Госстандарт России

Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологической службы
(ВНИИМС)

Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологии им. Д.И. Менделеева
(ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ЭНЕРГИЯ ТЕПЛОВАЯ И ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

МИ 2553 - 99
(с Изменением № 1)

Москва
1999

оригинал макета получен

РАЗРАБОТАНА Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС) и Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

ИСПОЛНИТЕЛИ Беляев Б.М., канд. техн. наук;
Лисенков А.И., канд. техн. наук, (руководитель темы);
Мишустин В.И., канд. техн. наук;
Кудряшова Ж.Ф., канд. техн. наук;
Новицкий П.В., доктор техн. наук.

УТВЕРЖДЕНА ВНИИМС 1999 г.
ВНИИМ им. Д.И. Менделеева 1999 г.

Группа Т80

Рекомендация ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ Энергия тепловая и теплоноситель в системах теплоснабжения. Методика оценивания погрешности измерений. Основные положения.	МИ 2553-99

Введена в действие с 01.09.99 г.

Настоящая рекомендация устанавливает основные положения методики оценивания погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя в системах теплоснабжения.

Рекомендация является основополагающим документом при разработке методик оценивания погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя в методиках выполнения измерений (далее – МВИ) на узлах учета, средств измерений (далее – СИ) тепловой энергии и массы теплоносителя.

Рекомендация также может использоваться и непосредственно при оценивании погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя.

1. Общие положения

1.1. Оценивание погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя осуществляют для систем теплоснабжения, которые могут содержать один или несколько единичных трубопроводов и (или) теплообменных контуров*). Уравнения измерений тепловой энергии и массы теплоносителя для единичных трубопроводов и теп-

*) Под теплообменным контуром в настоящей рекомендации понимается теплопотребляющая установка (система) или источник тепловой энергии или их часть, имеющие один подающий и один обратный трубопровод. В открытых теплообменных контурах осуществляется отбор теплоносителя (горячее водоснабжение, подпитка, утечки теплоносителя), в закрытых теплообменных контурах отсутствует отбор теплоносителя.

лообменных контуров, соответствующие рекомендациям МИ2412-97 и МИ 2451-98, приведены в разделе 2. В случае если системы теплоснабжения содержат несколько трубопроводов и (или) теплообменных контуров, уравнения измерений должны быть представлены по каждому трубопроводу и (или) отдельному теплообменному контуру.

1.2. При оценивании погрешности измерений принимают во внимание только систематические погрешности, поскольку при измерении тепловой энергии и массы теплоносителя нарастающим итогом (интегрированием, суммированием) случайные погрешности измерений незначительны (они взаимокомпенсируются).

1.3. Погрешность, обусловленную вычислением тепловой энергии и (или) массы теплоносителя, учитывают в том случае, если она является существенной (п. 3.11).

1.4. Погрешность измерений оценивают для статического режима измерений при различных сочетаниях постоянных значений параметров теплоносителя, входящих в уравнения измерений. Интеграл произведения массы теплоносителя на энтальпию теплоносителя заменяют на произведение массы теплоносителя на энтальпию теплоносителя, пренебрегая погрешностями от такой замены. В случае, если погрешность этой замены существенна, ее необходимо учесть в конкретной методике оценивания погрешностей.

1.5. Составляющие погрешности измерений, обуславливающие полные (суммарные) погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя, должны быть представлены для конкретных условий измерений, например, для нормальных или реальных условий применения средств измерений, с помощью которых осуществляют измерение тепловой энергии и массы теплоносителя.

1.6. Оценивание составляющих погрешности средств измерений тепловой энергии и массы теплоносителя в реальных условиях (с учетом влияния влияющих величин) проводят в соответствии с методическими указаниями РД 50-453-84.

1.7. 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 использовать их при различных способах суммирования составляющих погрешностей. При оценивании наибольшей погрешности измерений с доверительной вероятностью, близкой к единице, суммирование составляющих осуществляют по формуле (3.23), а с доверительной вероятностью, близкой к 0,95, по формуле (3.24).

1.8. Доверительную вероятность наибольшей погрешности измерений в общем случае устанавливают близкой к 0,95. В отдельных случаях, по согласованию заинтересованных сторон, доверительную вероятность наибольшей погрешности измерений устанавливают близкой к единице, например, когда число составляющих погрешностей не более трех, а также на узлах учета источников и крупных потребителей тепловой энергии и теплоносителя, при оценке погрешности конкретных экземпляров средств измерений, имеющих индивидуальные метрологические характеристики, и др.

2. Уравнения измерений

2.1. Уравнения измерений тепловой энергии Q в теплообменном контуре имеют следующий вид:

а) в открытом теплообменном контуре – при неравенстве массовых расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (с учетом тепловой энергии холодной воды) в зависимости от измеренных параметров теплоносителя и алгоритмов обработки их значений

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 h_1 d\tau - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 h_2 d\tau; \qquad (2.1)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 (h_1 - h_2) d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_1 d\tau; \qquad (2.2)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1(h_1 - h_2)d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2)h_2 d\tau; \qquad (2.3)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2(h_1 - h_2)d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_{гв} + m_п)h_1 d\tau; \qquad (2.4)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1(h_1 - h_2)d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_{гв} + m_п)h_2 d\tau, \qquad (2.5)$$

б) в закрытом теплообменном контуре – при равенстве массовых расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах $(m_1 = m_2 = m)$ в зависимости от метода измерений

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m\ (h_1 - h_2)d\tau; \qquad (2.6)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} qK_t(t_1 - t_2)d\tau, \qquad (2.7)$$

где Q – выражена в МДж;

m_1 и m_2 – массовый расход теплоносителя, соответственно, в подающем и обратном трубопроводах, т/ч;

$m_{гв}$ и $m_п$ - массовый расход теплоносителя, соответственно, в трубопроводе горячего водоснабжения и трубопроводе подпитки, т/ч;

h_1 и h_2 - энтальпия*) теплоносителя, соответственно, в подающем и обратном трубопроводах, кДж/кг;

m и q – массовый и объемный расходы в подающем и обратном трубопроводах, т/ч и $м^3$/ч;

K_t - тепловой коэффициент по европейскому стандарту EN 1434;

t_1 и t_2 - значения температур в подающем и обратном трубопроводах;

τ_0 и τ_1 - моменты времени, соответствующие началу (τ_0) и окончанию (τ_1) интервала времени измерения тепловой энергии, ч.

---

*) В настоящей рекомендации принята энтальпия по ГОСТ 98-86, МИ 2412-97 и МИ 2451-98, которая приведена на 1 кг массы теплоносителя.

2.2. Уравнение измерений тепловой энергии, содержащейся в теплоносителе, для любого трубопровода или однотрубной системы с учетом тепловой энергии холодной воды $Q_{хв}$, имеет вид:

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} mh d\tau, \qquad (2.8)$$

где m и h – массовый расход и энтальпия теплоносителя в трубопроводе (т/ч, кДж/кг).

2.3. Уравнение измерений массы теплоносителя M, при использовании расходомера для любого трубопровода, имеет вид

$$M = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m d\tau. \qquad (2.9)$$

2.4. Уравнения измерений массы теплоносителя M, отобранного из теплообменного контура или введенного в теплообменный контур, в зависимости от алгоритмов измерений имеют вид

$$M = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 d\tau - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 d\tau = \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) d\tau; \qquad (2.10)$$

$$M = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{гв} d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{п} d\tau = \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_{гв} + m_{п}) d\tau. \qquad (2.11)$$

2.5. Уравнения определения тепловой энергии, произведенной источником, $Q_и$ (т.е. при исключении из тепловой энергии, указанной в формулах (2.1) …(2.5), (2.8), тепловой энергии $Q_{хв}$, содержащейся в холодной воде), представляют в виде

$$Q_и = Q - Q_{хв} = Q - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{хв} h_{хв} d\tau, \qquad (2.12)$$

где Q – тепловая энергия в теплообменном контуре или единичном трубопроводе, определенная по формулам (2.1)...(2.5), (2.8);

$m_{ХВ}$ – массовый расход холодной воды (при отсутствии утечек теплоносителя может быть равным массовому расходу теплоносителя $m_П$ или (m_1-m_2), или ($m_{гв}$+$m_п$), поступающего или отбираемого из теплообменного контура, либо массовому расходу в отдельном трубопроводе), т/ч;

$h_{хв}$ – энтальпия холодной воды, кДж/кг.

3. Оценки погрешности измерений

3.1. Относительную погрешность измерений тепловой энергии δ в открытом теплообменном контре за определенный интервал времени (τ_1 - τ_0) оценивают в процентах по формулам:

а) при измерении тепловой энергии по формулам (2.1)...(2.3):

в общем случае (когда используют только относительные погрешности измерений энтальпий и масс теплоносителя)

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}(\delta_{м1} + \delta_{h1} - \alpha\beta \cdot \delta_{м2} - \alpha\beta \cdot \delta_{h2}); \qquad (3.1)$$

в случае использования относительных погрешностей измерений энтальпий и масс теплоносителя, а также относительной погрешности измерений разности энтальпий теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах δ_{hp}

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[(1-\alpha)\delta_{h1} + (1-\beta)\cdot\alpha\delta_{hp} + \delta_{м1} - \alpha\beta\delta_{м2}]; \qquad (3.2)$$

в случае использования относительных погрешностей измерений энтальпий и масс теплоносителя, а также относительных погрешностей измерений разности энтальпий теплоносителя δ_{hp} и разности расходов теплоносителя δ_{mp} в подающем и обратном трубопроводах

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[(1-\beta)\delta_{м1} + (1-\alpha)\delta_{h1} + \alpha(1-\beta)\cdot\delta_{hp} + \beta(1-\alpha)\delta_{mp}], \quad (3.3)$$

б) при измерении тепловой энергии по формуле (2.4):

в общем случае (когда используют только относительные погрешности измерений энтальпий и масс теплоносителя)

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[\alpha(1-\beta)\delta_{м2} + (1-\alpha)\delta_{м3} + \delta_{h1} - \alpha\beta\delta_{h2}]; \quad (3.4)$$

в случае использования относительных погрешностей измерений энтальпий и масс теплоносителя, а также относительной погрешности измерений разности энтальпий теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах δ_{hp}

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[(1-\alpha)\delta_{h1} + \alpha(1-\beta)\delta_{hp} + \alpha(1-\beta)\cdot\delta_{м2} + (1-\alpha)\delta_{м3}], \quad (3.5)$$

в) при измерении тепловой энергии по формуле (2.5):

в общем случае (когда используют только относительные погрешности измерений энтальпий и масс теплоносителя)

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[(1-\beta)\delta_{м1} + \beta(1-\alpha)\delta_{м3} + \delta_{h1} - \alpha\beta\delta_{h2}]; \quad (3.6)$$

в случае использования относительных погрешностей измерений энтальпий и масс теплоносителя, а также относительной погрешности измерений разности энтальпий теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах δ_{hp}

$$\delta = \frac{1}{1-\alpha\beta}[(1-\beta)\delta_{м1} + (1-\alpha)\delta_{h1} + \alpha(1-\beta)\delta_{hp} + \beta(1-\alpha)\delta_{м3}], \quad (3.7)$$

где: $\alpha = \frac{M_2}{M_1}$; $\beta = \frac{h_2}{h_1}$; $\delta_{м3} = \frac{\gamma\delta_{мгв} + \ell\delta_{мп}}{\gamma + \ell}$; $\gamma = \frac{M_{гв}}{M_1}$; $\ell = \frac{M_п}{M_1}$;

δ_{h1} и δ_{h2} - относительная погрешность измерений энтальпии теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, %;

$\delta_{м1}$, $\delta_{м2}$, $\delta_{мгв}$ и $\delta_{мп}$ - относительная погрешность измерений массового расхода или массы теплоносителя в подающем, обратном, горячего водоснабжения и подпиточном трубопроводах, %;

M_1, M_2, $M_{гв}$ и $M_п$ – соответственно масса теплоносителя в подающем, обратном, горячего водоснабжения и подпиточном трубопроводах.

При оценке относительной погрешности измерений тепловой энергии по формулам (3.4)...(3.7) с учетом погрешности, обусловленной утечками теплоносителя, составляющую погрешности $\delta_{М3}$ оценивают в процентах по формуле

$$\delta_{м3} = \frac{\gamma\delta_{мгв} + \ell\delta_{мп} - \varepsilon 100\%}{\gamma + \ell + \varepsilon} \qquad (3.8)$$

где $\varepsilon = \frac{M_у}{M_1}$, ε в числителе всегда берется со знаком минус (-);

$M_у$ – масса утечек теплоносителя,т.

Для водяных систем теплоснабжения допускается коэффициенты α, γ, ℓ, ε определять как отношение соответствующих расходов теплоносителя m_1, m_2, $m_{гв}$, $m_п$, $m_у$.

3.2. Относительную погрешность измерений тепловой энергии δ в закрытом теплообменном контуре оценивают в процентах по формулам

а) при измерении тепловой энергии по формуле (2.6):

в общем случае

$$\delta = \delta_м + \frac{\delta_{h1} - \beta\delta_{h2}}{1 - \beta}; \qquad (3.9)$$

в случае использования относительной погрешности измерений разности энтальпий теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах δ_{hp}

$$\delta = \delta_м + \delta_{hp} \qquad (3.10)$$

б) при измерении тепловой энергии по формуле (2.7):

в общем случае (когда измеряют объем теплоносителя и его температуры в подающем и обратном трубопроводах)

$$\delta = \delta_v + \delta_{Kt} + \delta_{t1} - \delta_{t2}, \qquad (3.11)$$

в случае измерения объема теплоносителя и разности температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах

$$\delta = \delta_v + \delta_{Kt} + \delta_{tp}, \qquad (3.12)$$

где δ_M и δ_V - относительная погрешность измерений массы и объема теплоносителя, %;

δ_{Kt} - относительная погрешность определения теплового коэффициента K_t, %;

δ_{t1} и δ_{t2} - относительная погрешность измерений температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, %;

δ_{tp} - относительная погрешность измерения разности температур теплоносителя, %.

3.3 Относительную погрешность измерений тепловой энергии теплоносителя δ для любого трубопровода (п. 2.3), оценивают в процентах по формуле

$$\delta = \delta_м + \delta_h. \qquad (3.13)$$

3.4. Относительную погрешность измерений массы теплоносителя δ_M для любого трубопровода, при измерении объема теплоносителя, оценивают в процентах по формуле

$$\delta_м = \delta_v + \delta_\rho, \qquad (3.14)$$

где δ_V и δ_ρ - относительная погрешность измерений объема и плотности теплоносителя, %.

3.5. Относительную погрешность измерений массы теплоносителя δ_M, отобранного или введенного в теплообменный контур, оценивают в процентах по формулам:

при измерении массы теплоносителя по формуле (2.10)

$$\delta_м = \frac{1}{M_1 - M_2}(M_1\delta_{м1} - M_2\delta_{м2}), \qquad (3.15)$$

при измерении массы теплоносителя по формуле (2.11)

$$\delta_м = \frac{1}{M_{гв} - M_п}(M_{гв}\delta_{мгв} + M_п\delta_{мп}), \qquad (3.16)$$

где $\delta_{мгв}$ и $\delta_м$ - относительная погрешность измерения массы теплоносителя в трубопроводах горячего водоснабжения и подпитки, %.

3.6. Относительную погрешность измерений массы теплоносителя при измерении по формуле (2.11) с учетом погрешности, обусловленной утечками теплоносителя, $\delta_{мк}$, оценивают в процентах по формуле

$$\delta_{мк} = \frac{1}{M_{гв} + M_п + M_у}(M_{гв}\delta_{мгв} + M_п\delta_{мп} - M_у \cdot 100\%), \qquad (3.17)$$

3.7 Относительную погрешность измерений $\delta_и$ тепловой энергии $Q_и$, определяемую в соответствии с формулой (2.12), оценивают в процентах по формуле

$$\delta_и = \frac{1}{Q - Q_{хв}}[Q\delta - Q_{хв}(\delta_{мхв} + \delta_{hхв})], \qquad (3.18)$$

где Q - тепловая энергия, определенная по формулам (2.1) ...(2.5) и (2.8);

δ - относительная погрешность, определенная по формулам (3.1)... (3.7) и (3.13);

$Q_{хв} = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{хв} h_{хв} d\tau$ - тепловая энергия холодной воды, МДж;

$\delta_{мхв}$ и $\delta_{hхв}$ - относительные погрешности измерений массы и энтальпии холодной воды, %.

3.8. Относительную погрешность измерений энтальпии теплоносителя δ_h оценивают по формуле:

$$\delta_h = \left[\left(\frac{\frac{dh}{dt}\delta_t t}{h}\right)^2 + \left(\frac{\frac{dh}{dp}\delta_p p}{h}\right)^2\right]^{0,5}, \qquad (3.19)$$

где $\frac{dh}{dt}$ и $\frac{dh}{dp}$ - частные производные функции h по температуре, кДж/кг ^oC, и по давлению, кДж/кг Па (дифференциалы заменяют, как правило, на соответствующие приращения);

p – давление теплоносителя, Па.

3.9. Относительную погрешность измерений плотности теплоносителя δ_ρ оценивают по формуле:

$$\delta_\rho = \left[\left(\frac{\frac{d\rho}{dt}\delta_t t}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\frac{d\rho}{dp}\delta_p p}{\rho} \right)^2 \right]^{0,5}, \qquad (3.20)$$

где $\frac{d\rho}{dt}$, $\frac{d\rho}{dp}$ - частные производные функции ρ по температуре, кг/м^{3}ºС, и по давлению, кг/м^3 Па (дифференциалы заменяют, как правило, на соответствующие приращения).

3.10. Формулы (3.1) ...(3.10), (3.13) могут быть представлены в другом виде на основании зависимости $m = q\rho$ и формулы (3.14). При этом массовый расход (массу) заменяют на объемный расход (объем) и плотность теплоносителя и вместо погрешности измерений массового расхода (массы) используют погрешность измерений (объемного расхода (объема) и погрешность измерений плотности теплоносителя.

3.11. Относительные погрешности измерений параметров теплоносителя (расхода, разности расходов, объема, разности объемов, массы, разности масс, температуры, разности температур, давления) $\delta_п$, при измерении которых используются измерительные каналы, содержащие различные измерительные компоненты, оценивают в процентах по формуле

$$\delta_п = \sum_{i=1}^{n} \delta_{iк}, \qquad (3.21)$$

где $\delta_{iк}$ - относительная погрешность i-го измерительного компонента (расходомера, счетчика, тепловычислителя, термопреобразователя сопротивления, комплекта термопреобразователей сопротивления и др.), %.

3.12. Относительную погрешность вычисления тепловой энергии $\delta_в$ (при определении тепловой энергии по известным значениям параметров теплоносителя) учитывают путем ее прибавления к погрешно-

стям δ, если она не менее 0,1%. При использовании цифровых тепловычислителей относительную погрешность $\delta_в$ оценивают в процентах по формуле

$$\delta_в = \delta_Т + \delta_d + \delta_к, \qquad (3.22)$$

где $\delta_Т$ - относительная погрешность тепловычислителя при вычислении тепловой энергии, %;

$\delta_к$ - относительная погрешность, обусловленная изменением тепловой энергии Δ_l за время между опросами измеряемых параметров теплоносителя, %

$$\delta_к = \frac{\Delta_l \cdot 100\%}{Q};$$

δ_d - относительная погрешность, обусловленная дискретностью d показаний тепловой энергии, %

$$\delta_d = \frac{d \cdot 100\%}{Q},$$

где d – номинальное значение наименьшего разряда, МДж.

3.13. При оценивании наибольшей погрешности измерений с доверительной вероятностью, близкой к единице, формулы (3.1) ... (3.18) представляют в виде

$$\delta = \sum_{i=0}^{i=N} K_i \delta_i \pm \sum_{j=0}^{j=L} \left| K_j \delta_j \right|, \qquad (3.23)$$

где K_i и δ_i - коэффициент и значение i-ой составляющей погрешности, имеющей определенный знак – плюс (+) или минус (-);

K_j и δ_j - коэффициент и значение j-ой составляющей погрешности, не имеющей определенного знака;

N и L – количество i-ых и j-ых составляющих погрешностей.

Коэффициенты K_i и K_j определяют с учетом общих множителей, входящих в формулы оценивания погрешностей.

3.14. При оценивании наибольшей погрешности с доверительной вероятностью, близкой к 0,95, формулы (3.1)...(3.18) представляют в виде

$$\delta = \sum_{i=0}^{i=N} K_i \delta_i \pm (\sum_{j=0}^{j=L} K_j^2 \delta_j^2)^{0,5}, \qquad (3.24)$$

В случае существенной корреляции между погрешностями ее учитывают в конкретной методике выполнения измерений.

3.15. По настоящей рекомендации допускается оценивать погрешность тепловычислителей при использовании нормированных или определенных экспериментальным путем погрешностей каналов измерений параметров теплоносителя (расхода, разности расходов, объема, разности объемов, массы, разности масс, температуры, разности температур, давления и др.). При этом следует учитывать погрешность вычисления тепловой энергии, поскольку она может вносить существенный «вклад» в погрешность тепловычислителя.

3.16. Для системы теплоснабжения, содержащей несколько отдельных трубопроводов и (или) теплообменных контуров, средневзвешенные погрешности измерений тепловой энергии δ_c и массы теплоносителя $\delta_{мс}$ оценивают в процентах по формулам

$$\delta_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i Q_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i}; \qquad (3.25)$$

$$\delta_{мс} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i M_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i}, \qquad (3.26)$$

где n – количество трубопроводов и (или) теплообменных контуров в системе теплоснабжения;

δ_i и δ_{mi} - относительные погрешности измерений тепловой энергии и массы теплоносителя в i-ом трубопроводе и (или) теплообменном контуре в системе теплоснабжения;

Q_i и M_i - тепловая энергия и масса теплоносителя в i-ом трубопроводе и (или) теплообменном контуре системы теплоснабжения.