

Ն.ՅՈՒ. ԴԱՎԹՅԱՆ

**ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՂՏՈՏՎԱԾՈՒԹՅԱՆ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվել է ՋԷԿ-երի և ՋԷՑ-երի մակերևութային կոնդենսատորների խողովակների ներքին մակերևութի մակերեսների աղտոտվածության ազդեցությունը նրանց աշխատանքի արդյունավետության վրա: Քանակական գնահատումները կատարվել են T-110/120-130 էներգաբլոկի համար՝ օգտագործելով փորձնական և հաշվարկային տվյալներ, որոնց հիման վրա կառուցվել են կախվածություններ կոնդենսատորի խողովակներում նստվածքազոյացման շերտի հաստության և էլեկտրական հզորության անկման միջև՝ տարբեր սկզբնական ջերմաստիճանային պայմաններում:

Առանցքային բառեր. կոնդենսացիոն տեղակայանք, մակերևութային կոնդենսատոր, նստվածքազոյացման ինտենսիվություն, ջերմափոխանցման գործակից, նստվածքազոյացման շերտի հաստություն:

Ներածություն: Ժամանակակից էներգետիկայում արդի խնդիրներից մեկը գործող էներգաբլոկների, ինչպես նաև նոր նախագծվողների էներգաարդյունավետության և տնտեսական շահավետության բարձրացումն է:

ՋԷԿ-երի շահագործման արդյունավետության վրա էական ազդեցություն են ունենում ցածրպոտենցիալային 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 անընդհատ շահագործման մեջ գտնվելու ժամանակահատվածից, խողովակների ներքին պատերի վրա առաջացնում են նստվածքազոյացումներ, ինչը հանգեցնում է ջերմափոխանցման արդյունավետության նվազմանը և ջերմային ռեժիմի փոփոխությունների:

Հետևաբար, անհրաժեշտ է գնահատել այս երևույթի ազդեցությունը և մշակել մաքրման օպտիմալ տարբերակներ:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Էլեկտրակայանի առկա հզորության կախվածությունը ցածրպոտենցիալային տեղակայանքների աշխատանքի արդյունավետությունից և բնակլիմայական պայմաններից, ի վերջո, հանգեցնում է ջրահովացման համակարգերից մթնոլորտ ջերմությունը փոխանցելու հնարավորությունների որոշմանը:

Վերջինով պայմանավորված՝ ամառային ժամանակահատվածում հովացնող ջրի ջերմաստիճանի բարձրացման հետևանքով որոշակիորեն սահմանափակվում է էներգաբյուրեղի զարգացրած հզորությունը (նախագծով նախատեսված աշտարակահովացուցիչների քանակ, շրջանառության պոմպերի անբավարար արտադրողականություն և այլն):

ՋԷԿ-երի կոնդենսատորների ջերմատեխնիկական վիճակը գնահատելու համար դիտարկենք հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանի կախվածությունը ֆիզիկական պարամետրերից՝ $T_{110/120} - 130$ տուրբինի օրինակով:

Հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանի $T_{միջ}$ -ի վրա ազդող ֆիզիկական պարամետրերն են.

1. Սկզբնական ջերմաստիճանը ($T_{մուտք}$).

Հովացնող ջրի մուտքի բարձր ջերմաստիճանը հանգեցնում է միջին ջերմաստիճանի բարձրացմանը, ինչը նվազեցնում է ջերմափոխանակության ինտենսիվությունը.

$$T_{միջ} \sim f(T_{մուտք}):$$

2. Ելքի ջերմաստիճանը ($T_{ելք}$).

Քանի որ $T_{միջ} = \frac{T_{մուտք} + T_{ելք}}{2}$, ելքի ջերմաստիճանի բարձրացումը հանգեցնում է միջին ջերմաստիճանի բարձրացմանը:

3. Ջրի հոսքի արագությունը (V).

Հոսքի մեծ արագության դեպքում ջրի տաքացումը նվազում է, և միջին ջերմաստիճանը փոքրանում է.

$$T_{միջ} \downarrow, \text{ երբ } V \uparrow:$$

4. Ջերմափոխանցման մակերեսը (F).

Ավելի մեծ մակերեսն ապահովում է ավելի ինտենսիվ ջերմափոխանակություն և ցածր միջին ջերմաստիճան:

5. Ջերմափոխանցման գործակիցը (k).

Էապես կախված է ջրի մաքրության աստիճանից, ներխողովակային նստվածքներից և հիդրոդինամիկ ռեժիմից.

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta T:$$

6. Արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանը ($T_{արտ}$).

Օդային հովացման դեպքում շրջակա միջավայրի բարձր ջերմաստիճանը նույնպես բարձրացնում է ջրի միջին ջերմաստիճանը:

Ելքի ջերմաստիճանը որոշվում է ջերմային հաշվեկշռից.

$$T_{արտ} = T_{մուտք} + \frac{Q}{c \cdot G},$$

որտեղ Q-ն փոխանցվող ջերմաքանակն է, Ջ, c-ն՝ ջրի ջերմունակությունը, Ջ/(կգ·°C), G-ն՝ ջրի զանգվածային ծախսը, կգ/վ:

Այսինքն՝

$$T_{արտ} = T_{միջ} + \frac{Q}{2c \cdot G} :$$

Հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանը հիմնականում կախված է ջրի մուտքի ջերմաստիճանից, ծախսից և ջերմափոխանակման պայմաններից:

Հովացման մակերևույթի աղտոտումը, նստվածքները և ջերմափոխանցման գործակցի նվազումը նույնպես հանգեցնում են միջին ջերմաստիճանի բարձրացման:

Հայտնի է, որ հովացնող ջրի ցածր որակական հատկանիշների պարագայում ջերմափոխանակիչ ապարատներին մատուցվող ջուրն ունակ է սարքավորման երկարատև շահագործման ընթացքում աղտոտելու կոնդենսատորի խողովակների ներքին մակերևույթը:

Կոնդենսատորի խողովակներում ձևավորվող նստվածքագոյացումներն ինտենսիվացնում են խողովակների մետաղի կոռոզիոն պրոցեսները, իսկ ջրում մանրահատիկ հղկանյութեր պարունակող կոշտ կախույթները (ավազ, մոխիր) հանգեցնում են խողովակների էրոզիոն – կոռոզիոն մաշվածքի: Ջրային կողմից կոնդենսատորների աղտոտումն առաջացնում է կոնդենսատորում նոսրացման վատացում, քանզի աղտոտման հետևանքով աճում է ջերմային դիմադրությունը, և բացի այդ, կրճատվում է ջրի ծախսը կոնդենսատորով՝ ի հետևանք վերջինիս հիդրավլիկ դիմադրության աճի:

Կատարվել է մակերևութային կոնդենսատորների աղտոտվածության ազդեցության հաշվարկային վերլուծություն՝ հիմնված էմպիրիկ և ֆիզիկական մոդելների վրա [1]:

1. Նստվածքագոյացման ինտենսիվությունը.

$$J=f(t,w,d,L,\zeta,I),$$

որտեղ t-ն հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանն է, °C, w-ն՝ հոսքի միջին արագությունը, մ/վ, d-ն՝ խողովակի ներքին տրամագիծը, մ, L-ը՝ խողովակի երկարությունը, մ, ζ-ն՝ մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածը, օ, I -ն՝ ջրի կոշտությունը, մգ-էկվ/լ:

2. Ընդհանուր նստվածքի զանգվածը.

$$M=f \cdot S \cdot n \cdot z,$$

որտեղ S-ը մեկ խողովակի մակերևույթի նստվածքագոյացման միջին մակերեսն է, մ², n-ը՝ խողովակների թիվը մեկ քայլում, z-ը՝ կոնդենսատորի քայլերի թիվը:

3. Աղտոտման շերտի հաստությունը.

$$\delta_{\bar{u}} = \frac{J}{\rho_{\bar{u}}},$$

որտեղ $\rho_{\bar{u}}$ -ն նստվածքի խտությունն է, $q/մ^3$:

4. Աղտոտված կոնդենսատորի ջերմափոխանցան գործակիցը.

$$k_{\bar{u}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\bar{u}}}{\lambda_{\bar{u}}} + \frac{\delta_{\bar{u}}}{\lambda_{\bar{u}}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

որտեղ α_1, α_2 -ը գոլորշու և ջրի ջերմատվության գործակիցներն են, $\lambda_{\bar{u}}, \lambda_{\bar{u}}$ -ն՝ պատի և նստվածքի ջերմահաղորդականության գործակիցները [2]:

Որպես օրինակ դիտարկենք T-110/120-130 մակնիշի էներգաբերկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի աշխատանքը հաշվարկային օրինակով [3]: Անհրաժեշտ պարամետրերը բերված են աղ.1-ում, իսկ ստացված արդյունքներն՝ աղ.2-ում:

Աղյուսակ 1

T-110/120-130 մակնիշի էներգաբերկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի ելակետային տվյալները

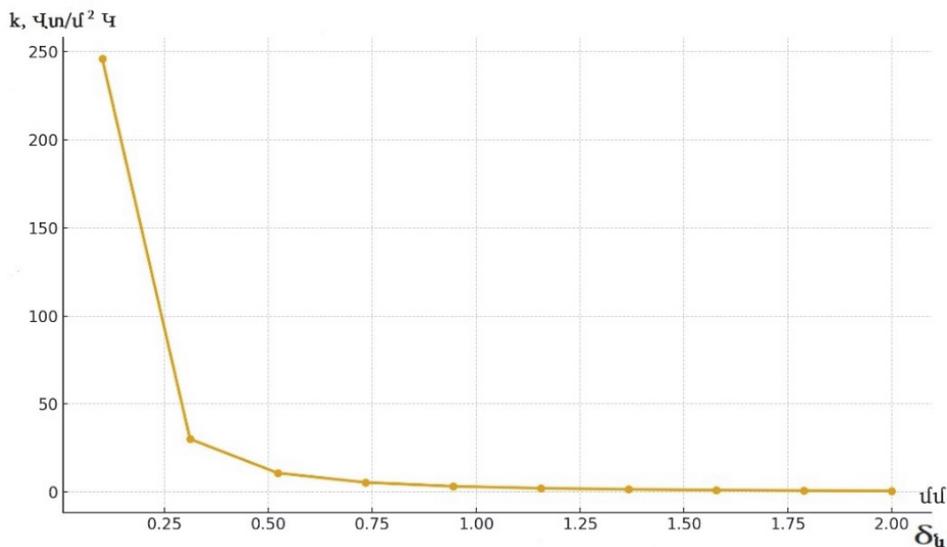
Պարամետրը	Նշանը	Արժեքը	Միավորը
Հովացնող ջրի ծախսը	G_0	14.000	կգ/վ
Խողովակի տրամագիծը	d	25	մմ
Խողովակի երկարությունը	L	9	մ
Ջրի մուտքի ջերմաստիճանը	t	15...30	°C
Նստվածքի շերտի հաստությունը	$\delta_{\bar{u}}$	0.001...0.002	մ

Աղյուսակ 2

T-110/120-130 մակնիշի էներգաբերկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի ստացված արդյունքները

$\delta_{\bar{u}},$ մ	t=15°C	t=30°C	$\delta_{\bar{u}},$ մ
0.001	2.5 ՄՎտ	6.0 ՄՎտ	0.001
0.0015	4.0 ՄՎտ	9.5 ՄՎտ	0.0015
0.002	6.0 ՄՎտ	13.0 ՄՎտ	0.002

Ըստ ստացված արդյունքների՝ կառուցվել է ջերմափոխանցման գործակցի կախվածությունը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունից (նկ.1):



Նկ.1. Ջերմափոխանցման գործակցի կախվածությունը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունից

Վերլուծությունը [4] ցույց է տալիս, որ.

1. Աղտոտվածությունը նվազեցնում է ջերմային ռեժիմի կայունությունն ու արդյունավետությունը:

2. Նստվածքի 0.002 *l* հաստության դեպքում հզորության կորուստը կարող է հասնել մինչև 13 *ՄՎտ*:

3. Ջրի բարձր ջերմաստիճանի դեպքում նստվածքագոյացման արագությունը մեծանում է:

4. Անհրաժեշտ է պարբերական մաքրում և ջրի որակի մշտադիտարկում:

T-110/120-130 տուրբինի կոնդենսատորի օրինակով դիտարկենք նաև A_1 գործակիցը, որը հաշվի է առնում հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանով որոշվող (աղ.3) ֆիզիկական պարամետրերի ազդեցությունը, որը ներկայացված է գծային (նկ.2) և քառակուսային (նկ.3) ֆունկցիաների տեսքով:

Գծային ֆունկցիայի տեսքով այն կունենա հետևյալ տեսքը.

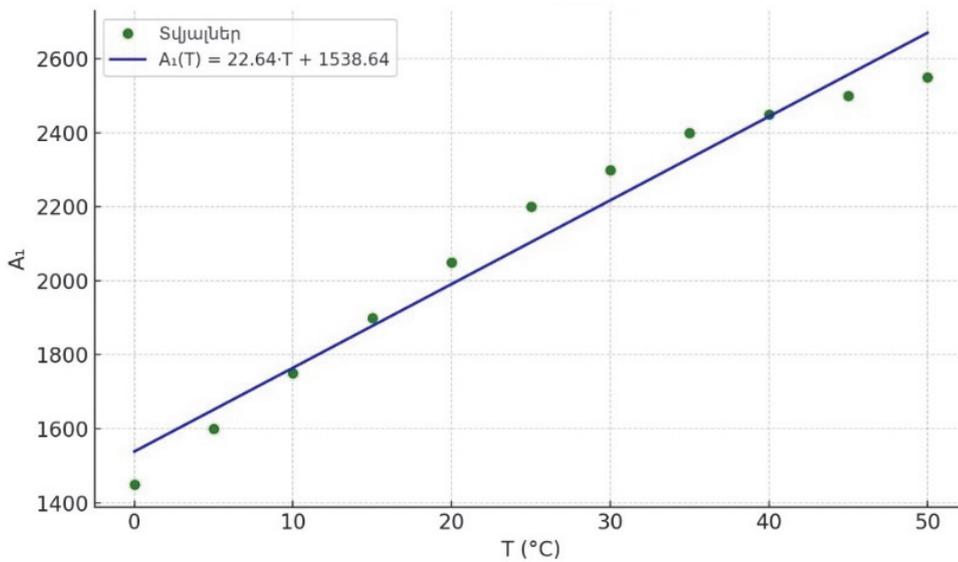
$$A_1(T) = k \cdot T + b,$$

որտեղ k և b -ն որոշվում են նվազագույն քառակուսիների մեթոդով:

Աղյուսակ 3

Ըստ հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանի A_1 գործակցի արժեքները

T (°C)	A_1
0	1450
5	1600
10	1750
15	1900
20	2050
25	2200
30	2300
35	2400
40	2450
45	2500



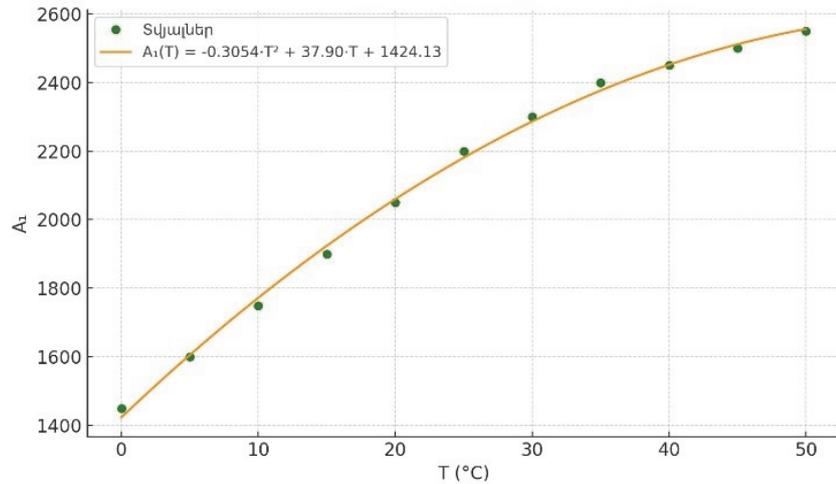
Նկ. 2. $A_1(T)$ -ի գծային մոտարկումը

Գծային մոտարկման արդյունքում ստանում ենք $A_1(T)$ -ի հետևյալ բանաձևը՝

$$A_1(T) = 22.64 \cdot T + 1538.64 ,$$

որտեղ T-ն հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանն է (°C), A_1 -ը՝ ջերմատվության գործընթացի ինտենսիվությունը գնահատող գործակիցը:

Այս բանաձևը կարելի է օգտագործել հաշվարկային մոդելներում:

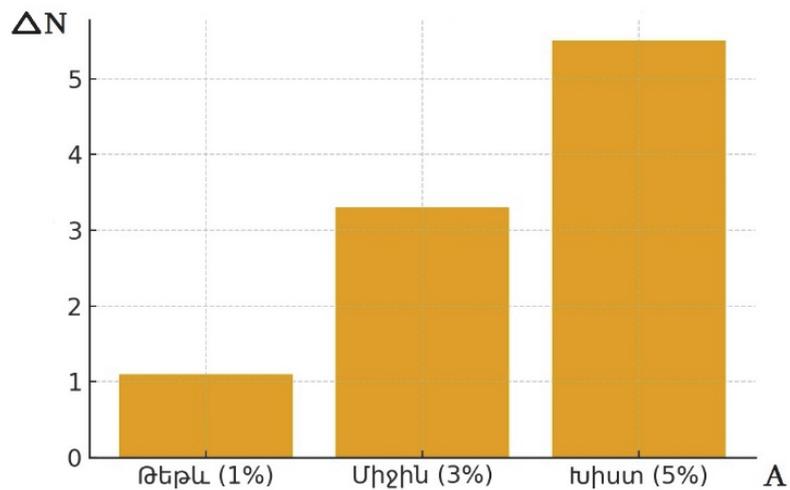


Նկ.3. $A_1(T)$ -ի քառակուսային մոտարկումը

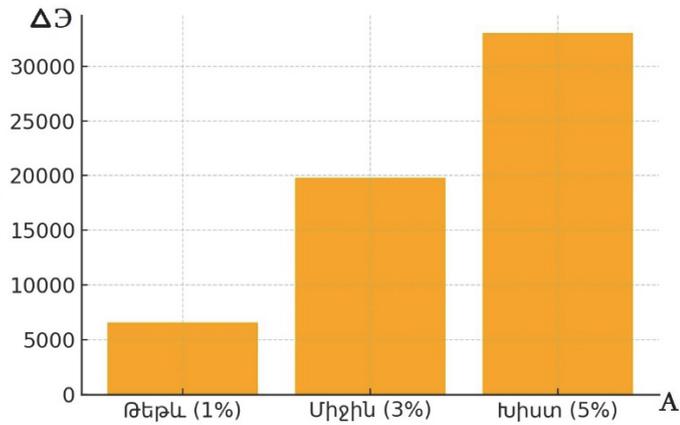
Քառակուսային մոտարկման արդյունքում ստացվում է $A_1(T)$ գործակցի համար հետևյալ արտահայտությունը.

$$A_1(T) = -0.3054 \cdot T^2 + 37.90 \cdot T + 1424.13:$$

Դիտարկենք էներգաբլոկի հզորության և էլեկտրաէներգիայի տարեկան կուրուստների գրաֆիկները՝ կախված կոնդենսատորի խողովակների մակերևույթի աղտոտվածությունից (նկ. 4,5,6,7, աղ. 4):



Նկ.4. Հզորության կորստի (U^2) կախվածությունը աղտոտման գործակցից

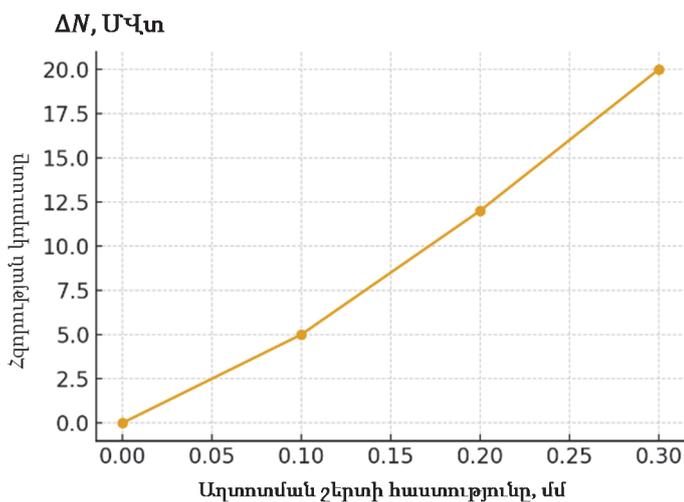


Նկ.5. Էլեկտրաէներգիայի տարեկան կորստի (ՄՎտ ժ) կախվածությունը աղտոտման գործակցից

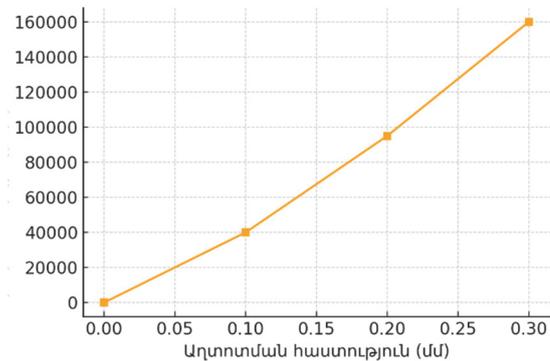
Աղյուսակ 4

Էներգաբաշխիչի հզորության և էլեկտրաէներգիայի տարեկան կորուստների արժեքները կախված կոնդենսատորի խողովակների մակերևույթի աղտոտվածությունից

Աղտոտման գործակիցը	Հզորության կորուստը (ՄՎտ)	Էլեկտրաէներգիայի տարեկան կորուստը (ՄՎտ ժ)
0.0	0	0
0.1	5	40000
0.2	12	95000
0.3	20	160000



Նկ.6. Հզորության կորստի կախվածությունն աղտոտման շերտի հաստությունից



Նկ.7. Էլեկտրաէներգիայի տարեկան կորստի կախվածությունն աղտոտման հաստությունից

Եզրակացություն. Կոնդենսատորի աղտոտվածությունը զգալիորեն նվազեցնում է էներգաբաշխի զարգացրած հզորությունն ու շահութաբերությունը: Նույնիսկ փոքր աղտոտումը հանգեցնում է զգալի կորուստների: Այդ պատճառով պետք է իրականացնել կանոնավոր մոնիթորինգ, կիրառել մաքրման ժամանակակից տեխնոլոգիաներ և կանխարգելիչ միջոցառումներ:

Էլեկտրական հզորության կորուստը նստվածքազոյացման միևնույն հաստության դեպքում ավելի մեծ է, երբ հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը բարձր է: Օրինակ՝ T-110/120-130 էներգաբաշխի համար, $\delta=1$ մմ դեպքում, 10 °C պայմաններում հզորության կորուստը կազմում է մոտավորապես 6.5 ՄՎտ, իսկ 30 °C պայմաններում՝ 15 ՄՎտ:

Այս փաստը վկայում է, որ ջրի մաքրության ապահովումը և կոնդենսատորի պարբերական մաքրումը հանդիսանում են էներգաբաշխի արդյունավետության բարձրացման առանցքային գործոններ:

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. Теплофикационный моноблок с турбиной Т-110/120-130 и барабанным котлом: типовая пусковая схема РД 34.25.102-87-М.: Союзтехэнерго, 1988.-38 с.
4. **ASME ASME Steam Tables – Thermodynamic Properties of Water and Steam.** New York: ASME Press, 2023.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 24.12.2025:

Н.Ю. ДАВТЯН

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ
КОНДЕНСАТОРОВ**

Исследовано влияние загрязнённости внутренней поверхности труб поверхностных конденсаторов тепловых электростанций и теплоэлектроцентралей на эффективность их работы. Количественные оценки выполнены для энергоблока Т-110/120-130 с использованием экспериментальных и расчётных данных, на основе которых построены зависимости между толщиной слоя отложений в трубах конденсатора и снижением электрической мощности при различных начальных температурных условиях.

Ключевые слова: конденсационная установка, поверхностный конденсатор, интенсивность отложений, коэффициент теплопередачи, толщина слоя отложений.

N.YU. DAVTYAN

ASSESSING THE IMPACT OF FOULING ON SURFACE CONDENSERS

The effect of fouling of the inner surface of surface condenser tubes at thermal power plants (TPP) on their operating efficiency has been investigated. Quantitative assessments are performed for the T-110/120-130 power unit using experimental and calculated data. Based on these data, relationships are established between the thickness of the deposit layer formed in the condenser tubes and the reduction in electrical power output under various initial temperature conditions.

Keywords: condensation system, surface condenser, deposition intensity, heat transfer coefficient, deposit layer thickness.