

Ո.Ջ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ե.Ռ. ՇԱՄԱՄՅԱՆ**ՋԷԿ-ԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՂՏՈՏՄԱՆ
ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴ**

Առաջարկվում է ՋԷԿ-ի՝ կոնդենսատորի հովացման մակերևույթներում նստվածքազոյացման հետևանքով ջերմային ռեժիմի փոփոխության հաշվարկման մեթոդ: Հաշվի է առնվել նստվածքազոյացման պատճառով հովացնող ջրի արագության փոփոխությունը և նրա ազդեցությունը կոնդենսատորում ջերմափոխանցման գործակցի վրա: Կատարվել է K-200-130 էներգաբլոկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի հաշվարկ, որի արդյունքում որոշվել է էլեկտրական հզորության փոփոխությունը՝ նստվածքազոյացման շերտի հաստությունից կախված, հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տարբեր արժեքների դեպքում:

Առանցքային բառեր. նստվածքազոյացման ինտենսիվություն, ջերմափոխանցման գործակցից, հիդրավլիկական դիմադրություն, նստվածքազոյացման շերտի հաստություն:

ՋԷԿ-երի շահագործման արդյունավետության վրա էական ազդեցություն են ունենում ցածրպտենցիալային տեղակայանքների աշխատանքային ցուցանիշները և դրանց հիմնական հանգույցը՝ կոնդենսատորը: Կոնդենսատորի խողովակներում շրջանառություն կատարող հովացնող ջուրը որպես կանոն, պարունակում է հանքային և օրգանական միացություններ, որոնք, կախված ջերմաստիճանային պայմաններից, ջրի հոսքի արագությունից, կոշտությունից և կոնդենսատորի շահագործման մեջ գտնվելու ժամանակահատվածից, խողովակների ներքին պատերի վրա առաջացնում են նստվածքազոյացումներ, որոնց հետևանքով.

1. աճում է խողովակի ջերմային դիմադրությունը՝ հանգեցնելով ջերմափոխանցման պրոցեսի ինտենսիվության նվազմանը,
2. կրճատվում է հովացնող ջրի անցման կենդանի կտրվածքի մակերեսը՝ տեղի տալով կոնդենսատորի հիդրավլիկական դիմադրության մեծացմանը:

Վերոհիշյալով պայմանավորված նստացման վատացումը կոնդենսատորում հանգեցնում է կայանի շահավետության ցուցանիշների անկման: Մասնավորապես, ճնշման բարձրացումը կոնդենսատորում հանգեցնում է տուրբինում առկա ջերմանկման փոքրացմանը և, հետևաբար, կայանի էլեկտրական հզորության նվազմանը: Տեխնիկական գրականությունում առկա տվյալների հիման վրա կարելի է թվապես գնահատել նստացման վատացման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման չափը: Մասնավորապես նստացման 1% փոփոխման դեպքում հզորության փոփոխության չափը կազմում է.

1. շոգու բարձր պարամետրերով ($p_0=130\dots240$ բար) աշխատող տուրբոտեղակայանքների համար՝ 0,8...1 %,
2. հազեցած շոգով աշխատող տուրբինների համար՝ 1,8 ...2 %:

Փորձենք որոշել աղտոտման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման չափը:

Կոնդենսատորի հովացման մակերևույթի 1 $մ^2$ վրա նստվածքազոյացման քանակությունը ($q/մ^2$) կարելի է որոշել [1]-ում բերված էմպիրիկ բանաձևով, որը վերաբերում է հիմնականում $CaCO_3$ պարունակող նստվածքին.

$$\begin{cases} J = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_g}\right)^{0,25} \cdot w^n \cdot \mathcal{K}^k \cdot t^q \cdot \tau^{0,5}, \\ n = 0,13 \cdot \tau^{1/3}; k = 0,02 \cdot \tau^{1/3}; q = 0,05 \cdot \tau^{1/4}, \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ L -ը խողովակի երկարությունն է, d_g -ը՝ խողովակի ներքին տրամագիծը, w , T -ն՝ հովացնող ջրի կոշտությունը, t -ն՝ հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանը, \mathcal{K} , w -ն՝ հովացնող ջրի միջին արագությունը, t , τ -ն՝ կոնդենսատորի երկու հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածը, σ ։

Նստվածքագոյացման տեսակարար քանակությունը բազմապատկելով կոնդենսատորի խողովակների ներքին մակերևույթի մեծությամբ, կարելի է որոշել նստվածքագոյացման ամբողջ քանակությունը.

$$M = J \cdot S_{\text{մր}} \cdot n \cdot z, \quad (2)$$

որտեղ M -ը կոնդենսատորի խողովակների ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման զանգվածային քանակությունն է, q , $S_{\text{մր}}$ -ը՝ մեկ խողովակի ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման միջին մակերեսը, z , n -ը՝ խողովակների թիվը մեկ քայլում, z -ը՝ քայլերի թիվը կոնդենսատորում:

(2)-ում նստվածքագոյացման ընդհանուր մակերեսը որոշված է ըստ մեկ խողովակի ներքին երևակայական միջին մակերևույթի: Ակնհայտ է, որ նստվածքագոյացման հետևանքով, կախված նստվածքի շերտի բարձրությունից, փոխվում է խողովակի ներքին տրամագիծը, ուստի նստվածքագոյացման ամբողջ քանակությունն անհրաժեշտ է վերագրել խողովակի ներքին միջին երևակայական մակերևույթին՝ որոշված նստվածքի շերտի միջին բարձրությամբ:

Խողովակի ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման շերտի բարձրությունը՝ համաձայն վերը շարադրվածի առաջարկվում է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\delta_{\text{նստ}} = \frac{J}{\rho_{\text{նստ}}}, \quad (3)$$

որտեղ $\delta_{\text{նստ}}$ -ը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունն է, $\rho_{\text{նստ}}$ -ը՝ նստվածքագոյացման խտությունը, q/ρ ։

Կոնդենսատորի ջերմափոխանցման գործակիցը կարելի է որոշել գլանային պատի համար ստացված արտահայտությամբ.

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda_{\text{պ}}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{\alpha_2 \cdot d_2}}, \quad (4)$$

որտեղ α_1 -ը ջերմատվության գործակիցն է շոգուց պատ, $\lambda_{\text{պ}}$ -ն՝ խողովակի պատի ջերմահաղորդականության գործակցի արժեքը, α_2 -ը՝ ջերմատվության գործակիցը պատից հովացնող ջրին, d_1 և d_2 -ը՝ խողովակների ներքին և արտաքին տրամագծերը, l ։

(4)-րդ արտահայտությունը վերաբերում է մաքուր կոնդենսատորներին:

Քանի որ d_2/d_1 հարաբերությունը շատ մոտ է 1-ին, ապա կարող ենք օգտվել հարթ պատի համար ստացված բանաձևից.

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5)$$

որտեղ δ_w -ն խողովակի պատի հաստությունն է, w :

Կոնդենսատորի աղտոտման հետևանքով ջերմափոխանցման գործակիցը փոխվում է՝ պայմանավորված նստվածքագոյացման շերտի հաստության և հովացնող ջրի արագության փոփոխության ազդեցությամբ: Այսպիսով, կունենանք.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{\delta_{\text{ստ}}}{\lambda_{\text{ստ}}} + \frac{1}{\alpha_{2\text{ստ}}}}: \quad (6)$$

(6)-ում $\delta_{\text{ստ}}$ -ը և $\lambda_{\text{ստ}}$ -ը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունն են (w) և ջերմահաղորդականության գործակցի արժեքը (ν տ/մ սստ.), իսկ $\alpha_{2\text{ստ}}$ -ը աղտոտման հետևանքով ջերմատվության գործակցի նոր փոփոխված մեծությունն է (ν տ/մ² սստ.): Շոգուց պատ ջերմատվության գործակիցը կարելի է ընդունել հաստատուն, քանի որ դրա ազդեցությունը ջերմափոխանցման ինտենսիվության վրա համեմատաբար փոքր է:

(5) և (6) արտահայտությունների համադրման և պարզեցման արդյունքում կունենանք հետևյալ առնչությունը.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_0} + \frac{\delta_{\text{ստ}}}{\lambda_{\text{ստ}}} + \frac{1}{\alpha_{2\text{ստ}}} - \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

որտեղ k_0 -ն կարելի է որոշել Լ.Գ. Բերմանի կողմից առաջարկված հետևյալ էմպիրիկ բանաձևով [2].

$$k = 4070 \cdot a \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t \cdot \Phi_\delta \cdot \Phi_z: \quad (8)$$

Այստեղ a -ն կոնդենսատորի մաքրության գործակիցն է, որը որոշվում է

$$a = a_q \cdot a_G$$

արտահայտությամբ, որտեղ a_q -ն կախված է հովացման ներքին մակերևույթի սպասվելիք վիճակից, իսկ a_G -ը՝ խողովակի մետաղի նյութից և պատի հաստությունից [2]: Ուղղահեռ ջրամատակարարման և թույլ հանքայնացված ջրի դեպքում $a_q=0,85\dots0,9$, շրջանառու ջրամատակարարման դեպքում՝ $0,75\dots0,85$: Իսկ a_G -ը՝ 1 մմ հաստությամբ պատեր ունեցող խողովակների համար տատանվում է $0,92\dots1$ -ի սահմաններում (արույրից պատրաստված խողովակների համար հավասար է 1-ի, ԾճԻ-5-1-ի համար՝ $0,95$, ԾճԻ-30-1-1-ի համար՝ $0,92$):

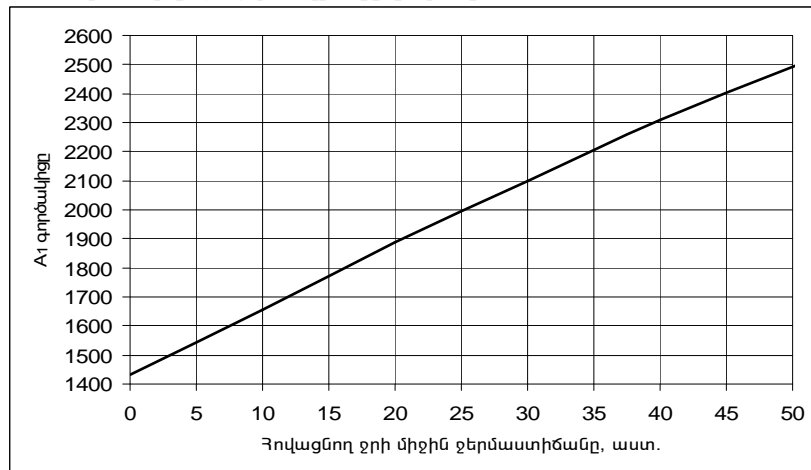
Φ_w -ն, Φ_t -ն, Φ_δ -ն, Φ_z -ը՝ ջերմավիճակի արոցեսի ինտենսիվության վրա հովացնող ջրի արագության, ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի, կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքի և ջրի քայլերի թվի ազդեցությունները հաշվի առնող գործակիցներ են:

α_2 -ը և $\alpha_{2ստ.}$ -ը որոշվում են հետևյալ կերպ [3].

$$\alpha_2 = A_1 \cdot \frac{(w_0 \cdot d_g)^{0,8}}{d_g}, \quad (9)$$

$$\alpha_{2ստ.} = A_1 \cdot \frac{(w \cdot (d_g - 2 \cdot \delta_{ստ.}))^{0,8}}{d_g - 2 \cdot \delta_{ստ.}}, \quad (10)$$

որտեղ A_1 -ը գործակից է, որը հաշվի է առնում հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանով որոշվող ֆիզիկական պարամետրերի ազդեցությունը ջերմատվության արոցեսի վրա: Այն որոշվում է ստորև ներկայացված գրաֆիկով (նկ.1).



Նկ.1

Այս կորը ոչ մեծ սխալանքով (0,2 %) կարելի է ներկայացնել հետևյալ քառակուսային հավասարման միջոցով.

$$A_1 = -0,0557 \cdot t_{միջ}^2 + 24,134 \cdot t_{միջ} + 1426: \quad (11)$$

w_0 -ն և w -ն հովացնող ջրի արագություններն են մաքուր և աղտոտված կոնդենսատորների համար, u/u_0 : Դրանց միջև կապն արտահայտվում է [4].

$$\frac{w}{w_0} = \frac{1}{\left(1 - \frac{2\delta_{ստ.}}{d_g}\right)^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{ս}^0} (S_4 - S_4^0)}}, \quad (12)$$

որտեղ G_0 -ն մաքուր կոնդենսատորի հովացնող ջրի ծախսն է հաշվարկային ռեժիմում, $lq/ψ$: Արմատանշանի տակ գտնվող G_0 -ն արտահայտված է $u^β/ψ$ միավորներով, H_{ω}^0 -ն՝ շրջանառության պոմպի զարգացրած առավելագույն էջքը՝ մղման գծում փակ փականի դեպքում, u , S_{ψ}^0 -ն և S_{ψ} -ն՝ հիդրավլիկական դիմադրությունները մաքուր և աղտոտված կոնդենսատորների համար, $u^β/u^α$:

$$S_{\psi}^0 = \frac{0,11 \cdot k_h^{0,25} \cdot z \cdot l + d_g^{1,25} \cdot \sum \xi}{12,078 \cdot d_g^{5,25} \cdot n^2}, \quad (13)$$

$$S_{\psi} = \frac{0,11 \cdot (k_h + \delta)^{0,25} \cdot z \cdot l + (d_g - 2\delta)^{1,25} \cdot \sum \xi}{12,078 \cdot (d_g - 2\delta)^{5,25} \cdot n^2}, \quad (14)$$

որտեղ k_h -ն խողովակի ներսի խորդուբորդությունների համարժեք գործակիցն է, z -ը՝ կոնդենսատորում հովացնող ջրի շարժման քայլերի թիվը, l -ը՝ խողովակների երկարությունը մեկ քայլում, u , $\sum \xi$ -ն՝ կոնդենսատորի տեղական դիմադրությունների գործակիցների գումարը, որը հաշվի է առնում ջրային խցերում և խողովակների սրամագծերի փոփոխությամբ պայմանավորված ճնշման էջքի կորուստները, n -ը՝ կոնդենսատորի խողովակների թիվը մեկ քայլում:

Կոնդենսատորում հովացնող ջրի տաքացման չափը որոշվում է ջերմային հաշվեկշռի հավասարումից՝

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t, \quad (15)$$

որտեղ Q -ն կոնդենսատորի ջերմային բեռնվածքն է, $Q_{տ}$ (շոգու ծախսի միևնույն արժեքի դեպքում, բացարձակ ճնշման լայն տիրույթում՝ $\Delta p_k = 3...5$ կՊա, կարելի է որոշ մոտավորությամբ ջերմային բեռնվածքն ընդունել հաստատուն), c -ն՝ հովացնող ջրի տեսակարար ջերմունակությունը, Q/lq *սստ.*, G -ն՝ հովացնող ջրի ծախսը աղտոտված կոնդենսատորում, $lq/ψ$:

Ըստ [4]-ում կատարված հետազոտության այդ ծախսը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$G = \frac{G_0}{\sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{\omega}^0} (S_{\psi} - S_{\psi}^0)}} : \quad (16)$$

Հաշվի առնելով (16) արտահայտությունը՝ Δt -ի համար կարող ենք գրել.

$$\Delta t = \frac{Q \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{\omega}^0} (S_{\psi} - S_{\psi}^0)}}{G_0 \cdot c} : \quad (17)$$

Կոնդենսատորում թերտաքացման չափը կորոշվի

$$\delta t = \frac{\Delta t}{e^{\frac{kF}{Gc}} - 1} \quad (18)$$

արտահայտությամբ, որտեղ F -ը կոնդենսատորի հովացման մակերևույթն է, U^2 : Արդյունքում հազեցման t_s ջերմաստիճանի համար կունենանք.

$$t_s = t_1 + \frac{Q \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_u^0} (S_u - S_u^0)}}{G_0 \cdot c} \cdot \frac{1}{1 - e^{\frac{kF}{Gc}}} : \quad (19)$$

Կոնդենսատորում բանաձ շոգու բացարձակ ճնշումը որոշվում է շոգու հազեցման t_s ջերմաստիճանով: Գոյություն ունեցող բանաձևերից, որոնք կապ են հաստատում այս երկու պարամետրերի միջև, առավել հաջողված է հետևյալ արտահայտությունը [5].

$$p_2 = 0,98 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{t_s + 100}{57,66} \right)^{7,46}, \text{ ՄՊա:} \quad (20)$$

ՋէԿ-երի կոնդենսատորների համար գոյություն ունեն նորմատիվային բնութագրեր [6], որոնք կապ են հաստատում կոնդենսատորում շոգու բացարձակ ճնշման փոփոխման և դրա հետևանքով հզորության փոփոխության միջև: Այդ կախվածությունները կոչվում են ունիվերսալ կորեր, քանի որ հնարավորություն են տալիս որոշելու հզորության փոփոխությունը՝ դեպի կոնդենսատոր շոգու ցանկացած ծախսի դեպքում.

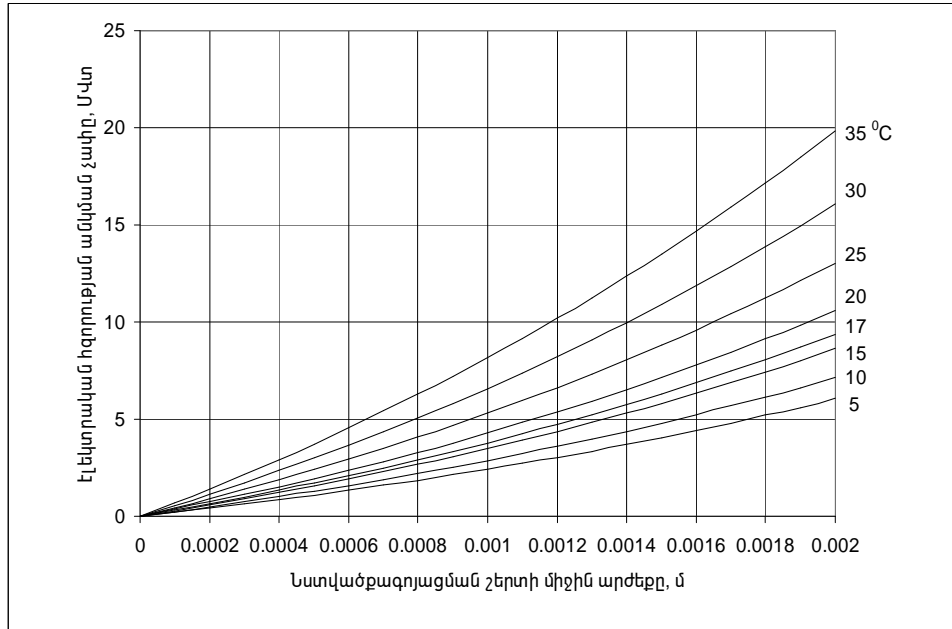
$$\frac{\Delta N_t}{D_u} = f \left(\frac{p_2}{D_u} \right) : \quad (21)$$

Այդ կապը ոչ մեծ սխալանքով կարելի է համարել ուղղագծային և, մտցնելով համապատասխան գործակից, ստանալ հզորության փոփոխության չափը՝ կախված $p_2 - p_2^G$ տարբերությունից: (21)-ում D_u -ն շոգու ծախսն է դեպի կոնդենսատոր:

Պետք է նշել, որ այդ ունիվերսալ կորերը ստացվում են հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի որևէ արժեքի համար, հետևաբար նաև անհրաժեշտություն է զգացվում հաշվի առնելու սկզբնական ջերմաստիճանի փոփոխության ազդեցությունը: Հովացնող ջրի տվյալ հաշվարկային ռեժիմ ապահովող ջերմաստիճանից ցածր արժեքների դեպքում բլոկը կգարգացնի նոմինալից բարձր հզորություն: Արդյունքում կունենանք վառելիքի տեսակարար ծախսի նվազում կամ օ.գ.գ.-ի աճ: Հետևաբար, կոնդենսատորի աղտոտման ազդեցությունը պետք է գնահատել՝ ելնելով հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տվյալ արժեքին համապատասխան էլեկտրական հզորության մեծությունից:

Որպես օրինակ դիտարկվել է K-200-130 մակնիշի էներգաբլոկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի աշխատանքը: Էներգաբլոկն աշխատում է հաշվարկային ռեժիմում: Հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի նորմատիվային արժեքը $17^\circ C$ է, իսկ դրան համապատասխան կոնդենսատորում բացարձակ ճնշումը $4,5$ կՊա է:

Հաշվարկի ընթացքում որոշվել է արտադրվող էլեկտրական հզորության փոփոխությունը՝ կախված նստվածքազոյացման շերտի հաստությունից՝ հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տարբեր արժեքների դեպքում ($t_1=5, 10, 15, 17, 20, 25, 30, 35^{\circ}C$): Գրաֆիկում ներկայացված են ստացված արդյունքները (նկ.2).



Նկ.2

Նկ. 2-ից կարելի է եզրակացնել, որ նստվածքազոյացման շերտի հաստության միևնույն արժեքի դեպքում հովացնող ջրի սկզբնական ավելի բարձր ջերմաստիճանները հանգեցնում են հզորության անկման մեծության աճին: Մասնավորապես նստվածքազոյացման շերտի 0,001 մ հաստության դեպքում և հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի 5 °C արժեքին կհամապատասխանի հզորության անկումը 2,4 ՄՎտ-ով, իսկ 0,0015 մ հաստության դեպքում՝ 4 ՄՎտ-ով: Հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի 35 °C-ի դեպքում, 0,001 մ հաստությանը կհամապատասխանի 8,4 ՄՎտ անկում, իսկ 0,0015 մ-ին՝ 13,5 ՄՎտ: Այսինքն 0,001...0,0015 մ միջակայքում հզորության անկման չափի փոփոխությունը կազմում է 1,6 ՄՎտ՝ 5 °C ջերմաստիճանի դեպքում, և 5,1 ՄՎտ՝ 35 °C-ի դեպքում: Հետևաբար հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի բարձր արժեքների դեպքում ավելի ինտենսիվ է դառնում էլեկտրական հզորության անկման փոփոխությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Буглаев В.Т., Лифшиц М.Н., Татаринцева Т.И.** Некоторые особенности процесса отложений в трубках конденсаторов ПТУ // Известия вузов. Сер. Машиностроение.-1983.- № 7.-С. 56-59.
2. **Берман Л.Д., Зернова Э.П.** Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций.-М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.-105 с.
3. **Шкловер Г.Г., Мильман О.О.** Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин.-М.: Энергоатомиздат, 1985.-240 с.

4. **Մարուխյան Ո.Ջ., Շամամյան Ե.Ռ.** Կոնդենսատորի խողովակներում նստվածքազրկացման հետևանքով հովացնող ջրի արագության փոփոխության մեծության որոշումը շրջանառության պոմպի անփոփոխ աշխատանքի դեպքում //ՀՊՃՀ(Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր - 76 տար. գիտ. նյութ. ժողովածու.-2009.-Հ1.- էջ 651 - 655:
5. **Рыжкин В.Я., Кузнецов А. М.** Анализ тепловых схем мощных конденсационных блоков.-М.: Энергия, 1972.-271 с.
6. **Коновалов Г.М., Канаев В.Д.** Нормативные характеристики конденсационных установок турбин типа К.-М.: СЦНТИ, 1974.-84 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.03.2009:

В.З. МАРУХЯН, Е.Р. ШАМАМЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС ВСЛЕДСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Предлагается метод расчета изменения теплового режима конденсатора ТЭС вследствие накипеобразования на охлаждающих его поверхностях. Рассчитано изменение скорости охлаждающей воды и ее воздействие на коэффициент теплопередачи конденсатора. Произведен расчет конденсационной установки энергоблока К-200-130, вследствие чего определено изменение электрической мощности в зависимости от толщины слоя накипи и разных величин начальной температуры охлаждающей воды.

Ключевые слова: интенсивность накипеобразования, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, толщина слоя накипи.

V.Z. MARUKHYAN, Y.R. SHAMAMYAN

METHOD OF HEATING REGIME CHANGE CALCULATION DUE TO THE POLLUTION OF TPP SURFACE CONDENSERS

A method for defining the heating regime change of TPP condensers due to the scale formation on cooling its surfaces is proposed. The cooling water velocity change and its influence on condensers heat transfer coefficient is calculated. The calculation of the K-200-130 TPP condenser is realized. As a result of it the change of electric power due to the thickness of scale formation and the primary temperature of cooling water is determined.

Keywords: scale formation intensity, heat transfer coefficient, pressure loss, scale formation thickness.