

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(ГОССТАНДАРТ РОССИИ)

ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ
СЛУЖБЫ
(ВНИИМС)

ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ
ИМ. ДИ. МЕНДЕЛЕЕВА
(ВНИИМ ИМ. ДИ. МЕНДЕЛЕЕВА)

Утверждено
27.02.97

Утверждено
25.02.97

РЕКОМЕНДАЦИЯ

**Государственная система обеспечения единства измерений
Водяные системы теплоснабжения
Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя**

МИ 2412-97

Группа Т80

Введена в действие с 01.09.1997 г.

Настоящая Рекомендация устанавливает уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя при проведении учета их отпуска и потребления в водяных системах теплоснабжения.

Рекомендация предназначена для использования при разработке средств измерений, методик выполнения измерений и схем узлов учета тепловой энергии и теплоносителя.

1. Общие положения

1.1. Рекомендация охватывает измерения (определения) величин, которые являются исходными для осуществления учета тепловой энергии и теплоносителя при взаиморасчетах энергоснабжающей организации с потребителем.

1.2. При измерении тепловой энергии применяют косвенные измерения, при которых тепловую энергию определяют на основании измерений расхода (массового или объемного) или количества (массы или объема) теплоносителя, температуры и давления теплоносителя.

Давление теплоносителя допускается не измерять при условии оценки возникающей из-за этого погрешности. В этом случае тепловую энергию определяют с учетом принятого в установленном порядке для измерений значения давления теплоносителя.

Измерение тепловой энергии может осуществляться с учетом или без учета тепловой энергии холодной воды.

1.3. При измерении тепловой энергии и количества теплоносителя применяют регламентированные в нормативно-технических документах (НТД) методы измерений расхода, количества, температуры и давления теплоносителя.

1.4. Теплофизические свойства теплоносителей принимают соответствующими НТД ГСССД или другим утвержденным в установленном порядке нормативным документам, регламентирующим эти свойства.

2. Уравнения измерений

2.1. Приведенные уравнения являются исходными для разработки алгоритмов измерений, применяемых в средствах измерений, методиках выполнения измерений и схемах узлов учета тепловой энергии. Отклонение от указанных уравнений обуславливает методическую погрешность, которую необходимо оценивать при утверждении типов средств измерений тепловой энергии, аттестации конкретных методик выполнения измерений и проектировании узлов учета тепловой энергии.

2.2. Тепловую энергию на источнике тепловой энергии по каждому выводу (двухтрубной магистрали) определяют по следующим формулам:

тепловая энергия, отпущенная источником тепловой энергии, при неравенстве расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, Q , (по одной из формул)

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 h_1 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 h_2 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.1)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 (h_1 - h_2) dt + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_2 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.2)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 (h_1 - h_2) dt + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_1 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.3)$$

тепловая энергия, отпущенная источником тепловой энергии при равенстве расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах ($m_1 = m_2 = m$), Q

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m (h_1 - h_2) dt ; \quad (2.4)$$

где Q - выражена в МДж;

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

$h_1, h_2, h_{\text{хв}}$ - энтальпия теплоносителя, соответственно в подающем, обратном трубопроводах и трубопроводе холодной воды, кДж/кг;

t_0 и t_1 - моменты времени, соответствующие началу (t_0) и окончанию (t_1) интервала времени измерения тепловой энергии, ч.

Энтальпия $h=f(t, P)$ теплоносителя определяют по НТД, указанным в п. 1.4. настоящей Рекомендации, в соответствии с температурой t и давлением P теплоносителя.

2.3. Тепловую энергию на источнике тепловой энергии, имеющем несколько подающих и обратных трубопроводов и несколько трубопроводов холодной воды, определяют по формулам (2.1)...(2.4), заменив интегралы на соответствующие суммы интегралов. Суммирование интегралов проводят по всем одноименным трубопроводам.

2.4. Тепловую энергию у потребителя по каждому вводу определяют по следующим формулам:

тепловая энергия, полученная потребителем на все виды тепловых нагрузок при неравенстве расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, включая утечку теплоносителя, Q

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 h_1 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 h_2 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.5)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 (h_1 - h_2) dt + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_2 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.6)$$

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 (h_1 - h_2) dt + \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_1 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) h_{\text{хв}} dt ; \quad (2.7)$$

тепловая энергия, полученная потребителем при равенстве расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах ($m_1 = m_2 = m$), Q

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m(h_1 - h_2) dt \quad ; \quad (2.8)$$

где $h_{хв}$ - энтальпия холодной воды на источнике тепловой энергии;

остальные обозначения те же, что в п.2.2, но для потребляющей установки.

2.5. Тепловую энергию, содержащуюся в теплоносителе, прошедшем по любому единичному (одному) трубопроводу или однетрубной системе, $Q_{ед}$, определяют по формуле

$$Q_{ед} = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{ед} h_{ед} dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{ед} h_{хв} dt \quad ; \quad (2.9)$$

где $m_{ед}$ и $h_{ед}$ - соответственно массовый расход и энтальпия теплоносителя в любом единичном (одном) трубопроводе, независимо от его назначения;

$h_{хв}$ - энтальпия холодной воды на источнике тепловой энергии.

2.6. По формулам (2.1...2.3; 2.5...2.7 и 2.9) измеряют величины Q ; $Q_{ед}$ свчитанием из них тепловой энергии холодной воды, представленной интегралами, содержащими сомножитель $h_{хв}$, при условии, что расход холодной воды равен разности расходов ($m_1 - m_2$).

При этом в формулах (2.5...2.7; 2.9) $h_{хв}$ может быть определена по принятой в установленном порядке температуре холодной воды $t_{хвп}$ при условии оценки погрешности, обусловленной отклонением принятой температуры $t_{хвп}$ от действительной температуры холодной воды $t_{хв}$.

При измерении величин Q и $Q_{ед}$, без исключения из них тепловой энергии холодной воды, указанные величины следует определять по формулам (2.1...2.3; 2.5...2.7 и 2.9), опуская интегралы, в подынтегральное выражение которых входит сомножитель $h_{хв}$.

В последнем случае уменьшается погрешность измерений тепловой энергии за счет исключения погрешности измерений тепловой энергии холодной воды и такие измерения являются предпочтительными. В этом случае, при необходимости учета тепловой энергии холодной воды, она может быть определена отдельно, например, как произведение принятого в установленном порядке среднего значения энтальпии холодной воды на источнике тепловой энергии на массу отобранной из системы воды. В этом случае должна быть оценена погрешность определения тепловой энергии холодной воды.

2.7. Количество теплоносителя (на источнике тепловой энергии и у потребителя) определяют по следующим формулам:

масса воды, прошедшей по любому единичному трубопроводу, $M_{ед}$

$$M_{ед} = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_{ед} dt \quad ; \quad (2.10)$$

масса теплоносителя, отобранного из тепловой сети или от источника тепловой энергии (невозвращенного на источник тепловой энергии или в тепловую сеть), $M_{от}$

$$M_{от} = \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_1 dt - \int_{\tau_0}^{\tau_1} m_2 dt = \int_{\tau_0}^{\tau_1} (m_1 - m_2) dt \quad ; \quad (2.11)$$

2.8. В формулах (2.1...2.3; 2.5...2.7; 2.9; 2.11) разность массовых расходов ($m_1 - m_2$) может быть заменена на другие равные массовые расходы или сумму расходов, например, на расходы подпитки, горячего водоснабжения. При этом должна быть оценена погрешность, обусловленная такой заменой.

2.9. В случае измерения объемного расхода q массовый расход m определяют по формуле

$$m = 10^{-3} q \cdot \rho, \quad (2.12)$$

где ρ - плотность теплоносителя, кг/м³;

q - объемный расход теплоносителя, м³/ч.

Плотность теплоносителя определяют по НТД, указанным в п. 1.4 настоящей Рекомендации, в соответствии с температурой и давлением теплоносителя.

2.10. Допускается при определении тепловой энергии подынтегральное выражение $m_1 (h_1 - h_2)$ заменять на выражение

$$q_1 \cdot K_t (t_1 - t_2),$$

где m_1 ; q_1 - массовый и объемный расходы в 1-ом трубопроводе, $m^3/ч$;

K_t - тепловой коэффициент по международной рекомендации МОЗМ R75 или другой НТД, утвержденной в установленном порядке, $МДж/м^3 \times ^\circ C$;

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

В этом случае оценивают методическую погрешность, обусловленную отличием $q_1 \cdot K_t (t_1 - t_2)$ от $m_1 (h_1 - h_2)$ при различных значениях температур t_1 , t_2 и давлениях P_1 , P_2 теплоносителя.

2.11. Регламентированные в настоящей рекомендации уравнения измерений могут применяться для закрытых, открытых и смешанных систем теплоснабжения. При измерениях в системах с несколькими одноименными трубопроводами суммируют величины, соответствующие одноименным трубопроводам.

2.12. При оценивании погрешности измерений тепловой энергии составляющие погрешности должны быть представлены с учетом влияния измеряемых (определяемых) расхода, температуры, давления, энтальпии, плотности теплоносителя на результат измерений тепловой энергии.

2.13. При реализации уравнений измерений (в средствах измерений, методиках выполнения измерений и схемах узлов учета тепловой энергии и теплоносителя) их, как правило, преобразовывают в соответствии с правилами математики, энтальпию h и плотность ρ определяют по соответствующим уравнениям, а интегралы заменяют на суммы.

Энтальпию h и плотность ρ теплоносителя определяют по уравнениям, приведенным в справочном приложении. Допускается в обоснованных случаях определять энтальпию h и плотность ρ теплоносителя по другим уравнениям, утвержденным в установленном порядке, имеющим оценки погрешности по сравнению с данными ГСССД.

Интегралы заменяют на соответствующие суммы, например

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} m h dt \quad \text{заменяют на} \quad \sum_{i=0}^n G_i h_i = \sum_{i=0}^n Q_i \quad ; \quad (2.13)$$

где Q_i - тепловая энергия, соответствующая i -му интервалу времени;

G_i - значение массы теплоносителя, прошедшей через трубопровод в течение i -го интервала времени;

h_i - энтальпия теплоносителя, соответствующая i -му интервалу времени;

n - количество интервалов времени, соответствующее времени измерения тепловой энергии от t_0 до t_1 .

В этих случаях оценивают погрешность от замены интеграла на соответствующую сумму, и если она существенна, то она указывается в технической документации на средства измерений и (или) методике выполнения измерений.

Вопрос осуществленности указанной погрешности рассматривается при утверждении типа средства измерений и (или) аттестации (утверждения) методики выполнения измерений.

Приложение
справочное

УРАВНЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ЭНТАЛЬПИИ ВОДЫ

1. Общие положения.

1.1. В настоящем приложении приведены уравнения определения плотности ($кг/м^3$) и энтальпии ($кДж/кг$) воды по исходным значениям температуры и абсолютного давления (при значениях абсолютного давления более значений давления насыщения).

1.2. Уравнения разработаны во Всероссийском научно-исследовательском центре по сертификации данных сырья, материалов и веществ (ВНИЦ СМВ) Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД) Госстандарта РФ (авторы Козлов А.Д., Кузнецов В.М., Лачков В.И., Мамонов Ю. В.).

1.3. Уравнения справедливы в диапазонах температуры от 0 до 300 $^\circ C$ и абсолютного давления от 0,05 до 30,0 МПа.

1.4. Оценка погрешности уравнений приведена относительно данных ГСССД для всего диапазона изменений температуры (за исключением значения $^\circ C$) и абсолютного давления.

2. Уравнения.

2.1. Плотность ρ определяют по формуле:

$$\frac{10^3}{\rho} = 114.332x - 431.6382 + \frac{706.5474}{\tau} - \frac{641.9127}{\tau^2} + \frac{349.4417}{\tau^3} - \frac{113.8191}{\tau^4} + \frac{20.5199}{\tau^5} - \frac{1.578507}{\tau^6} + \pi \left(-3.117072 + \frac{6.589303}{\tau} - \frac{5.210142}{\tau^2} + \frac{1.819096}{\tau^3} - \frac{0.2365448}{\tau^4} \right) + \pi^2 \left(-6.41744x + 19.84842 - \frac{24.00174}{\tau} + \frac{14.21655}{\tau^2} + \frac{4.13194}{\tau^3} - \frac{0.4721637}{\tau^4} \right) \quad (\text{П.1})$$

где: ρ - плотность воды, кг/м³;

τ - приведенная температура воды, равная $\tau = (t + 273.15) / 647.14$;

t - температура воды, °C;

P - приведенное абсолютное давление, равное $p = P / 22.064$;

P - абсолютное давление, МПа.

Среднеквадратическая оценка относительной погрешности уравнения дне выходит за пределы: $\pm 0,025\%$.

Максимальное значение относительной погрешности уравнения дне выходит за пределы: $\pm 0,10\%$.

2. Энтальпию h воды определяют по формуле:

$$h = 7809.09x - 13868.72 + \frac{12725.22}{\tau} - \frac{6370.893}{\tau^2} + \frac{1595.86}{\tau^3} - \frac{159.9064}{\tau^4} + \pi \left(\frac{9.488789}{\tau} \right) + \pi^2 \left(-148.113x + 224.3027 - \frac{111.4602}{\tau} + \frac{18.15823}{\tau^2} \right) \quad (\text{П.2})$$

где h - энтальпия воды, кДж/кг.

Остальные обозначения те же, что в формуле (П.1).

Среднеквадратическая оценка относительной погрешности уравнения дне выходит за пределы: $\pm 0,07$.

Максимальное значение относительной погрешности уравнения дне выходит за пределы $\pm 0,20\%$

3. Примеры сравнения результатов расчета по формулам и данных ГСССД

3.1. Рассчитанные по формулам значения плотности и энтальпии воды, данные ГСССД и относительные погрешности приведены в таблице.

Таблица

Значения температуры t и абсолютного давления P		Значения плотности ρ , кг/м ³ , и относительной погрешности d , %			Значения энтальпии, кДж/кг, и относительной погрешности d , %		
t , °C	P , МПа	ГСССД	Формула П.1	d , %	ГСССД	Формула П.2	d , %
25	0,101325	997,11	997,73	-0,06	104,84	104,84	0
	0,5	997,24	997,89	-0,07	105,21	105,21	0
	1,0	997,45	998,10	-0,07	105,67	105,68	-0,01
50	0,101325	988,04	988,24	-0,02	209,40	209,40	0
	0,5	988,20	988,43	-0,02	209,75	209,75	0
	1,0	988,43	988,68	-0,03	210,18	210,18	0
75	0,101325	974,87	974,88	0	314,01	314,15	-0,04
	0,5	975,04	975,08	0	314,33	314,47	-0,04
	1,0	975,27	975,36	-0,01	314,73	314,87	-0,04
100	0,101325	958,12	958,57	-0,05	419,06	419,16	-0,02
	0,5	958,58	958,76	-0,02	419,36	419,45	-0,02
	1,0	958,82	958,99	-0,02	419,74	419,83	-0,02
150	0,5	917,07	917,30	-0,01	632,3	631,78	+0,08
	1,0	917,36	917,55	-0,02	632,6	632,11	+0,08