

**ОЦЕНКА НА ВИДА НА ЦЕНТРАЛНОТО РЕГУЛИРАНЕ ВЪРХУ
ЕФЕКТИВНОСТТА НА ПРЕНОСА НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ В
СИСТЕМИТЕ ЗА ЦЕНТРАЛИЗИРАНО ТОПЛОСНАБДЯВАНЕ**

Калоян Христов

**ANALYZE OF THE MODE OF CENTRAL REGULATION ON THE
EFFICIENCY OF THE HEAT TRANSPORT IN DISTRICT HEATING
SYSTEMS**

Kaloyan Hristov

The use of new technologies for regulation of the heat load in the district heating systems leads to a change of the main regime parameters: the consumption of the district water and its temperature in the outgoing and incoming pipe from the source of heat. The change of these regime parameters is directly related to the change of the capital costs in the district heating systems, the combined production of heat and electricity, the fuel consumption, the costs related to the transport of the district water and the amount of heat losses. The assessment of the change of these factors leads to an economic effect from the introduction of the new technologies for heat load regulation.

Въведение

Ефективността на преноса на подгрявата мрежова вода по топлопреносната мрежа зависи от нейния температурен режим на работа. Мрежовата вода в източника на топлина се подгръва до температура, съобразена с нуждите на консуматорите в системата за топлоснабдяване. При транспорта на мрежовата вода в топлопреносната мрежа се реализират топлинни загуби, което води до понижаване на нейната температура. В голяма степен върху загубите на топлина оказва влияние видът на централно регулиране, който се реализира в топлоснабдителната система [2,3].

Задачата на централното регулиране се свежда до поддържането на температурата на въздуха в отопляваните помещения- t_{BT} на зададено ниво. Когато се реализира централно качествено регулиране се изменя

на температурата на мрежовата вода в подаваната магистрала в зависимост от температурата на външния въздух, при постоянен разход на мрежова вода ($G = \text{const}$). При централно количествено регулиране температурата на мрежовата вода в подаващата магистрала е постоянна величина, а разходът на мрежовата вода се изменя.

Настоящият доклад има за цел да анализира ефективността на преноса на топлина при преминаването от централно качествено към количествено регулиране на топлинния товар в системите за топлоснабдяване

Оценка на ефективността на преноса на топлина в системите за топлоснабдяване при преминаване от централно качествено към количествено регулиране

Топлинните загуби и разходът на електроенергия за транспорта на топлоносителя в системата за топлоснабдяване зависят от вида на централното регулиране. При преминаването от централно качествено регулиране към количествено регулиране е свързано с понижаване на температурата на подаваната мрежова вода и изменение на разхода на топлоносителя в системата.

От съвместното решаване на уравнението на топлинния баланс [1] за топлинния товар на системата за топлоснабдяване при качествено и количествено регулиране следва, че отношението на масовите разходи на мрежова вода е обратно пропорционално на съотношението на температурната разлика на мрежовата вода в подаващия и обратния топлопровод при тези способности за регулиране:

$$\frac{G_{\text{кол}}}{G_{\text{кач}}} = \frac{(t_1^{\text{кач}} \quad t_2^{\text{кач}})}{(t_1^{\text{кол}} \quad t_2^{\text{кол}})} \quad (1)$$

където:

$G_{\text{кол}}$ и $G_{\text{кач}}$ са съответно масовите разходи на мрежова вода при количествено и качествено регулиране на топлинния товар, kg/s;

$\tau_1^{\text{кач}}$ и $\tau_2^{\text{кач}}$ – температурите на мрежовата вода в подаващия и обратния топлопровод на топлопреносната мрежа при качествено регулиране.

$\tau_1^{\text{кол}}$ и $\tau_2^{\text{кол}}$ – температурите на мрежовата вода в подаващия и обратния топлопровод при променлив разход на топлоносител в системата за топлоснабдяване.

Положителната страна при преминаване на температурния график с постоянен разход на топлоносител към график с променлив разход на

топлоносител е икономията на енергия за транспорта на мрежовата вода в системата. Това се дължи на понижения разход на вода в системата за топлоснабдяване през по-голямата част от отоплителния сезон. Изменението на електрическата мощност при сравняването на количествено с качествено регулиране се определя от:

$$\frac{G_{\text{кол}}}{G_{\text{кач}}} = \sqrt[3]{\frac{N_{\text{кол}}}{N_{\text{кач}}}} \quad (2)$$

където:

$N_{\text{кол}}$ и $N_{\text{кач}}$ са съответно електрическите мощности на мрежовите помпи при количествено и качествено регулиране на топлинния товар, kW;

Съпоставката и изменението на разхода на мрежова вода при двата способа на регулиране е представено в табл. 1. За анализа са избрани следните температурни графици: при качествено регулиране е избран най-разпространеният график в системите за топлоснабдяване -150/70 °C и при количествено регулиране е разгледан график 110/70 °C [1,4]

таблица 1. Съпоставяне на видовете централно регулиране.

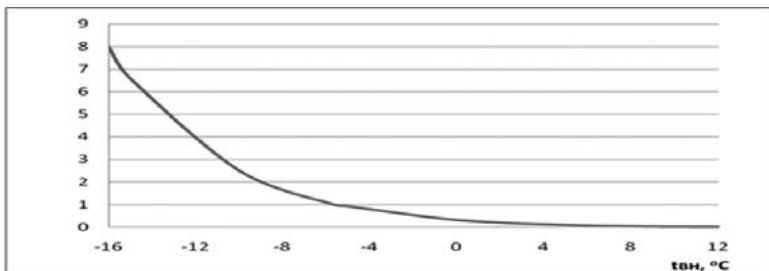
$t_{\text{вн}}$	$\tau_1^{\text{кач}}$	$\tau_2^{\text{кач}}$	$\tau_1^{\text{кол}}$	$\tau_2^{\text{кол}}$	$G_{\text{кол}}/G_{\text{кач}}$	$N_{\text{кол}}/N_{\text{кач}}$	Часове
-16	150	70	110	70	2,00	8,00	4
-15	149	71	110	68	1,87	6,59	14
-10	132	66	110	59	1,36	2,50	78
-5	115	60	110	49	0,97	0,92	331
0	98	53	110	39	0,68	0,31	965
5	80	47	110	28	0,45	0,09	1315
10	62	40	110	20	0,26	0,02	1025
12	54	37	110	20	0,20	0,01	828

От табл. 1 се вижда, че при количествено регулиране изчислителният разход на мрежова вода в топлопреносната мрежа се увеличава два пъти по сравнение с този при качествено регулиране. При качествено регулиране, с повишаване на температурата на мрежовата вода и понижаване на температурата на външния въздух, разходът на мрежова вода намалява. При температури на околния въздух от 5,7 °C разходите на мрежова вода при двата способа са равни. Продължителността на работата на системата за топлоснабдяване в условията на повишен разход на мрежова вода при ниски температури на мрежова вода не е голяма. За

климатичните условия на град София тя е от порядъка на около 420 часа или 9 % от общата продължителност на отоплителния период.

Така представено отношението на мощностите на мрежовите помпи при количествено и качествено регулиране ще се изменя на трета степен спрямо отношението на разходите на топлоносител в системата (табл.1).

На фиг.1. е представено изменението на отношението на мощностите при количествено и качествено регулиране – $N_{\text{кол}}/N_{\text{кач}}$ в зависимост от изменението на температурата на външния въздух.



Фигура 1. Изменение на съотношението на консумираната електрическа мощност от мрежовите помпи при централно количествено и качествено регулиране на топлинния товар

От графиката на фиг.1. и табл.1. може да се направи следния извод: през по-голяма част от отоплителния период електрическата енергия, необходима за транспорт на топлоносителя при количествено регулиране, е по-малка от тази при качествено регулиране, т.е отношението $N_{\text{кол}}/N_{\text{кач}} < 1$.

Повишаването на изчислителния разход на мрежова вода в топлопреносната мрежа при количествено регулиране може да доведе до необходимост от увеличаване на диаметрите на топлопроводите за поддържане на специфичните загуби на налягане, равни на загубите при качествено регулиране. Изчисленията показват, че при увеличаване на изчислителния разход на мрежова вода два пъти диаметърът на тръбопровода следва да бъде увеличен с около 30%.

Специфичните загуби на налягане на триене се определят по следните изрази:

$$R_{\text{л}} = \frac{0,0894k_e^{0,25} G^2}{\rho d^{5,25}} \quad (3)$$

където

G е масовият разход на мрежова вода, kg/s;

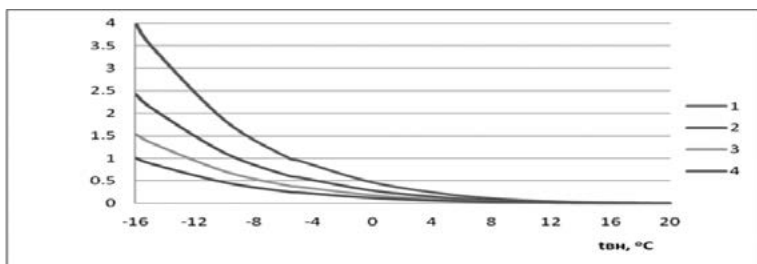
d - диаметърът на топлопровода, m.

Изменението на специфичните загуби на налягане от триене на количествено регулиране спрямо качествено регулиране могат да се определят от (4) след като се преобразува (3).

$$\frac{R_{л}^{\text{кач}}}{R_{л}^{\text{кол}}} = \frac{d_{\text{кач}}^{5.25}}{d_{\text{кол}}^2} \frac{G_{\text{кол}}^2}{G_{\text{кач}}} \quad (4)$$

Чрез уравнение (4) може да се определи с колко трябва да се увеличи диаметърът на топлопровода при количествено регулиране, така че специфичните загуби на налягане от триене да са равни на тези при качествено регулиране, т.е.

$$\frac{R_{л}^{\text{кол}}}{R_{л}^{\text{кач}}} = 1.$$



Фигура 2. Изменението на съотношението на специфичните загуби от триене на топлопровода при централно количествено и качествено регулиране на топлинния товар: 1 - $d_{\text{кол}}/d_{\text{кач}}=1.0$; 2 - $d_{\text{кол}}/d_{\text{кач}}=1.1$; 3 - $d_{\text{кол}}/d_{\text{кач}}=1.2$; 4 - $d_{\text{кол}}/d_{\text{кач}}=1.3$;

$$\frac{d_{\text{кол}}}{d_{\text{кач}}} = 5.25 \sqrt{\frac{G_{\text{кол}}}{G_{\text{кач}}}} \quad (5)$$

Като се използва уравнение (5) и на данните от табл.1. следва, че при увеличаване на разхода на мрежова вода два пъти при количествено регулиране, в сравнение с този при качествено, е необходимо да се увеличат диаметрите на тръбопровода с 30%.

При запазване на диаметрите на топлопроводите специфичните загуби на налягане от триене при максималния топлинен товар се увеличава до 4 пъти фиг.2. При максимално снижение на разхода на мрежова вода през отоплителния период и при количествено регулиране в сравнение с качествено специфичните загуби на налягане от триене намаляват около 9 пъти.

Увеличаването на диаметрите на топлопроводите на топлопреносната мрежа при преминаване от качествено към количествено регулиране може да бъде избегнато в следните случаи: при не много дълги ТПМ,

когато мрежовите помпени станции имат запас от мощност и когато топлопроводите имат висока надеждност.

Разходите, свързани с преноса на топлинна енергия, са в резултат на понижението на температурата на мрежовата вода и консумацията на електроенергия за транспорта на топлоносителя. Годишният разход на електрическа енергия за транспорт на мрежовата вода при качествено регулиране на топлинния товар, kWh, може да се определи по:

$$E_{\text{год}}^{\text{кач}} = \frac{V_{\text{кач}} \Delta p n}{\eta_{\text{мп}}} 10^{-3} \quad (6)$$

където:

$V_{\text{кач}}$ е обемният разход на мрежова вода при качествено регулиране, m^3/s ;

Δp - падът на налягане, развиван от мрежовата помпа, Pa;

n - броят на работните часове през годината, h;

$\eta_{\text{мп}}$ - КПД на помпената инсталация;

При съвместно решаване на (6) и (7) се получава следния израз:

След математически преобразования на (5) и (6) се получава отношението на разходите на електрическа енергия при променлив и постоянен разход на вода в мрежата- $\bar{E}_{\text{год}}$.

$$\bar{E}_{\text{год}} = \frac{E_{\text{год}}^{\text{кол}}}{E_{\text{год}}^{\text{кач}}} = \frac{d_{\text{кач}}^{5,25}}{d_{\text{кол}}^{5,25}} \frac{V_1^3 n_1}{V_{\text{кач}}^3 n} + \frac{V_2^3 n_2}{V_{\text{кач}}^3 n} + \dots + \frac{V_n^3 n_n}{V_{\text{кач}}^3 n} \quad (7)$$

От уравнение (7) следва, че относителният годишен разход на електроенергия за транспорт на топлоносителя зависи от отношението на разхода на мрежова вода при различните способности на регулиране и продължителността на работа на системата за топлоснабдяване в условията на променлив разход. Като са използват данните от табл.1 и уравнение (7), при условие че не се променят диаметрите при количествено регулиране консумацията на електрическа енергия намалява с 4 пъти в сравнение с тези при качествено регулиране на топлинния товар. При увеличаване диаметрите с 30% потреблението на електрическа енергия за транспорт на топлоносителя ще намалее до 10 пъти. Тава понижение на консумацията на електрическа енергия се дължи на рязкото падане на хидравличното съпротивление вследствие на увеличаване на диаметрите на топлопроводите [5].

За приблизителна оценка на топлинните загуби в топлопреносната мрежа може да се използва следният израз:

$$Q_{\text{ТЗ}}^{\text{год}} = q_{\text{ТЗ}} M_{\text{ус}} \quad (8)$$

където са топлинните загуби, отнесени към 1m^2 условна материална характеристика на топлопровода, kW/m^2 ;

$$q_{\text{TЗ}} = \pi k (\tau_{\text{cp}} - t_0) (1 + \mu) 10^{-3} \quad (9)$$

където:

k е коефициентът на топлопроводност, определен с отчитане дебелината на изолацията на топлопровода и начина на полагането му, отнесен към условната площ на външната повърхност на изолационния слой, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

τ_{cp} - средната температура на топлоносителя, $^{\circ}\text{C}$;

μ - коефициентът на местни загуби;

M_{yc} - условната материална характеристика на топлопреносната мрежа, определена по външната изолационна повърхност на топлопровода;

t_0 - средногодишна температура на околната среда, $^{\circ}\text{C}$;

Условната материална характеристика на топлопровода се определя чрез използването на материалната характеристика M :

$$M_{\text{yc}} = M + 0,15 \bullet 1 = \bullet d 1 + 0,15 \bullet 1 \quad (10)$$

Коефициентът на топлопреминаване за канално полагане на топлопровода се изменя в границите от 0,8 до $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ [1].

Средногодишната температура на топлоносителя се определя от следния израз:

$$n_{\text{cp}} = \frac{\tau_1 n_1 + \tau_2 n_2 + \dots + \tau_n n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \quad (11)$$

където:

1, 2, ... , са температурите на топлоносителя, $^{\circ}\text{C}$;

n_1, n_2, \dots, n_n - съответната продължителност на оказаната температура на топлоносителя, h .

Средногодишната температура на топлоносителя според [1] може да се определи като полусума на подаващия и обратен топлопровод. При продължителност на отоплителния сезон от $4560 \text{ h}/\text{год}$ и реализирането на централно качествено регулиране на топлинния товар с изчислителни температури $150/70^{\circ}\text{C}$ средногодишната температура на мрежовата вода в подаващия топлопровод през отоплителния период е $\tau_1=78.8^{\circ}\text{C}$, а в обратния топлопровод е $\tau_2=46.1^{\circ}\text{C}$. При реализирането на централно количествено регулиране, с изчислителни температури $110/70^{\circ}\text{C}$ средногодишната температура на обратната мрежова вода през отоплителния период ще бъде равна на 29.2°C . В такъв случай средногодишната тем-

пература на топлоносителя при температурен график за централно качествено регулиране – 150/70 °С е 62,45 °С при количествено регулиране на мрежовата вода с изчислителни температури 69.6°С. По-ниската температура на обратната мрежова вода при количествено регулиране дава предпоставки за допълнително производство на електрическа енергия на базата топлинно потребление.

Ако се съпоставят при едни и същи условия двата вида регулиране (продължителност на отоплителния сезон, дължина на топлопреносната мрежа, еднакви диаметри на топлопроводите и коефициенти на топлопреминаване), при съвместното решаване на (8) - (11) се получава отношението на изменението на топлинните загуби при съпоставяне на работата на системата в условията на променлив разход на мрежова вода с постоянен:

$$\bar{Q}_{ТЗ} = \frac{(\tau_{\text{сп}}^{\text{кол}} - t_0) (d_{\text{сп}}^{\text{кол}} - 0,15)}{(\tau_{\text{сп}}^{\text{кач}} - t_0) (d_{\text{сп}}^{\text{кач}} - 0,15)} \quad (12)$$

От уравнение (12) следва, че при едни и същи диаметри на топлопроводите топлинните загуби при количествено регулиране превишават тези при качествено с 10%. Това се обяснява с постоянната температура, която се поддържа целогодишно в подаващия топлопровод на системата за топлоснабдяване. При увеличаване на диаметрите при количествено регулиране топлинните загуби ще нараснат пропорционално. Основно икономията при количественото регулиране е от снижаване разхода за транспорт на мрежовата вода в топлопреносната мрежа. Най-ефективният метод за изменение на разхода на мрежова вода е чрез внедряването честотно на регулиране на електрическите двигатели на мрежовите помпи [5].

Заклучение

В настоящия доклад е оценена ефективността на преминаването от централно качествено към количествено регулиране на топлинния товар при топлоснабдителните системи. Направен е сравнителен анализ на работата на двата способа за централно регулиране.

При реализирането на количествено регулиране средногодишната температура на мрежовата вода в обратната магистрала е по-ниска в сравнение с тази при качествено регулиране на топлинния товар. Това дава предпоставки за увеличаване на произведената електрическа енергия на базата топлинно потребление. Увеличаването на дяла на произве-

дената електрическа енергия на базата топлинно потребление ще повиши енергийната ефективност на източника на топлина за системата за топлоснабдяване

Като отрицателна страна на количественото регулиране може да се посочи по-големите топлинни загуби, в сравнение с тези при качествено, при транспорта на мрежова вода в системата за централизирано топло-снабдяване.

Литература

- [1] *Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. - М., Энергоиздат. 2001*
- [2] *Асенов Ас., „Количествено-качествено регулиране на режима на топлоснабдителните системи“, Научна конференция ЕМФ, София 2003*
- [3] *Шарапов В. И., Ротов П.В. Технологии регулирования нагрузки систем теплоснабжения. Ульяновск: УлГТУ, 2003.*
- [4] *Sharapov V. I., P. V. Rotov, M. E. Orlov “Quantitative regulation of loading of heat supply systems” Russian national symposium on power engineering. Kazan: Kazan State Power Eng. University. 2001. Vol. V. P. 25-28.*
- [5] *Turlajs, Ā. Īģurs, A. Cers, A. Soročins, „The dependence of quality efficiency of district heating on the type of load regulation”, Riga 2010*

Автор:

гл. ас. д-р инж. Калоян Христов Христов, Технически университет-София тел. 0898571366, k.hristov@tu-sofia.bg.