

TEXNİKA ELMLƏRİ TECHNICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/114/250-255>

Cahan Əhmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika üzrə fəlsəfə doktoru

<https://orcid.org/0000-0003-4113-9351>

ahmedova_cahan1975@mail.ru

Aydın Əhmədov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant

<https://orcid.org/0009-0004-4710-5413>

akhmedoff.aydin@mail.ru

Dəniz suyunun termiki distillə texnologiyasında yanma məhsullarının tullantı istiliyindən istifadə etməklə ekoloji zərərin azaldılması

Xülasə

Təqdim olunan məqalədə elektrik stansiyalarının ikinci enerji ehtiyatları hesabına Xəzər dənizi suyunun termiki şirənləşdirilməsi prosesinin hesablama modeli verilmişdir. Termiki şirənləşdirmə ani qaynama buxarlandırıcılarına əsaslanır. Əsas məqsəd tullantı istilikdən istifadə etməklə şirənləşdirmə texnologiyasının xərclərini və atmosferdə istixana effekti yaradan qazların emissiyasını azaltmaqdır. Burada Səngəçal dizel elektrik stansiyasının modullarının tullantı istiliyindən istifadə etmək nəzərdə tutulmuşdur. Termiki distillə prosesinin müxtəlif növləri təhlil olunmuşdur. Çoxpilləli resirkulyasiya növlü buxarlandırıcıların səmərəli olduğu aşkar edilmişdir. Hesablama-analitik tədqiqatlar çoxpilləli ani qaynama qurğusu üçün aparılmış və hesablama modeli qurulmuşdur.

Açar sözlər: *Xəzər dənizi suyu, ikinci enerji ehtiyatları, ekoloji zərər, termiki distillə, çoxpilləli ani qaynama, şirənləşdirmə, hesablama modeli*

Jahan Ahmadova

Azerbaijan State Oil and Industry University
PhD in Engineering

<https://orcid.org/0000-0003-4113-9351>

ahmedova_cahan1975@mail.ru

Aydın Ahmadov

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master student

<https://orcid.org/0009-0004-4710-5413>

akhmedoff.aydin@mail.ru

Reduction of Ecological Damage by Using Waste Heat of Combustion Products in Thermal Distillation Technology of Seawater

Abstract

The presented article is given a computational model of the process of thermal desalination of Caspian Sea water using secondary energy reserves of power plants. Thermal desalination is based on flash evaporators. The main goal is to reduce the costs of desalination technology and emissions of greenhouse gases into the atmosphere by using waste heat. Here, it is planned to use the waste

heat of the modules of the Sangachal diesel power plant. Various types of thermal distillation processes were analyzed. Multi-stage recirculation evaporators were found to be efficient. Computational-analytical studies were conducted for a multi-stage flash evaporator and a computational model was built.

Keywords: Caspian Sea water, secondary energy resources, environmental damage, thermal distillation, multistage flash boiling, sweetening, computational model

Giriş

Məlumdur ki, BMT-nin iqlim dəyişikliyi konfransları hər il keçirilir. Bu konfransların məqsədi iqlim sisteminə təhlükəli hesab olunan müdaxilələrin qarşısının alınması, daha dəqiq istixana qazlarının emissiyalarının azaldılması yollarının araşdırılmasıdır. Konfransın məsələlər siyahısına içməli (şirin) su qıtlığı probleminin həlli də daxil edilmişdir. Tərəflər konfransının 2024-cü il noyabr ayında keçirilən 29-cu sessiyasına – COP 29-a Azərbaycan Respublikası ev sahibliyi etmişdir. COP 29-un Bakı şəhərində keçirilməsinə həm də Azərbaycanın yaşıl enerji siyasətinə qlobal dəstəyi səbəb olmuşdur. Bununla yanaşı ölkə Prezidenti İlham Əliyev 2024-cü ili “yaşıl dünya naminə həmrəylik ili” elan etmişdir.

Bütün bu qeyd olunanlar əsas götürülərək aparılan tədqiqatlar ətraf mühitə vurulan zərəri azaltmaq, yəni istixana effektinə təsir edən qazların emissiyasını azaltmaq məqsədi ilə dəniz suyunun yüksək temperaturlu termiki distillə prosesinin İES-in yanma məhsullarının istiliyi hesabına aparılmasına həsr olunmuşdur.

Tədqiqat

BMT-nin verdiyi məlumatlara görə (Abdullayev, 2010) dünyada 780 mln. insanın təmiz içməli su mənbələrinə çıxışı yoxdur, 1.7 mlrd insan içməli su qıtlığından əziyyət çəkir. Planetimizin 70%-i su ilə örtülsə belə, onun ancaq 3 %-i şirin sudur və bunun da 2/3-ni buzlaqlar təşkil edir.

Su qıtlığının səbəbləri:

1. Urbanizasiya və sənayeləşmə – sənayedə texniki məqsədlər üçün içməli sudan istifadə; içməli su hövzələrinə sənaye tullantı sularının axıdılması; onların tərkibindəki mikrob və pestisidlərlə su hövzələrinin çirklənməsi və yararsız hala gəlməsi və s.

2. Kənd təsərrüfatının inkişafı – dünyada mövcud olan şirin suyun 70%-i kənd təsərrüfatında istifadə olunur; bu sahədə sudan israfçılıqla istifadə etmək çayların, göllərin, hətta yeraltı su hövzələrinin qurumasına gətirir.

3. Ölkələrin əhalisinin sayının çox hissəsinin əsasən böyük şəhərlərdə yaşaması səbəbindən su qıtlığı problemi burada daha qabarıqdır.

XXI əsr içməli (şirin) su qıtlığı probleminin dünya miqyasında daha da kəskinləşməsinə xarakterizə edir. Növbəti illərdə içməli su qıtlığından əziyyət çəkən insanların sayının 2 milyarda çatması proqnozlaşdırılır (Abdullayev, Əhmədova, Ağamaliyev, 2010). Bu problemin həlli kimi dünya mütəxəssisləri duzlu (dəniz və okean) suların şirinləşdirilməsini təklif edir və bir sıra dünya ölkələrində (Qazaxıstan, Səudiyyə Ərəbistanı, Qətər, İsrail və s.) uğurla tətbiq olunur. Hal-hazırda dünyada ~15 min şirinləşdirici qurğu sutkada $>6 \cdot 10^{10}$ litr içməli su hasil edir (El-Dessouky, Ettouney, 2002). Burada əsasən əks-osmos şirinləşdirmə qurğularından istifadə olunur.

Azərbaycan Respublikası üçün su qıtlığı aktualdır, əsasən də Abşeron regionunda. Qeyd olunanları nəzərə alaraq aparılan tədqiqatlar sənaye müəssisələri üçün, əsasən İES-lərin əlavə suyunu hazırlamaq məqsədilə Xəzər dənizinin suyunun şirinləşdirilməsinə həsr olunmuşdur. Xəzər dənizi suyunun ilkin və Na-kationlaşdırma süzgəcində yumşaldıqdan sonra ion tərkibi, mq-ekv/dm³: xam suyun – Na⁺=136, Ca²⁺=16, Mg²⁺=60, Cl⁻=140, SO₄²⁻=68, HCO₃⁻=4; TDS=12646 mq/dm³; yumşaldılmış su – uyğun olaraq 212, 0.01, 0.01, 140, 68, 4, TDS=13350 mq/dm³.

Məlum olduğu kimi bir sıra su şirinləşdirici üsul mövcuddur (Feyziyev, 2009): əks-osmos; termiki distillə; kimyəvi; ion mübadiləsi; dondurulma; elektrodializ; nanosüzülmə; düz osmos və s.

Hər üsulun özünəməxsus müsbət və mənfi cəhətləri vardır. İstifadə faizinə görə baromembran texnologiyasından əks-osmos (~65%) birinci yeri tutur. Amma onun permeatı İES-lərin orta, yüksək və s. qazanlarının əlavə suyu qismində istifadə oluna bilməz. Əks-osmosla şirinləşdirilən dəniz suyunun ümumi duzluluğu 12646 mq/dm³-dan 100÷200 mq/dm³-a düşür.

Dünyada istifadə sahəsinə görə ikinci yerdə olan dəniz suyunun şirinləşdirilmə texnologiyası termiki distillədir. Termiki distillə üsulunun üstün cəhətləri: məhsuldarlığın yüksək olması

(irimiqyaslı şirin su istehsalında istifadəsi səmərəlidir); şirinləşdirilən suyun qalıq konsentrasiyasının çox aşağı olması (düz axınlı qazanların əlavə suyu göstəricisində); yüksək duzluluqlara malik suların şirinləşdirilə bilmə imkanı.

Sənaye miqyasında üç növ termiki şirinləşdirilmə üsulu tətbiq olunur:

- Çoxpilləli səthli qaynama (Multiple-Effect Distillation-MED);
- Çoxpilləli ani qaynama (Multi-Stage Flash Distillation-MSF);
- Çoxpilləli buxar kompressiyalı (Vapor-Compression VC).

Məlum olduğu kimi, qeyd olunan şirinləşdirmə texnologiyalarının ən böyük mənfə cəhəti istilik xərclərinin yüksək olmasıdır ($\sim 40\div 50\%$). Bunu nəzərə alaraq aparılan tədqiqatların məqsədi İES-lərin yanma məhsullarının tullantı istiliyi hesabına dəniz suyunun ani qaynama termiki şirinləşdirmə texnologiyasının tətbiqidir. Belə texnologiyanın araşdırılmasında digər məqsəd tüstü qazlarının ətraf mühitə vurduğu zərəri azaltmaqdır.

Məqalədə, təcrübədə geniş tətbiq sahəsinə malik olan (Report.az, 2025) çoxpilləli ani qaynama üsulunun stansiyaların ikinci enerji ehtiyatları hesabına işləməsinin hesablama modeli təklif olunur.

Bununla yanaşı, İES-lərin kifayət qədər ikinci enerji ehtiyatlarının mövcudluğu haqqında məlumatlar vardır. Məsələn kimi Abşeronda istismar olunan Səngəçal elektrik stansiyasını göstərmək olar. Bu stansiyada gücü 16 MVt olan 18 modul işləyir. Modullardan ətraf mühitə temperaturu $400\div 500^{\circ}\text{C}$ olan yanma məhsulları atılır ki, bunlardan 6 modulun tullantı istiliyi stansiyanın xüsusi ehtiyaclarına sərf edilir. Qalan 12 modulun ikinci enerji ehtiyatları atmosfərə atılaraq ətraf mühitin istiliklə çirklənməsinə və istixana qazlarının emissiyasına səbəb olur.

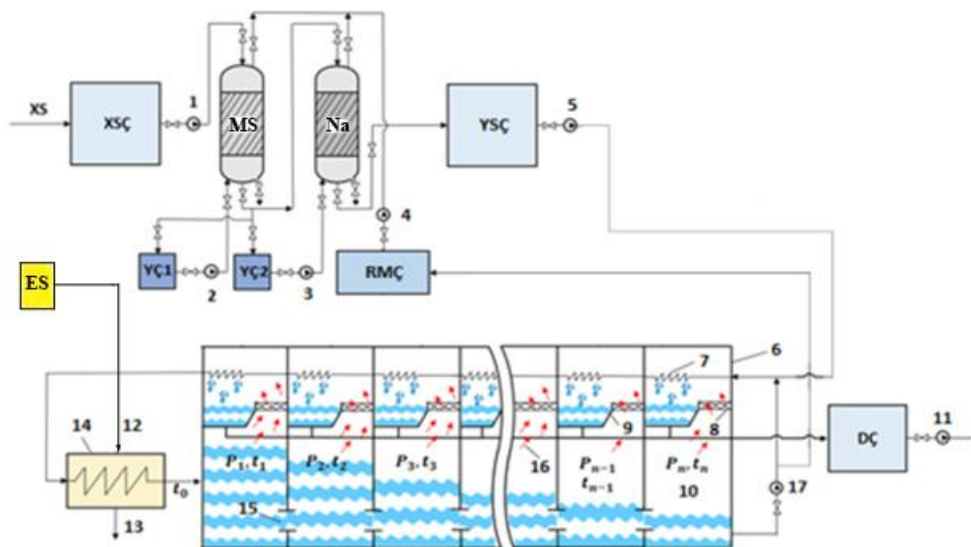
Aparılan araşdırmalara görə (Satbayev University) hər moduldan utilizə olunan istilik miqdarı ~ 15 MVt təşkil edə bilər. Termiki distilləyə istiliyin xüsusi sərfi isə $200\div 500$ MC/m³ təşkil edir (Slesarenko, 1999). Beləliklə, stansiyanın hər modulundan atılan istilik hesabına nəzəri olaraq $1,4\div 5,2$ min ton/sut şirinləşdirilmiş suyun əldə olunması mümkündür.

2. MSF distillə texnologiyasının texnoloji sxemi və onun iş prinsipi

Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilməsi məqsədilə aşağıdakı mərhələlərin tətbiqi nəzərdə tutulur:

- Mexaniki qatışıqlardan təmizlənmə;
- Na-kationlaşdırma üsulu ilə yumşaldılma;
- MSF qurğusunda şirinləşdirmə.

Qeyd olunan mərhələləri əhatə edən suyun şirinləşdirilməsi qurğusunun texnoloji sxemi şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. Na+MSF qurğusunun texnoloji sxemi

Təklif edilən sxemin iş prinsipinə görə dəniz (xam) suyu (XS) xam su çəninə (XSÇ) yığılır. Buradan nasos (1) vasitəsilə antrasitlə yüklənmiş süzgəcə (MS) ötürülür. Süzücü təbəqədən

süzülərək şəffaflaşdırılır. Bu suyun bir hissəsi yuma çənləri (YÇ1) və (YÇ2)-yə yığılır. YÇ1 mexaniki süzgəcin, YÇ2 isə Na-kationit süzgəcinin yuyulması üçün nəzərdə tutulub. Şəffaflaşdırılmış suyun əsas hissəsi Na-kationit süzgəcindən (Na) keçərək yumşaldılır və (YSÇ) çəninə yığılır. Buradan su nasos (5)-lə MSF qurğusu (6)-nın dövrü xəttinə verilir. MSF-in sonuncu pilləsi (10)-dan üflənən suyun bir hissəsi nasos (17) vasitəsilə dövrü kontura resirkulyasiya olunur, qalan hissəsi (13) isə Na-kationit süzgəcinin regenerasiyasına istifadə etmək üçün regenerasiya məhlulu çəninə (RMÇ) göndərilir.

Ani qaynama qurğusunda proses yüksək temperatur altında getdiyi üçün ərplərin (CaCO_3 , CaSO_4 , Mg(OH)_2) yaranmasının qarşısını almaq məqsədilə şirinləşdirilən suyun yumşaldılması aparılır və buna əsaslanaraq suyun konsentrasiyasının qatılma mislini $2,5 \div 3$ -dən $8 \div 10$ -dək artırmaq olar. Qeyd etmək lazımdır ki, üflənən suda $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ duzlarının konsentrasiyası $9,6 \div 10\%$ təşkil etdiyindən bu su Na-kationit süzgəcinin regenerasiyası üçün tam yararlıdır (Slesarenko, 1999). Əsas qızdırıcı (14) qismində util-qazan (UQ) təklif olunur ki, buraya stansiyanın yanma məhsulları verilir. Əsas qızdırıcıda yanma məhsullarının tullantı istiliyi (12) hesabına yumşaldılmış dəniz suyu qızdırılır və MSF-in birinci pilləsinin buxarlanma kamerasına verilir. Birinci pillədən üflənən su (15) ikinci pillənin bəsləyici suyudur. Beləliklə, hər pilləyə verilən su buxar qarışığından buxarlanma kamerasında buxar (16) ayrılaraq separator (8)-dən keçərək (7)-nin vasitəsilə kondensatlaşır və distillat təknəsi (9)-a yığılır. Oradan distillat çəni (DÇ)-yə ötürülür və şirinləşdirilmiş su nasos (11)-lə tələbatçıya göndərilir. Temperaturu aşağı salınmış ($160 \div 170^\circ\text{C}$) tüstü qazları (13) atmosfərə atılır.

3. Şirinləşdirmə texnologiyasının hesablama metodikası

Təklif olunan sxemin hesablanma-analitik tədqiqinin yerinə yetirilməsi məqsədilə qurulmuş riyazi hesablama metodikası aşağıda təklif olunur. Burada əsasən maddi və istilik balans, regressiya, gizli buxarlanma və s. tənliklərdən istifadə olunur. Util qazanda istiliyin gücü aşağıda verilmiş istilik balans tənliyi ilə hesablanır, MVt:

$$Q_{UQ} = G_D(t_2 - t_1) \cdot C_p \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

burada G_D – util-qazanda dövr edərək qızdırılan duzlu suyun sərfidir, kq/san; t_1 və t_2 – uyğun olaraq util-qazanın giriş və çıxışında duzlu suyun temperaturlarıdır, $^\circ\text{C}$; C_p – suyun xüsusi istilik temperaturudur, kVt/(kq $\cdot^\circ\text{C}$).

Çoxpilləli MSF qurğusunun pillələrində temperatur düşkünləri adətən eyni qəbul olunduğunu nəzərə alaraq məhsuldarlığı (G_{QUR}) belə hesablamaq mümkündür, kq/san (Feyziyev, 2009):

$$G_{QUR} = G_D(1 - (1 - C_p \cdot \frac{\Delta t_{pil}}{r_{or}})^n), \quad (2)$$

burada Δt_{pil} – hər pillədə temperatur düşkünlüyü, $^\circ\text{C}$:

$$\Delta t_{pil} = \frac{t_2 - t_{üf}}{n}, \quad (3)$$

burada $t_{üf}$ – sonuncu pillədən üflənən məhlulun temperaturudur, $^\circ\text{C}$; n – buxarlanma pillələrinin sayıdır; r_{or} – gizli buxarlanma istiliyinin orta qiymətidir və regressiya tənliyindən belə hesablanır, kC/kq (Vatten.ru):

$$r_{or} = 2501,9 - 2,407t_{or} + 1,19222 \cdot 10^{-3}t_{or}^2 - 1,5863 \cdot 10^{-5} \cdot t_{or}^3, \quad (4)$$

burada t_{or} – hər pillənin orta temperaturudur, $^\circ\text{C}$.

Dövr edən duzlu (dəniz) suyun hər i-ci pillənin çıxışındakı temperaturunun hesablanması verilmiş tənliklə aparılır, $^\circ\text{C}$:

$$t_2 = t_i + (n - (i - 1) \cdot \Delta t_{pil} \quad (5)$$

MSF-in maddi və istilik balans tənlikləri:

$$G_D = G_{Res} + G_{YS} \quad (6)$$

$$G_D \cdot S_D = G_{Res} \cdot S_{üf} + G_{YS} \cdot S_{YS} \quad (7)$$

$$G_D \cdot C_p \cdot t_D = G_{Res} \cdot C_p \cdot t_{üf} + G_{YS} \cdot C_p \cdot t_{YS} , \quad (8)$$

burada G_{Res} və G_{YS} – uyğun olaraq qurğuda resirkulyasiya edən və qurğuya verilən yumşaldılmış suların sərfəridir, kq/san; S_D və $S_{üf}$ – uyğun olaraq bütün sistemdə dövr edən və sistemdən üflənən suların duzluluq göstəriciləridir, mq/dm³; t_D və t_{YS} – ümumi sistemdə dövr edən və yumşaldılmış suların temperaturlarıdır, °C.

MSF qurğusunda alınan distillə olunmuş suyun temperaturunun təyini, °C:

$$t_{Dis} = t_{üf} - \Delta i, \quad (9)$$

burada Δi – fiziki-kimyəvi temperatur depressiyasıdır, hər i-ci pillə üçün verilmiş düsturla hesablanır [8]:

$$\Delta i = S_i \cdot 10^3 \cdot (M_i + S_i \cdot 10^3) \cdot L_i \cdot 10^{-3}, \quad (10)$$

burada M_i və L_i – dəqiqləşdirmə əmsallarıdır:

$$M_i = (6,71 + 6,34 \cdot 10^{-2} \cdot t_{iüf} + 9,74 \cdot 10^{-5} \cdot t_{iüf}^2) \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

$$L_i = (22,238 + 9,57 \cdot 10^{-3} t_{iüf} + 9,42 \cdot 10^{-5} t_{iüf}^2) \cdot 10^{-8} , \quad (12)$$

burada $t_{iüf}$ – hər i-ci pillədən üflənən suyun temperaturudur, °C:

$$t_{iüf} = t_2 - i \Delta t_{pil} , \quad i=1.....n \quad (13)$$

Riyazi hesablamaya util qazanın istilik ötürmə tənliyi də daxildir, Vt/(m²k):

$$Q_{UQ} = F_{UQ} \cdot K_{UQ} \cdot \Delta t_{UQ} , \quad (14)$$

burada F_{UQ} – util-qazanın qızma səthinin sahəsidir, m²/(kq/san); K_{UQ} – util-qazanın istilik ötürmə əmsalındır, Vt/(m²·K); Δt_{UQ} – util-qazanda temperatur basqısıdır, °C.

Hesablama metodikası əsasında kompüter proqramının işlənilməsi təklif edilir. Proqramın köməkliyi ilə sistemin əsas giriş faktorlarının onun texnoloji çıxış göstəricilərinə təsiri tədqiq oluna bilər. Giriş faktorlarının dəyişmə diapazonu belədir:

- UQ-nın çıxışında dəniz (duzlu) suyunun temperaturu: $t_2=110 \div 160$ °C;
- MSF-in sonuncu pilləsindən üflənən suyun temperaturu: $t_{üf}=40 \div 100$ °C;
- MSF-in buxarlandırıcı pillələrin (kameralarının) sayı: $n=1 \div 20$;
- Utilizə olunan istiliyin miqdarı: $Q_{UQ}=6 \div 16$ MVt;
- Sonuncu pillədən üflənən suyun duruluğu: $S_{üf}=70 \div 110$ q/dm³.

Hesablama mərhələsinin sonunda dizel elektrik stansiyasının ikinci enerji ehtiyatlarının istilik potensialının energetik səmərəlilik göstəricisinin hesablanma düsturu təklif edilir, kq/MC:

$$\eta_{ener} = G_{Qur} / Q_{UQ} \quad (15)$$

Məqalənin sonunda qeyd etmək vacibdir ki, aparılan tədqiqatların nəticələrinə görə dəniz suyunun Na-kationlaşdırma ilə yumşaldılması sayəsində istilik mübadilə səthlərində ərpən

yarınması təhlükəsi olmadan MSF-in üflənən suyunun konsentrasiyasını $100 \div 200 \text{ q/dm}^3$ -dək artırmaq mümkündür.

Nəticə

Səngəçal dizel elektrik stansiyasının tullantı istiliyi hesabına Xəzər dənizi suyunun az xərclərlə şirənləşdirilməsi əldə oluna bilər. Stansiyanın ikinci enerji ehtiyatlarından istifadə etməklə atmosfərə atılan tüstü qazlarının temperaturunu $400 \div 500^\circ\text{C}$ -dən $160 \div 170^\circ\text{C}$ -dək endirməklə istixana effekti yaradan qazların (SO_x , NO_x və s.) emissiyasını azaltmaq mümkündür. Çoxpilləli ani qaynama qurğusu seçməklə suyun distillə texnologiyasının səmərəliliyini artırmaq olar.

Qeyd etmək lazımdır ki, təklif olunan şirənləşdirmə texnologiyası ilə Xəzər dənizi suyu ilə yanaşı, həm də digər su mənbələrinin sularının (yeraltı şoran, çay və s.) şirənləşdirilməsi aparıla bilər.

Ədəbiyyat

1. Abdullayev, K. M. (2010). Perspektivi ispolzovaniya vtorichnikh energoresursov dlya opresneniya mineralizovannikh vod na Apsherone. In Tezis doklada Mezhdunarodnoy Nauchnoy Konferensyy "Neft-qaz, Neftepereabotka i Neftekhimiya". Bakı, 235.
2. Abdullayev, K. M., Axmedova, D. A., Aqamaliyev, M. M. (2010). Texnologiya kombinirovannoqo opresneniya mineralizovannix vod s ispolzovaniem vtorichnikh energoresursov dizelnikh elektrostansiy modulnogo tipa. Energetikanın Problemləri, (2), 33–46.
3. El-Dessouky, H. T., Ettouney, H. M. (2002). Fundamentals of salt water desalination. Elsevier.
4. Feyziyev, Q. K. (2009). Visokoeffektivniye metodi umyegcheniya i obessolivaniya vodi (2-izd.). Bakı: Təhsil TPP.
5. Report.az. (2025). V 2025 godu mozhet usugubit'sya problema s pit'yevoy vodoy. <https://report.az/ru/ekologiya/v-2025>
6. Satbayev University. (n.d.). Problema pit'yevoy vody. <https://satbayev.university/ru/news/problema-pitevoy-vody>
7. Slesarenko, V. N. (1999). Opresnitelniye ustanovki. Vladivostok: DVQMA.
8. Vatten.ru. (n.d.). Opresneniye vody – izvestnyye metody. <https://vatten.ru/knowns/water-desalination>.

Daxil oldu: 29.11.2024

Qəbul edildi: 04.03.2025