

## УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В отличие от стран ближнего и дальнего зарубежья, в России, наряду с «закрытыми», широко используются «открытые» системы теплоснабжения, т.е. системы, соединяющиеся с атмосферой, когда масса возвращаемого теплоносителя меньше, чем масса поступившего в систему теплоносителя.

Степень «открытости» систем, как правило, характеризуется коэффициентом водоразбора  $f=M_2/M_1$  или коэффициентом невозврата (утечки) теплоносителя:

$$K=(M_1-M_2)/M_1=1-f \quad (1)$$

Здесь  $M_1$  – масса теплоносителя, поступившая в систему теплоснабжения потребителя по подающему трубопроводу за расчетный период, а  $M_2$  – масса теплоносителя, ушедшая из системы теплоснабжения по обратному трубопроводу за тот же период.

Нетрудно заметить, что при  $K=0$  ( $f=1$ ) система «закрыта» - «утечки» отсутствуют, а при  $K=1$  ( $f=0$ ) система полностью «открыта».

Можно также отметить, что с точки зрения Правил учета тепловой энергии [1] все «закрытые» отечественные системы теплоснабжения рассматриваются как «условно закрытые», то есть «неплотные» с несанкционированными утечками теплоносителя.

Для «закрытых» систем вопрос измерения массы и количества теплоты на сегодняшний день решен однозначно: на подающем (обратном) трубопроводах системы теплоснабжения потребителя устанавливается один преобразователь расхода, который измеряет  $M_1(M_2)$  и два термопреобразователя, подобранные в пару, которые измеряют температуру теплоносителя в подающем -  $t_1$  и обратном -  $t_2$  трубопроводах. Все преобразователи подключаются к тепловычислителю – сумматору, настроенному на конфигурацию, соответствующую месторасположению преобразователя расхода.

При этом количество теплоты, потребленное абонентом за расчетный период, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{п}} = M_1(h_1 - h_2) = M_2(h_1 - h_2), \quad (2)$$

Где  $h_1, h_2$  – энтальпия теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, соответственно.

Отметим, что состояние вопроса в «закрытых» системах в целом устраивает всех: производителей и потребителей количества теплоты, производителей теплосчетчиков, контролирующие органы (Госстандарт, Госэнергонадзор).

В «открытых» системах теплоснабжения при  $K < 0,1$  задача измерения массы теплоносителя и количества теплоты у потребителя корректно неразрешима. На эту тему опубликовано много статей, ссылки на которые можно найти в [2].

В настоящее время существует два подхода к расчету массы теплоносителя и количества теплоты в «открытых» системах теплоснабжения, которые условно назовем «физические» и «метрологические»:

1. «Физический» (традиционный) подход - на границе балансовой принадлежности в подающем и обратном трубопроводе системы теплоснабжения устанавливаются два первичных преобразователя расхода и температуры (по одному на каждом из трубопроводов), показания с которых поступают в информационно-вычислительный блок (тепловычислитель).

2. «Метрологический» (нетрадиционный) подход - наряду с первичными преобразователями расхода и температуры, установленными в подающем и обратном трубопроводе системы теплоснабжения на границе балансовой принадлежности, устанавливаются дополнительно еще два первичных преобразователя расхода: по одному в подающем и циркуляционном трубопроводе системы ГВС и один первичный преобразователь температуры в подающем трубопроводе ГВС, показания с которых поступают в основной или дополнительный тепловычислитель. Отметим, что при использовании данного подхода на практике часто встречается схема с одним первичным преобразователем расхода и одним первичным

преобразователем температуры, установленными в подающем трубопроводе системы ГВС; циркуляционный трубопровод системы ГВС или отсутствует, или не функционирует.

При первом («физическом») подходе расчет массы теплоносителя  $M_{\Pi}$  и количества теплоты  $Q_{\Pi}$ , потребленных абонентом за расчетный период, производится по формулам:

$$M_{\Pi 1} = M_1 - M_2 = M_{\text{пр}} + M_{\text{непр}} \quad (2)$$

$$Q_{\Pi 1} = Q_1 - Q_2 = M_1(h_1 - h_{\text{ХВ}}) - M_2(h_2 - h_{\text{ХВ}}), \quad (3)$$

а при втором подходе («метрологическом»), эти же величины рассчитываются по формулам

$$M_{\Pi 2} = M_{\text{пр}} = M_{\text{ГВС}} = M_3 - M_4 \quad (4)$$

$$Q_{\Pi 2} = M_1(h_1 - h_2) + M_{\Pi 1}(h_2 - h_{\text{ХВ}}) \quad (5)$$

$$Q_{\Pi 2} = M_2(h_1 - h_2) + M_{\Pi 1}(h_1 - h_{\text{ХВ}}) \quad (6)$$

Отметим также, что иногда при втором подходе для расчета величины  $Q_{\Pi 2}$  используется формула

$$Q_{\Pi 2} = M_2(h_1 - h_2) + M_{\Pi 2}(h_3 - h_{\text{ХВ}}) \quad (7)$$

В этих формулах  $M_3$ ,  $M_4$  - масса теплоносителя, прошедшего за расчетный период по подающему и циркуляционному трубопроводу системы ГВС;  $M_{\text{пр}}$  - производительные утечки теплоносителя, т.е. масса теплоносителя, израсходованная за расчетный период на нужды ГВС;  $M_{\text{непр}}$  - непроизводительные, т.е. несанкционированные утечки теплоносителя в системе теплоснабжения потребителя;  $h_3$  - энтальпия теплоносителя в подающем трубопроводе системы ГВС потребителя;  $h_{\text{ХВ}}$  - энтальпия холодной воды, измеряемая на источнике теплоты или принимаемая в качестве константы, вводимой в тепловычислитель.

Нетрудно заметить, что при  $M_{\text{непр}}=0$  и  $M_4>0$  формулы (2) и (4) эквивалентны, как с точки зрения математики:  $M_{\Pi 1} = M_1 - M_2 = M_{\text{пр}} = M_{\Pi 2} = M_{\text{ГВС}} = M_3 - M_4$ , так и с точки зрения метрологии  $\delta M_{\Pi 1} = \delta(M_1 - M_2) \cong \delta M_{\Pi 2} = \delta(M_3 - M_4)$ . Однако, при  $M_4 = M_{\text{непр}} = 0$  эти формулы эквивалентны с точки зрения математики:  $M_{\Pi 1} = M_1 - M_2 = M_{\text{пр}} = M_{\Pi 2} = M_{\text{ГВС}} = M_3$ , но не эквивалентны с точки зрения метрологии:  $\delta M_{\Pi 1} = \delta(M_1 - M_2) > \delta M_{\Pi 2} = \delta M_3$ .

Это связано с тем, что при косвенном измерении массы утечки теплоносителя по разности масс возникает методическая погрешность измерения разности, которая во много раз больше погрешности отдельных расходомеров, установленных на отдельных трубопроводах.

Как показано в [3,4], при косвенном измерении утечки теплоносителя по разности масс  $M_{\Pi 1} = M_1 - M_2$ ,  $M_{\Pi 2} = M_3 - M_4$ , относительная погрешность измерения массы утечки теплоносителя при  $\delta M_1 = \delta M_2 = \delta M_3 = \delta M_4 = \delta M$  рассчитывается по формуле:

$$\delta M_{\Pi 1} = \delta M_{\Pi 2} = K_M \delta M, \quad (8)$$

где  $K_M$  – методический коэффициент, зависящий от степени «открытости» системы  $f$  и соответственно от коэффициента невозврата  $K=1-f$ . Причем при  $0,01 < K < 0,1$  методический коэффициент  $K_M$  изменяется в пределах от 14 до 200 %.

Однако, при  $M_4 = M_{\text{непр}} = 0$  картина резко меняется:  $\delta M_2 = \delta M_3 \leq \delta M_{\text{доп}} = 2\%$ , в то время, как  $\delta M_{\Pi 1}$  рассчитывается по формуле (8).

Таким образом, с точки зрения физики и здравого смысла формула (2) является наиболее достоверной, так как при расчетах по ней учитываются все утечки теплоносителя производительные – на нужды ГВС и непроизводительные – несанкционированные утечки: утечки теплоносителя через прохудившиеся трубы и неисправную запорную арматуру, отбор теплоносителя на внутренние хозяйственные нужды и т.д. Однако достоверность результатов расчета утечки теплоносителя по этой формуле с точки зрения метрологии чрезвычайно низка, особенно при коэффициенте невозврата  $K < 0,1$ .

Наоборот, при расчетах утечки теплоносителя по формуле (4) при отсутствии циркуляции ( $M_4=0$ ), достоверность результатов расчета чрезвычайно низка, так как в России практически все системы теплоснабжения «неплотные», т.е. с несанкционированными утечками ( $M_4>0$ ). Однако с точки зрения метрологии достоверность результатов расчета утечки теплоносителя в этом случае чрезвычайно высока, так как зависит только от относительной погрешности расходомера, установленного в подающем трубопроводе системы ГВС.

Аналогично можно показать, что формулы (3), (5) и (6) эквивалентны с точки зрения математики, но формула (3) не эквивалентна формуле (7). Эти формулы эквивалентны с

точки зрения математики только при  $M_{II2}=M_{III}=M_1-M_2$ , т.е.  $M_{непр}=0$  и при  $h_3=h_2$ . В противном случае, формула (7) противоречит первому началу термодинамики.

С точки зрения метрологии формулы (5) и (6) дают более достоверный результат, чем формула (3), однако менее достоверный, чем формула (7), когда  $M_4=0$  и  $M_{II2}=M_3$ . Это связано, как было указано выше, с методической погрешностью, возникающей при косвенном измерении разности измеряемых величин  $Q_{III}=Q_1-Q_2$  и  $M_{III}=M_1-M_2$ .

Чтобы ответить на вопрос: «Какой из двух подходов: традиционный – по формулам (2) и (3) или нетрадиционный – по формулам (4), (5), (6), (7) предпочтительнее использовать в открытых системах теплоснабжения потребителей?», в г. Хабаровске было решено провести эксперимент.

Для этой цели тепловые узлы потребителей, принимающих участие в эксперименте, были оснащены приборами учета тепла и воды. Отметим, что все эти потребители были подключены к тепловым сетям по зависимой схеме с открытой системой ГВС.

Типы приборов учета и места их установки приведены в табл.1.

Таблица 1

Потребитель	Место установки			
	Подающий трубопровод	Обратный трубопровод	Трубопровод ГВС	Циркуляционный трубопровод ГВС
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
1. Гостиница «Амур»	Теплосчетчик КМ 5-4 $d_v=50$		Водосчетчик ВСТ $d_v=40$	Водосчетчик ЕТН1 $d_v=20$
			Тепловычислитель СПТ	
2. Средняя школа № 49	Теплосчетчик КМ 5-4 $d_v=50$		Водосчетчик ВСГ $d_v=40$	-
3. Средняя школа № 53	Теплосчетчик КМ 5-6 $d_v=50$		Водосчетчик ВСТ $d_v=40$	-
4. Интернат № 31	Теплосчетчик КМ 5-4 $d_v=40$		Водосчетчик ВСТ $d_v=40$	-
5. Дом отдыха локомотивных бригад	Теплосчетчик КМ 5-4 $d_v=40$		Теплосчетчик КМ 5-1 $d_v=25$	-
6. Детский сад № 66	Теплосчетчик КМ 5-4 $d_v=50$		Теплосчетчик КМ 5-1 $d_v=25$	-

Как видно из таблицы 1, у всех потребителей на входе системы теплоснабжения установлены теплосчетчики КМ-5, которые реализуют алгоритм (3) и (5). Кроме этого, у всех потребителей, кроме гостиницы «Амур», на системе ГВС установлено по одному водосчетчику, так как на всех объектах циркуляционный трубопровод ГВС или заглушен, или отсутствует. На гостинице «Амур» в системе ГВС установлены два водосчетчика: один на основном трубопроводе, а другой в циркуляционном контуре ГВС. Показания с водосчетчиков, установленных на системе ГВС, поступают в тепловычислитель СПТ 941.

Отметим, что наибольшее внимание при проведении эксперимента уделялось измерению утечек теплоносителя, так как именно эти результаты измерения наименее достоверны.

В табл. 2 приведены обобщенные данные по среднемесячным утечкам теплоносителя для различных объектов за октябрь 2002 – март 2003 г., полученных двумя различными способами.

Как было отмечено выше, циркуляция теплоносителя в системе ГВС имела место только на гостинице Амур, на остальных объектах – она отсутствовала. Поэтому масса теплоносителя, израсходованная на нужды ГВС, рассчитывалась по формуле (4) на гостинице Амур и по формуле (9) – на всех остальных объектах.

Отметим также, что в январе 2003 г. система ГВС на школах № 49 и 53 была отключена из-за неуплаты, и поэтому данные по январю для этих объектов отсутствуют.

Из табл. 2 видно, что разница между утечками теплоносителя, рассчитанными по различным методикам: формулы (3) и (4) для объектов гостиница «Амур», д/с № 66, дом

отдыха локомотивных бригад колеблется в пределах от -3 до +8 %, а для других объектов она колеблется в пределах от -8 до 93 %.

Таблица 2

Среднемесячные утечки теплоносителя с октября 2002 г. по март 2003 г.

Объект	Месяц	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>П</sub> = M <sub>1</sub> -M <sub>2</sub>	K= M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>ПР</sub> = M <sub>3</sub> -M <sub>4</sub>	(M <sub>П</sub> -M <sub>ПР</sub> )/ M <sub>П</sub>
		тонн				тонн			%
Интернат № 31	октябрь	2601	2300	301	0,11	112	-	112	63
	ноябрь	2323	2093	230	0,1	100	-	100	57
	декабрь	4712	4318	394	0,08	424	-	424	-8
	январь	3639	3466	173	0,05	160	-	160	7,5
	февраль	3518	3268	250	0,07	203	-	203	19
	март	3438	3159	279	0,08	213	-	213	24
Гостиница Амур	октябрь	1894	1342	552	0,3	611	75	536	3
	ноябрь	4310	3632	678	0,16	1118	420	698	-3
	декабрь	3853	3285	568	0,15	825	257	568	0
	январь	4466	3943	557	0,12	817	303	548	1,5
	февраль	4146	3582	564	0,14	801	250	551	2
	март	3535	2951	584	0,16	765	190	575	1,5
Средняя школа № 53	ноябрь	4419	4130	289	0,06	76	-	76	74
	декабрь	5471	5184	287	0,05	62	-	62	78
	февраль	5976	5621	355	0,06	77	-	77	78
	март	4328	3893	435	0,1	92	-	92	79
Средняя школа № 49	ноябрь	6072	3527	2545	0,58	175	-	175	93
	декабрь	5384	4990	394	0,07	152	-	152	61
	февраль	5328	5083	245	0,05	58	-	58	76
	март	4751	4523	228	0,05	71	-	71	69
Дом отдыха локомотивных бригад	декабрь	1284	879	405	0,34	411	-	411	-1,5
	январь	1303	818	485	0,37	439	-	459	5,0
	февраль	1974	1476	498	0,25	514	-	514	-3
	март	2228	1872	356	0,16	365	-	365	-2,5
Детский сад № 66 ДВЖД	декабрь	1037	872	165	0,16	160	-	150	3
	январь	946	813	133	0,14	137	-	137	-3
	февраль	1480	1262	218	0,15	225	-	225	-3
	март	1603	1325	278	0,17	278	-	278	0

Это можно объяснить следующим образом. Все объекты, кроме средних школ и интерната, ведомственные и обслуживаются штатным персоналом, который следит за состоянием системы теплоснабжения объекта и оперативно устраняет «непроизводительные» утечки теплоносителя. Поэтому «непроизводительные» утечки в системе теплоснабжения объектов практически отсутствуют и теплоноситель расходуется только на нужды ГВС. В этом случае разброс значений утечек теплоносителя, рассчитанных различными способами составляет -3÷ +5 %.

Тепловое хозяйство школ и интерната находится в запущенном состоянии и практически не обслуживается, имеются «непроизводительные» утечки теплоносителя через запорно-регулирующую арматуру, неплотности в трубопроводах системы теплоснабжения, также наблюдался периодический сброс теплоносителя из системы отопления в ноябре-декабре 2002 г. из-за недостаточного располагаемого перепада давления на входе.

В системе теплоснабжения этих объектов имеются значительные «непроизводительные» утечки и поэтому разброс в результатах расчета утечек теплоносителя, полученных различными способами, составляет в этом случае -8÷ +63 %.

В табл. 3 приведены среднесуточные утечки теплоносителя, рассчитанные по двум различным методикам, для наиболее характерных недель.

## Суточные утечки теплоносителя

Объект	Дата	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>П</sub> = M <sub>1</sub> -M <sub>2</sub>	K= M <sub>П</sub> /M <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>ГВС</sub> = M <sub>3</sub> -M <sub>4</sub>	(M <sub>П</sub> -M <sub>ГВС</sub> )/ M <sub>П</sub>	
		тонн				тонн				%
Детский сад № 66	13.01.03	48,2	37,9	10,2	0,2	10,6	0	10,6	-4	
	14.01.03	47,4	40,0	7,4	0,2	7,8	0	7,8	-5	
	15.01.03	48,4	38,5	9,9	0,2	10,3	0	10,3	-4	
	16.01.03	51,3	41,6	9,7	0,2	10,1	0	10,1	-5	
	17.01.03	49,5	40,7	8,8	0,2	9,3	0	9,3	-5	
	18.01.03	47,9	45,6	2,3	0,1	2,6	0	2,6	-13	
	19.01.03	48,0	43,3	4,7	0,1	5,1	0	5,1	-7	
	ИТОГО	340,7	287,7	53,1	0,2	55,8	0	55,8	-5	
Дом отдыха локомотивных бригад	13.01.03	62,4	44,7	17,8	0,3	18,2	0	18,2	-2	
	14.01.03	62,3	44,5	17,8	0,3	18,4	0	18,4	-3	
	15.01.03	62,8	41,5	21,3	0,3	22,0	0	22,0	-3	
	16.01.03	62,2	39,2	23,0	0,4	23,5	0	23,5	-2	
	17.01.03	62,0	44,3	17,8	0,3	18,9	0	18,9	-6	
	18.01.03	62,0	38,8	23,1	0,4	21,7	0	21,7	6	
	19.01.03	61,7	38,3	23,4	0,4	25,9	0	25,9	-11	
	ИТОГО	435,5	291,3	144,2	0,3	148,6	0	148,6	-3	
Гостиница Амур	13.01.03	138,2	122,2	16,0	0,1	21,7	9,6	12,1	24	
	14.01.03	136,6	119,1	17,5	0,1	24,6	9,4	15,2	13	
	15.01.03	138,4	119,0	19,4	0,1	26,3	9,4	16,9	13	
	16.01.03	141,9	120,3	21,5	0,2	27,8	9,0	18,9	12	
	17.01.03	140,1	120,9	19,2	0,1	28,7	8,1	20,6	-7	
	18.01.03	139,2	120,4	18,8	0,1	27,0	8,8	18,3	3	
	19.01.03	138,2	119,9	18,2	0,1	26,4	8,3	18,1	1	
	ИТОГО	972,4	841,8	130,7	0,1	182,4	62,4	120,0	8	
Средняя школа № 53	16.12.02	177,8	171,2	6,6	0,0	3,2	0	3,2	52	
	17.12.02	188,1	181,2	6,9	0,0	3,2	0	3,2	53	
	18.12.02	176,5	169,6	6,9	0,0	3,0	0	3,0	57	
	19.12.02	146,7	139,5	7,2	0,1	3,2	0	3,2	55	
	20.12.02	151,1	144,1	7,0	0,1	3,3	0	3,3	52	
	21.12.02	138,5	132,8	5,7	0,0	2,2	0	2,2	62	
	22.12.02	129,5	126,4	3,1	0,0	0,2	0	0,2	95	
	ИТОГО	1108,2	1064,8	43,3	0,0	18,2	0	18,2	58	
Средняя школа № 49	16.12.02	200,4	189,9	10,4	0,1	7,2	0	7,2	31	
	17.12.02	198,2	187,6	10,6	0,1	6,9	0	6,9	35	
	18.12.02	161,1	149,4	11,8	0,1	7,7	0	7,7	35	
	19.12.02	170,2	159,6	10,6	0,1	6,9	0	6,9	35	
	20.12.02	153,2	124,7	28,5	0,2	4,1	0	4,1	86	
	21.12.02	140,9	113,4	27,5	0,2	7,0	0	7,0	75	
	22.12.02	152,7	129,5	23,2	0,2	7,1	0	7,1	69	
	ИТОГО	1176,6	1054,1	122,6	0,1	46,9	0	46,9	62	

Как видно из табл. 3, чем больше водоразбор, тем меньше различие между утечками теплоносителя, рассчитанными по различным методикам: формула (2) или (4). Это связано с тем, что относительная погрешность измерения утечки теплоносителя при использовании формул (2) и (4) зависит от методического коэффициента  $K_M$ , который в свою очередь зависит от коэффициента водоразбора  $f$ .

В табл. 4 приведены результаты эксперимента по среднесуточному теплоснабжению объектов, для некоторых наиболее характерных суток.

Отметим, что с точки зрения математики  $Q_{П}$  рассчитываемое по формуле (3), и  $Q_{П}^I$ , рассчитываемое по формуле (5) эквивалентны, но с точки зрения метрологии формула (5)

предпочтительнее, так как при этом меньше относительная погрешность вычисления потребленного абонентом тепла  $\delta Q_{\Pi}$ .

Как видно из табл. 4, различие между теплотреблением объекта, рассчитанным по формуле (5) и (6) составляет от  $-1$  до  $+5$  %, хотя различие между утечками теплоносителя, рассчитанными по формулам  $M_{\Pi}=M_1-M_2$  и  $M_{\Pi}=M_{ГВС}=M_3-M_4$ , может достигать 86 % (средняя школа № 49 за 20.12.02).

В табл. 4 приведены также данные по теплотреблению  $Q''_{\Pi}$ , рассчитанные по формуле (7), но при  $h_3=h_2$ . В этом случае различие между теплотреблением объекта, рассчитанном по формуле (3) -  $Q_{\Pi}$  и формуле (7) -  $Q''_{\Pi}$  составляет от  $-2$  до  $+20$  %. Однако, как было сказано выше, с точки зрения математики  $Q_{\Pi}$  и  $Q''_{\Pi}$  не эквивалентны и поэтому  $Q''_{\Pi}$  нельзя использовать при расчетах за потребленное тепло.

Таблица 4

Среднесуточное теплотребление

Объект	Дата	$M_1$	$t_1$	$t_2$	$Q_{\Pi}$	$M_{\Pi}$	$Q''_{\Pi}$	$\delta^{\downarrow}_{Q}$	$M_{ГВС}$	$Q''_{\Pi}$	$\delta^{\prime\prime}_{Q}$
		т	°С	°С	Гкал	т	Гкал	%	т	Гкал	%
Гостиница Амур	13.01	138	89	53	5,7	16	5,74	-0,7	12	5,55	2,6
	14.01	137	87	51	5,69	17	5,7	-0,2	15	5,61	1,9
	17.01	140	88	52,5	5,9	19	5,87	0,5	21	5,97	-1,5
Дом отдыха локомотивных бригад	18.01	62	91	54	3,42	23	3,4	0,6	22	3,37	1,5
	19.01	62	91	53	3,44	26	3,6	-4,7	23	3,46	-0,6
Детский сад № 66	17.01	50	87,5	56,5	1,99	9	2,01	-1,0	9	2,01	-1
	18.01	48	87	55,5	1,63	2	1,61	1,2	3	1,66	-1,8
Средняя школа № 53	16.12	178	96	60	6,73	7	6,79	-0,9	3	6,6	1,9
	21.12	138	92,5	54,5	5,55	6	5,54	0,2	2	5,34	3,8
	22.12	129	93	53	5,33	3	5,33	0	0	5,16	3,2
Средняя школа № 49	17.12	198	96	64	7,06	11	6,99	1,0	7	6,75	4,4
	20.12	153	90,5	57,5	6,52	28	6,52	0,9	4	5,26	20,0
	21.12	141	91	55	6,4	27	6,43	-0,5	7	5,43	15
	22.12	153	91	56	6,55	23	6,53	0,3	7	5,71	12,8

В табл. 4 приняты следующие обозначения:  $Q_{\Pi}=Q_1-Q_2$ ;  $M_{\Pi}=M_1-M_2$

$Q''_{\Pi}=M_1(h_1-h_2)+M_{\Pi}(h_2-h_{ХВ})$ ;  $\delta^{\downarrow}_{Q}=(Q_{\Pi}-Q''_{\Pi})/Q_{\Pi}$ ;  $M_{ГВС}=M_3-M_4$ ;

$Q_{\Pi}=M_2(h_1-h_2)+M_{ГВС}(h_2-h_{ХВ})$ ;  $\delta^{\prime\prime}_{Q}=(Q_{\Pi}-Q''_{\Pi})/Q''_{\Pi}$ .

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение числа водосчетчиков, устанавливаемых на всех трубопроводах открытой системы водяного теплоснабжения, приводит лишь к увеличению стоимости и усложнениям узла учета и не дает желаемого результата – повышения достоверности результатов измерения.
2. Наиболее целесообразно использовать традиционную форму учета с установкой теплосчетчика, состоящего из двух преобразователей расхода и температуры. Отметим, что этот вариант наиболее предпочтителен с точки зрения энергоснабжающей организации и менее предпочтителен для потребителя, так как он в этом случае не может бесплатно использовать теплоноситель на непроизводственные нужды, например, отбирая теплоноситель из контура отопления на мытье автотранспорта и т.д.
3. Перейти от «открытых» систем теплоснабжения к «закрытым».
4. Разработать (концепция приведена в [5]) дифференциальный расходомер, «прямым» методом измеряющий разность масс между подающим и обратным трубопроводом системы теплоснабжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. Главгосэнергонадзор. М., Изд-во МЭИ, 1995.
2. Канев С.Н. Два различных подхода к измерению количества теплоты и массы теплоносителя в открытых системах теплоснабжения // Материалы 17-й международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей». СПб., 2003.
3. Новицкий П.В. Методические погрешности узлов учета при косвенном определении разности измеряемых величин // Материалы шестого научно-технического семинара «Коммерческий учет энергоносителей». СПб., 1997.
4. Зуев П.И., Туберг С.А. Метрологические аспекты приборного учета тепловой энергии и потерь теплоносителя в водяных системах теплоснабжения // Материалы 15-й международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей». СПб., 2002.
5. Глухов А.П. Дифференциальный расходомер. Концепция, варианты схемных решений, перспективы использования // Материалы 17-й международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей». СПб., 2003.