреляции между погрешностями ее учитывают в конкретной методике выполнения измерений.

Выводы .

За последние годы тенденции и приоритеты развития приборного учета тепловой энергии изменились: от простого оснащения узла учета точными измерительными приборами - создается реальная заинтересованность в получении достоверного результата количества потребленной тепловой энергии, повышается значимость оценки результата измерения, поскольку она имеет экономическое значение. В поисках единственно правильного решения работают многие специалисты, используя теоретические разработки и опыт предшественников. Основываясь на известных теоретических и практических результатах, для отработки новых технических решений по оценке погрешностей измерений тепловой энергии задачами исследования является:

1. Разработка модели, охватывающей основные элементы функциональной схемы измерения тепла и позволяющей представить наиболее рациональные способы реализации процесса измерения тепловой энергии.
2. Анализ методов расчета, позволяющих оценить результаты измерения количества потребленной тепловой энергии для различных схем теплоснабжения и различных комплектов средств измерений, входящих в состав теплосчетчика, с точки зрения выбора рациональной схемы и наиболее экономичных методов измерения, требующих меньших единовременных затрат.
3. Разработка нового варианта методики расчета с использованием расчетной модели, которая позволяет осуществлять оптимальную расстановку измерительных приборов и проводить количественный и качественный анализ выбранной схемы измерения тепловой энергии.

Список литературы .

1. Беляев Б.М., Лисенков А.И., Лачков В.И. Уравнения измерений тепловой энергии. Коммерческий учет энергоносителей. Политехника, С.Петербург, 1998, с. 58-65.
2. Вакулин А.А., Шавлов А.В. Погрешность измерения тепловой энергии. – Измерительная техника, 1998, №4. с. 39-41.

3. ГОСТ 19431-84 «Энергетика и электрификация. Термины и определение»
4. ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин».
5. ГОСТ 15528-86 «Средства измерения расхода, объема или массы протекающих жидкостей и газа. Термины и определения».
6. ГОСТ 6651-94 «Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний».
7. ГОСТ 8.563.2-97 «ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств». Москва, издательство стандартов, 1998.
8. ГОСТ Р 51649-2000 Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения.
9. European Standard EN 1434. Heat meters. General requirements. 1996.
10. Каханков А.Е., Чигинев А.В., Сравнительная оценка погрешностей вычисления тепловой энергии. – Законодательная и прикладная метрология, 1999, №5, с.17-21.
11. Кудряшова Ж.Ф., Мишустин В.И. Погрешности измерений тепловой энергии. – Измерительная техника, 2000, №5, с. 57-60.
12. Лисенков А.И. К вопросу об измерениях тепловой энергии. – Законодательная и прикладная метрология, 1999, №5, с.13-16.
13. Новицкий П.В., Зограф И.А., Оценка погрешностей результатов измерений. Энергоатомиздат, 1985, 247 с.
14. OIML R 75. Heat meters. 1988.
15. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. Москва, 1995, 66 с.
16. Рекомендация МИ 2164-91 «ГСИ. Теплосчетчики. Требования к испытаниям, метрологической аттестации, поверке. Общие положения». Ленинград, ВНИИМ, 1991.
17. Рекомендация МИ 2412-97 «ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя». Москва, ВНИИМС, 1997.
18. Рекомендация МИ 2553-99 «ГСИ. Энергия тепловая и теплоноситель в системах теплоснабжения. Методика оценивания погрешности измерений. Основные положения». Москва, ВНИИМС, 1999.
19. Рекомендация МИ 2537-2000 «ГСИ. Тепловая энергия открытых водяных систем теплоснабжения, полученная потребителем. Методика выполнения измерений. Общие положения». Москва. ВНИИМС, 2000.
20. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. –Л.: Энергия, 1978, 262с.
21. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф., Качество измерений. Лениздат, 1987, 295 с.
22. Тарбеев Ю.В. и др.// Измерительная техника, 1998, №11 с.54
23. Тарбеев Ю.В. и др.// Измерительная техника, 1999, №1.- с. 36, №8. - с. 45, № 11. – с.32
24. Тарбеев Ю.В. и др.// Измерительная техника, 2000, №6. – с.40.

Приложение

**Производственное, научно-исследовательское и
проектно-конструкторское учреждение (ПНИПКУ)
"Венчур"**

Производственное, научно-исследовательское и проектно-конструкторское учреждение (ПНИПКУ) "Венчур" создано в 1989 году при Санкт-Петербургском государственном техническом университете (Политехническом институте). Учреждение "Венчур" выполняет работы в области комплексного архитектурно-строительного и технологического проектирования, инженерных систем зданий и сооружений, энергосбережения.

ПНИПКУ «Венчур» является региональным представителем и монтажно-сервисным центром в Санкт-Петербурге и Северо-Западном регионе РФ следующих предприятий:

- ОАО "«Арзамасский приборостроительный завод», г. Арзамас, Россия (счетчики воды механические СВК15-3, расходомеры-счетчики воды электромагнитные ИПРЭ-3(7), преобразователи расхода воды электромагнитные ИПРЭ-1, расходомеры-счетчики жидкости турбинные РСТ, теплосчетчики ТС, счетчики газа СГ, ротаметры);
- ОАО «Газэлектроника», г. Арзамас, Россия (мембранные ВК, ротационные счетчики газа RVG, комплексы для измерения расхода газа СГ-ЭК, электронные корректоры объема газа ЕК-88(ТС-90);
- Шатковский приборостроительный завод, Россия (грузопоршневые манометры МП);
- ПГ «Метран», г. Челябинск, Россия (датчики, калибраторы давления);
- ЗАО «Центрприбор», г. Москва, Россия (расходомеры-счетчики воды ультразвуковые UFM-005, теплосчетчики UFEC-005);
- Завод измерительных приборов АО «ASWEGA», г. Таллинн, Эстония (расходомеры-счетчики воды электромагнитные VA-2301, VA-2302 и VA-2304 , преобразователи расхода воды электромагнитные VA-2303, теплосчетчики SA-94);
- WIKA Alexander Wiegand GmbH&Co, Германия (манометры механического принципа действия, устройства передачи давления, электронные манометры, электронные и механические термометры);
- BROEN VALVE GROUP, Дания (шаровые стальные краны BALLOMAX, универсальные регулировочные клапаны BALLOREX)

ПНИПКУ «Венчур» является Генеральным представителем в Санкт-Петербурге и Северо-Западном регионе РФ ОАО "«Арзамасский приборостроительный завод» и обладает эксклюзивным правом на продажу универсальных квартирных счетчиков воды СВК15-3.

Поставка оборудования для инженерных сетей:

- расходомеры и счетчики воды, пара, газа, сжатого воздуха, тепловой энергии
- трубопроводная арматура
- манометры, датчики давления
- термометры биметаллические стрелочные
- оборудование, фильтры и фильтровальные материалы для систем очистки воды и воздуха.

Проектирование, изготовление, монтаж, наладка, сдача в эксплуатацию, а также реконструкция, ремонт и обслуживание:

- водомерных узлов (холодноводных и горячеводных)
- узлов учета сточной воды (напорных и безнапорных)
- узлов учета тепловой энергии
- тепловых центров со встроенными узлами учета
- вентиляционных систем
- систем очистки воды и воздуха

Адрес учреждения:

195251 Россия, Санкт-Петербург ул. Политехническая , 29

тел./факс (812)535-57-82

E-mail: Adm@venture.spb.ru

[Http://www.venture.spb.ru/](http://www.venture.spb.ru/)