

Ա.Ս. ՇԱՂԱՍՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՉԱՓՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ներկայացված են ջերմային էներգիայի չափման ճշգրտության բարձրացման ուղիները, չափիչ սարքերի ընտրման ու շահագործման պահանջները և սխալների հաշվարկի բանաձևերը:

Առանցքային բառեր. ջերմային էներգիա, ջերմամատակարարման բաց և փակ համակարգեր:

Ջերմային էներգիայի չափման ճշգրտության բարձրացումն ունի կարևոր տնտեսական նշանակություն ինչպես ջերմամատակարարող կազմակերպության, այնպես էլ սպառողի համար:

Փակ ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմային էներգիայի ծախսը որոշվում է օրենսդրական չափագիտության Միջազգային կազմակերպության կողմից R75 փաստաթղթով [1] առաջարկված բանաձևով՝

$$Q = Q_1 - Q_2 = M(h_1 - h_2), \quad (1)$$

որտեղ M -ը ջերմակրիչի հոսքն է տաք (ուղիղ) և սառը (հետադարձ) խողովակաշարերով, h_1 -ը և h_2 -ը ջերմակրիչի էնթալպիաներն են համապատասխանաբար տաք և սառը խողովակաշարերում:

Այս դեպքում ջերմային էներգիայի մատակարարը հաշվի է առնում նաև ջերմակրիչի ներքին կորուստները: Բանաձևից հետևում է, որ շատ կարևոր է ոչ միայն ջերմաստիճանների և դրանց տարբերության ճշգրիտ չափումը, որոնցից կախված են էնթալպիաները, այլ նաև ջերմակրիչի ծախսի (M) չափումը:

Բաց ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմային էներգիայի ծախսը որոշվում է ըստ

$$Q = M_1 h_1 - M_2 h_2 \quad (2)$$

բանաձևի, որտեղ M_1 -ը և M_2 -ը՝ ջերմակրիչի հոսքն են (ծախսը) համապատասխանաբար տաք և սառը խողովակաշարերով:

Ջերմային էներգիայի ծախսի չափման սխալը հիմնականում պայմանավորված է սարքերի մշտառկա սխալներով ու դրանց նշանով, սակայն սարքերի ստուգաչափման դեպքում որոշվում է դրանց պատկանելիությունը նշված ճշգրտության դասին: Այս դեպքում ջերմային էներգիայի չափման սխալը հնարավոր է որոշել սարքերի մշտառկա սխալների հանրահաշվական գումարման միջոցով:

Եթե ջերմային էներգիայի չափման սխալը որոշվի ըստ սարքերի ճշգրտության դասերի, առանց հաշվի առնելու դրանց սխալների նշաններն ու իրական արժեքները, ապա կորոշվի չափման սխալի ամենամեծ սահմանային արժեքը, որը չի համապատասխանի իրականությանը: Հետևաբար նպատակահարմար է պարբերական ստուգաչափումից հետո շահագործողներին տրամադրել մշտառկա սխալների ստացված արժեքները ստուգման կետերում, որը կնպաստի չափման սխալի ավելի ճշգրիտ որոշմանը:

Փակ ջերմամատակարարման համակարգում չափված ջերմային էներգիան՝

$$Q_{\square} = M(h_1 - h_2) + M\delta_M(h_1 - h_2) + M(h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2}) + M\delta_M(h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2}), \quad (3)$$

որտեղ δ_{M1} -ը ջրի զանգվածի չափման սխալն է, δ_{h1} -ը և δ_{h2} -ը՝ էնթալպիաների չափման սխալները:

Հետևաբար, ջերմային էներգիայի չափման բացարձակ սխալը՝

$$\Delta Q = M(h_1 - h_2) \left[\delta_M + \frac{h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2}}{h_1 - h_2} + \frac{\delta_M(h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2})}{h_1 - h_2} \right], \quad (4)$$

իսկ հարաբերական սխալը՝

$$\delta Q = \delta_M + \frac{h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2}}{h_1 - h_2} (1 + \delta_M): \quad (5)$$

Գործնականում բանաձև (5)-ի աջ մասում կարելի է անտեսել $\delta_M \ll 1$, հետևաբար կստանանք՝

$$\delta Q \approx \delta_M + \frac{h_1\delta_{h1} - h_2\delta_{h2}}{h_1 - h_2} : \quad (6)$$

Եթե ընդունենք $\delta_{h1} = \delta_{h2} = \delta_h$, ապա

$$\delta Q \approx \delta_M + \delta_h : \quad (7)$$

Բանաձև (7)-ից հետևում է, որ ջերմության քանակի չափման սխալը ամենամեծն է, երբ ջերմակրիչի ծախսի ու ջերմաստիճանների չափման սխալներն ուղիղ ու հետադարձ խողովակաշարերում նույն նշանի են և այդ տվիչներն ընտրված (համաձայնեցված) չեն:

Բաց ջերմամատակարարման համակարգում ջերմային էներգիայի չափման սխալը կստացվի՝

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\square F} &= M_1 h_1 (\delta_{M1} + \delta_{h1} + \delta_{M1} \delta_{h1}) - M_2 h_2 (\delta_{M2} + \delta_{h2} + \delta_{M2} \delta_{h2}) \approx \\ &\approx M_1 h_1 (\delta_{M1} + \delta_{h1}) - M_2 h_2 (\delta_{M2} + \delta_{h2}) : \end{aligned} \quad (8)$$

Եթե ընդունենք $M_1 h_1 = k M_2 h_2$, ապա

$$\Delta Q \approx M_1 h_1 \left[\delta_{M1} + \delta_{h1} - \frac{1}{k} (\delta_{M2} + \delta_{h2}) \right], \quad (9)$$

իսկ հարաբերական սխալը՝

$$\delta Q = \frac{k}{k-1} \left[\delta_{M1} + \delta_{h1} - \frac{1}{k} (\delta_{M2} + \delta_{h2}) \right] = \frac{k}{1-k} (\delta_M + \delta_h), \quad (10)$$

որտեղ $k = M_1 h_1 / M_2 h_2 > 1$, $\delta_M = \delta_{M1} - \delta_{M2} / k$, $\delta_h = \delta_{h1} - \delta_{h2} / k$:

(5) ու (10) բանաձևերից հետևում է, որ մշտառկա սխալի փոքրացման համար անհրաժեշտ է, որ էնթալպիաների և ջրի ծախսի չափման մշտառկա սխալները լինեն նույն նշանով: Քանի որ կարելի է ընդունել $h \approx k_t t$ ($k_t = 4,21 \text{ ՄՋ/}^\circ\text{C}$, երբ

ջերմաստիճանները գտնվում են 10°C -ից մինչև 150°C , իսկ ճնշումը՝ $0,1$ -ից մինչև $1,0$ ՄՊա), ապա ջերմային էներգիայի չափման համակարգերում անհրաժեշտ է օգտագործել զույգ ընտրված պլատինե դիմադրության ջերմակերպափոխիչներ (ԴՋ), որոնցից յուրաքանչյուրը հետագայում չի կարելի փոխարինել այլ ԴՋ-ով, այսինքն համափոխարինելիությունը կարելի է ապահովել միայն զույգ ընտրված ԴՋ-ներով: Նշված պահանջը չբավարարելու դեպքում կարող է առաջանալ զգալի սխալ: Քանի որ շահագործման ընթացքում ԴՋ-ների բնութագրերը կարող են փոփոխվել, ապա անհրաժեշտ է պարբերաբար (տարեկան մեկ անգամ) կատարել դրանց ստուգաչափում և արդյունքները գրանցել համապատասխան գրանցամատյանում: Ստուգաչափումից հետո ԴՋ-ները պետք է տեղադրել նախկին դիրքերում (մտնող ու դուրս եկող խողովակաշարերում), նախապես համարակալելով, որովհետև տեղերը փոխելիս կփոխվի չափման սխալի նշանը (դա կարող է հանգեցնել ինչպես համարժեք սխալի փոքրացմանը, այնպես էլ մեծացմանը): Նույնը կարելի է նշել նաև ջերմակրիչի զանգվածի չափման սարքերի ընտրության համար:

Ընդհանուր դեպքում δ_M և δ_n սխալները պատահական են ու անկախ, հետևաբար կստանանք՝

$$\tilde{\delta}_Q = \sqrt{\tilde{\delta}_M^2 + \tilde{\delta}_n^2} : \quad (11)$$

Ջրի ջերմաստիճանի չափման համար ԴՋ-ը ամրացվում է խողովակի ներսում, իսկ խողովակի հետ միացման կետի ջերմաստիճանը տարբերվում է աշխատանքային նյութի(ջրի) ջերմաստիճանից: Դրա հետևանքով առաջանում է ջերմաստիճանի չափման մեթոդական սխալ, որը կախված է նաև ԴՋ-ի պատյանով դեպի խողովակը ջերմության հաղորդմամբ ու ճառագայթման ջերմափոխանակությամբ: Այդ սխալը կարելի է ճիշտ որոշել միայն փորձնական հետազոտությունների միջոցով: Ընդունելով, որ ԴՋ-ի ջերմաստիճանը գծայնորեն է կախված ընկղմված մասի երկարությունից, ջերմաստիճանի չափման մեթոդական սխալը կստացվի [2]՝

$$\Delta_{\square\square} = t_{\square} - t_{\square} = -\frac{t_{\square} - t_{\square}}{\text{ch}(lm)}, \quad (12)$$

որտեղ $t_{\square}$ -ն ջրի իրական ջերմաստիճանն է, $t_{\square}$ -ն՝ չափումից ստացված ջերմաստիճանը, $t_{\square}$ -ն՝ խողովակի ջերմաստիճանը միացման կետում,

$m = \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda\delta}}$, l -ը ԴՋ-ի երկարությունն է խողովակի ներսում, λ -ն՝ ԴՋ-ի պատյանի ջերմահաղորդականության գործակիցը, δ -ն՝ ԴՋ-ի պատյանի հաստությունը, α -ն՝ հեղուկից ԴՋ-ին ջերմահաղորդականության գործակիցը:

Ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմաստիճանների տարբերության չափման մեթոդական սխալը՝

$$\begin{aligned} \Delta_{\square\square} &= (t_{\square\square} - t_{\square\square}) - (t_{\square\square} - t_{\square\square}) = \Delta_{\square\square\square\square} \Delta_{\square\square\square\square} \\ &= -\frac{t_{\square\square\square} - t_{\square\square\square}}{\text{ch}(lm)} + \frac{t_{\square\square\square\square} - t_{\square\square\square\square}}{\text{ch}(lm)} = \frac{\Delta t_{\square} + \Delta t_{\square}}{\text{ch}(lm)}, \end{aligned} \quad (13)$$

որտեղ $\Delta t_2 = -(t_{2 \text{ տաք}} - t_{2 \text{ սառը}})$, $\Delta t_1 = t_{1 \text{ տաք}} - t_{1 \text{ սառը}}$:

Եթե ԴՋ-ի զգայուն մասի երկարությունն l_{qq} է, ապա մեթոդական սխալի բանաձևում կմտնի նաև $b = l_{qq}/l$ գործակիցը [2]՝

$$\Delta_{\square\square} = \frac{\Delta t_{\square} + \Delta t_{\square}}{ch(lm)} \cdot \frac{sh(lm)}{lmb} = (\Delta t_{\square} + \Delta t_{\square}) \frac{sh(lmb)}{lmbch(lm)} : \quad (14)$$

Եթե $l=0,2$ մ, $l_{qq}=0,1$ մ, $\lambda \approx 68$ Վմ/(մ·Կ), $\delta=0,002$ մ, $\alpha \approx 0,95$, կստանանք՝
 $m \approx 2,6$, $lmb=0,26$ և $ch=(0,52)=1,138$, $sh=(0,26)=0,263$:

Հետևաբար՝

$$\frac{sh(lmb)}{lmbch(lm)} \approx 0,888 \quad \text{և} \quad \Delta_{\square\square} \approx 0,89(\Delta t_{\square} + \Delta t_{\square}) : \quad (15)$$

(13) բանաձևից հետևում է, որ $\Delta t_{\square}$ -ն և $\Delta t_{\square}$ -ն տարբեր նշաններ ունեն, հետևաբար սխալի փոքրացման համար անհրաժեշտ է ջերմամեկուսացնել ԴՋ-ի՝ խողովակի հետ միացման հանգույցը (այդ դեպքում $\Delta t_{\square} \approx \Delta t_{\square}$): Եթե ջերմամեկուսացում չկատարվի, ապա մեծ $\Delta t_{\square}$ -ի դեպքում այդ սխալը կարող է ստացվել զգալիորեն մեծ:

Ջերմակրիչի զանգվածային ծախսը՝ $M=V\rho$, սովորաբար որոշվում է ծավալային ծախսաչափի միջոցով, որտեղ ρ -ն ջրի խտությունն է, որը կախված է ջերմաստիճանից ու ճնշումից (սովորաբար ընդունվում է $\rho=983$ կգ/մ³, երբ $t=60$ °C, $P=1,6 \cdot 10^6$ Պա), V-ն՝ ծախսված ջերմակրիչի ծավալը:

Հետևաբար, ջերմակրիչի զանգվածի չափման հարաբերական սխալը կորոշվի

$$\delta_M = \delta_v + \delta_{\rho} \quad (16)$$

բանաձևով, որտեղ δ_v -ն ջերմակրիչի ծավալի չափման սխալն է, δ_{ρ} -ն՝ ջերմակրիչի խտության որոշման սխալը:

Հիմնականում $\delta_{\rho} < 0,2\%$, հետևաբար կարելի է ընդունել

$$\delta_Q = \delta_M = \delta_v : \quad (17)$$

Ջերմային էներգիայի չափման համակարգերում ջրի ծախսի չափման համար նպատակահարմար է օգտագործել էլեկտրամագնիսական և ուլտրաձայնային կերպափոխիչներ, որոնք չեն մտցնում ճնշման լրացուցիչ փոփոխություն, ունեն էլեկտրական ելքային ազդանշան ու բարձր ճշգրտություն լայն աշխատանքային տիրույթում:

Սխալի փոքրացման հարցում կարևոր նշանակություն ունի ջերմաստիճանների և դրանց տարբերության չափումը բարձր ճշգրտությամբ, որը հնարավոր է միայն թվային չափիչ սարքերի օգտագործման դեպքում: Ելնելով ընտրված ջերմաստիճանի տվիչների և ծախսաչափերի բնութագրերից՝ պետք է մշակվի ջերմության քանակի չափման թվային սարքավորման կառուցման սկզբունքը՝ ժամանակակից տարրերի օգտագործումով: Նպատակահարմար է ջերմային էներգիայի ծախսի կերպափոխումը հաճախության, որի ինտեգրման միջոցով կարելի է բարձր ճշգրտությամբ չափել ջերմային էներգիայի ծախսը: Ջերմային էներգիայի հաշվիչը (ՋԷՀ) չափիչ համակարգ է, որը նախատեսված է ջերմային էներգիայի կոմերցիոն հաշվառման համար, և բաղկացած է մուտքային ու ելքային խողովակներում ջերմակրիչի առանձին ֆիզիկական պարամետրերի չափման

միջոցներից և հաշվիչ սարքավորումից, որի միջոցով որոշվում է ծախսված ջերմաքանակը՝ պարամետրերի չափման միջոցների ազդանշաններով:

Աղյուսակ

ՋԷՀ-ի դասը	$\delta_0, \%$	$\Delta t_g, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_p, ^\circ\text{C}$
C	$\pm(2+4 \Delta t_g / \Delta t+0,01 M_p/M)$	1;2;3	$t_{w2p} - 5 ^\circ\text{C}$
B	$\pm(3+4 \Delta t_g / \Delta t+0,02 M_p/M)$	2;3;5	
A	$\pm(4+4 \Delta t_g / \Delta t+0,05 M_p/M)$	3;5;10	

ՋԷՀ-ների տեխնիկական ու չափագիտական բնութագրերը պետք է բավարարեն ГОСТ Р 51649-2000-ի պահանջները [4,5]: Ըստ այդ ստանդարտի՝ ջերմային էներգիայի հաշվիչները (ՋԷՀ) պետք է պատրաստվեն C, B և A դասերով, որոնց թույլատրելի հարաբերական սխալների սահմանային արժեքները (δ_0) բերված են աղյուսակում (որտեղ M-ը ջերմակրիչի ծախսն է, իսկ M_p -ն՝ դրա ամենամեծ արժեքը, Δt -G՝ մտնող և դուրս եկող ջերմակրիչի ջերմաստիճանների տարբերությունը): Ջրի ծախսի չափման սարքավորման պայմանական տրամագիծը գտնվում է $10 \text{ մմ} \leq d \leq 200 \text{ մմ}$ սահմաններում և պետք է ընտրվի ստանդարտից, իսկ ամենամեծ ծախսը՝ M_p , որոշվում է ջրի միջին արագության 0,3-ից մինչև 10 մ/վրկ արժեքների դեպքում: Ջերմակրիչի պայմանական ճնշումը պետք է լինի 1,6...2,0 ՄՊա: Ջերմակրիչի նվազագույն ծախսը, որի դեպքում հաշվվում է ջերմության քանակը, պետք է լինի $0,001 M_p$ -ից մինչև $0,1 M_p$ սահմաններում: Նորմալ պայմաններում ՋԷՀ-ի սխալը պետք է որոշվի հետևյալ ռեժիմներում՝

1. $\Delta t_g \leq \Delta t \leq 1,2 \Delta t_g$, $0,9 M_p \leq M \leq M_p$,
2. $10^\circ\text{C} \leq \Delta t \leq 20^\circ\text{C}$, $0,2 M_p \leq M \leq 0,22 M_p$,
3. $\Delta t_{w2p} - 5^\circ\text{C} \leq \Delta t \leq \Delta t_p$, $M_p \leq G \leq 1,1 M_p$:

ՋԷՀ-ի համար տրվում են չափման սահմաններն ըստ ջերմաստիճանի (t_g , t_p) և ջերմակրիչի ծախսի (M_g , M_p): Ստանդարտում ընդունված է, որ ջերմակրիչի կորուստները բացակայում են, իսկ ճնշումները մուտքում (P_1) ու ելքում (P_2) հավասար են:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Рекомендация OIML R75.Теплосчетчики.
2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы.-М.: Энергия,1978. - 704с.
3. МИ2412-97. Рекомендации ГСОВИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерения энергии и количества теплоносителя.
4. Беляев Б.М. и др. Так что же все-таки измеряют теплосчетчики // Законодательная и прикладная метрология. 2001.№3. с.25-31.
5. ГОСТ Р 51649-2000. Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические условия.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 15.04.2007:

А.С. ШАХКАМЯН

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Рассмотрены пути повышения точности измерения тепловой энергии. Изучены требования по выбору и эксплуатации измерительных приборов. Приведены формулы расчета погрешностей.

Ключевые слова: тепловая энергия, системы открытого и закрытого теплоснабжения.

A.S. SHAGHGAMYAN

HEAT ENERGY MEASUREMENT PECULIARITIES

The methods for increasing heat energy measurement accuracy are examined. The requirements for selection and usage of measurement instruments are studied. Error evaluation formulas are provided.

Keywords: heat energy, systems of open and close heating, error.