

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

UOT 628.12.15:621.311.22

DUZLU SULARIN NANOSÜZÜLMƏ ÜSULU İLƏ YUMŞALDILMASI TEKNOLOGİYASININ TƏDQIQI

Əhmədova C.A., Məlikov T.C.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 20
E-mail:ahmedova_cahan1975@mail.ru

Xülasə. Məqalədə göstərilmişdir ki, Abşeron yarımadasının dənizkənarı rayonlarının istiləşdirmə sistemlərinin əlavə suyu membran texnologiyaları əsasında Xəzər dənizi suyundan hazırlana bilər. Bununla əlaqədar membran texnologiyalarının ixtisaslaşdırılmış "ROSA" kompüter proqramı vasitəsilə dəniz suyunun yumşaldılması və şirinləşdirilməsi üçün müasir nanosüzülmə texnologiyasının imkanları tədqiq edilmişdir. Proqramda qeyd olunan texniki parametrlərinə görə nanosüzülmə üçün NF90-400 və NF270-400, əks-osmos üçün BW30-400 markalı membranlar seçilmiş və onların müqayisəvi təhlili aparılmışdır.

Abstract. The article states that make-up water for heating networks of the coastal regions of the Absheron Peninsula can be prepared from the water of the Caspian Sea based on membrane technologies. In this regard, the possibilities of modern nanofiltration technology for softening and desalination of sea water were studied using a specialized computer program "ROSA". According to the technical parameters specified in the program, NF90-400 and NF270-400 membranes for nanofiltration and BW30-400 for reverse osmosis were selected and their comparative analysis was carried out.

Аннотация. В статье указано, что подпиточная вода для теплосетей прибрежных районов Апшеронского полуострова может быть приготовлена из воды Каспийского моря на основе мембранных технологий. В связи с этим были изучены возможности современной технологии нанофильтрации для умягчения и опреснения морской воды с помощью специализированной компьютерной программы «ROSA». По техническим параметрам, указанным в программе были подобраны мембраны NF90-400 и NF270-400 для нанофильтрации и BW30-400 для обратного осмоса и проведен их сравнительный анализ.

Açar sözlər: dəniz suyu, nanosüzülmə, yumşaldılma, şirinləşdirmə, əks-osmos, membran

Key words: sea water, nanofiltration, softening, desalination, reverse-osmosis, membrane

Ключевые слова: морская вода, нанофильтрация, умягчение, опреснение, обратный-осмос, мембрана

Giriş. Bütün dünyanın və Azərbaycan Respublikasının global problemlərindən biri şirin su qıtlığıdır. Abşeron yarımadasında bu problem daha kəskin xarakter daşıyır və Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilməsini aktuallaşdırır. Buna səbəb əhalinin artması, xalq təsərrüfatı və sənaye müəssisələrinin inkişafıdır. Problemin həlli kimi, 2010-cu ildə ölkə prezidenti tərəfindən sahil kənarı rayonlarda irimiqyaslı şirinləşdirici qurğuların quraşdırılmasına göstəriş verilmişdir. Bir çox ölkələrdə, Səudiyyə Ərəbistanı, Qətər, İsrail, İspaniya və digər ölkələrdə su qıtlığı problemi okean və Aralıq dənizi sularının şirinləşdirilməsi ilə həll olunub [1].

Şirinləşdirmə təcrübəsi göstərir ki, şirinləşdirmə texnologiyalarının seçimində nəzərə alınacaq kriteriyalar enerji xərclərinin aşağı olması və qurğunun istismarının sadəliyidir. Bunları nəzərə alaraq sənaye miqyasında əks-osmos şirinləşdirmə texnologiyalarına geniş yer verilir və hal-hazırda təbii

60%-dən yüksəkdir [1]. Termiki üsullardan buxar kompressiyalı, və eləcə də utilizasiyalı şirinləşdirmə texnologiyaları üstünlük təşkil edir.

Ədəbiyyatda verilən məlumatların təhlili göstərir ki, enerji səmərəlilik və az tullantılı membran texnologiyası kimi nanosüzülmə böyük maraq doğurur. Təqdim olunan işdə Xəzər dənizi suyunun nanosüzülmə texnologiyası ilə tədqiqinin nəticələri gətirilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, nanosüzülmə (NF-nanofiltration) ilkin olaraq səth və yeraltı suların içməli suyun hazırlanması, və eləcə də çirkab suların təmizlənməsi məqsədilə işlənmişdir. NF membranlarının ikivalentli ionlara (Ca^{2+} , Mg^{2+} və SO_4^{2-}) görə selektivliyi kifayət qədər yüksəkdir ($74,2 \div 98,6\%$). Beləliklə nanosüzülmə prosesində su yumşaldılır, sulfatsızlaşdırılır və qismən duzsuzlaşdırılır [2].

Texnologiyaların sxemləri və tədqiqat üsulları. Ədəbiyyatda verilənlərə görə duzlu suların şirinləşdirmə sistemlərində nanosüzülmədən termiki və əks-osmoslu şirinləşdirmə mərhələlərində ərp yaranmasının qarşısını almaq, və eləcə də birbaşa şirinləşdirmə məqsədilə istifadə etmək olar.

Duzluluğu $20 \div 50$ q/dm³ olan suların termiki və əks-osmoslu şirinləşdirilməsindən öncə ikipilləli nanosüzülmə üsulu ilə yumşaldılma texnologiyasına əsaslanan şirinləşdirmə üsulu patentləşdirilmişdir [3]. İş [4]-də Fars körfəzinin suyunun şirinləşdirilməsində yüksək temperatur (90÷120°C) ani qaynama buxarlandırıcılarında antiərpəldən imtina etmək imkanının olduğu göstərilmişdir.

Tədqiqat işləri hesablama-analitik yolla aparılmış və Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilməsində sulfat probleminin nanosüzülmə ilə həllinin mümkünlüyü göstərilmişdir [5].

Duzlu suların, əsasən də Xəzər dənizi suyunun nanosüzülmə ilə birbaşa şirinləşdirilməsi sahəsində az sayda tədqiqatlar aparılmışdır. İş [6]-də göstərilmişdir ki, okean suyunun ikipilləli nanosüzülmə ilə enerji sərfini və ərp yaranmasını azaltmaqla yanaşı optimal şəraitdə həm də duzların miqdarını 200 mq/dm³-dək azaltmaq olur. Digər göstəricilərə görə nanosüzülmənin işçi təzyiqlərinin ($\sim 3 \div 15$ bar) əks-osmosla ($\sim 15 \div 70$ bar) müqayisədə az olması enerji xərclərinin kəskin azalmasına və qurğunun istismarının sadələşməsinə gətirir. Xəzər dənizi suyunun nanosüzülməli yumşaldılmasına həsr olunmuş tədqiqatları, iştisalaşdırılmış “ROSA” (Rovers Osmosis Systems Analysis) kompüter proqramından istifadə etməklə hesablama-analitik üsulla aparılması məqsədə uyğundur [7].

Məhsuldarlığı 50 m³/saat olan Xəzər dənizi suyunun NF-yumşaldılması qurğusunun bu proqramla üç variantda sxemi tədqiq olunmuşdur: birpilləli, permeata görə ikipilləli və ikinci pillənin konsentratının birinci pillənin bəsləyici suyuna qatmaqla (dövranlı), permeata görə ikipilləli (şək.1). Bununla yanaşı, Xəzər suyunun birpilləri RO-şirinləşdirilməsinin hesabı ilə müqayisəsi aparılmışdır.

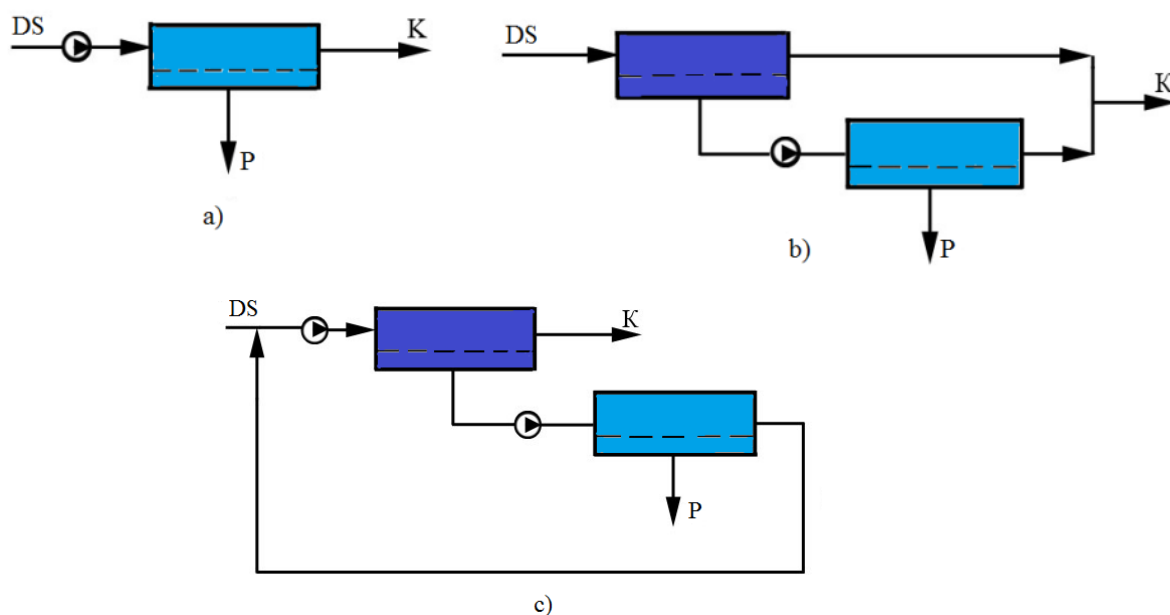
Tədqiqat metodikasında prosesin kompleks çıxış göstəricilərinin təyini nəzərdə tutulmuşdur: permeatın və konsentratın ion tərkibləri, CaCO_3 və CaSO_4 ərplərinin membranlar üzərində çökmə şərtlərinin təhlili, uyğun şərait üçün optimal marka membranların seçilməsi. “ROSA” proqramında qeyd olunan membranların texniki parametrlərinin təhlili, nanosüzülmə üçün NF90-400 və NF270-400, əks-osmos üçün isə BW30-400 markalı membranların uyğun olmasını göstərir və cədvəl 1-də onların müqayisəvi təhlili verilmişdir.

Cədvəl 1

Membranların texniki xarakteristikaları

Membran markaları	Aktiv səth sahəsi, m ²	Təzyiq, bar	Məhsuldarlıq, m ³ /sut	Duzlar, mq/dm ³
NF-90-400	37,2	4,8	37,9	MgSO ₄ - 2000
NF-270-400	37,2	4,8	47	MgSO ₄ - 2000
BW-40-300	37	15,5	40	NaCl - 2000

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, Xəzər suyunun duzluluğu okean suyundan ~ 3 dəfə az olsa da, ərp yaranan ionların (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} və HCO_3^-) hər birinin miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə çoxdur. Bu da Xəzər dənizi suyunun şirinləşdirilməsi zamanı ərp yaranma potensialının yüksək olmasından xəbər verir.



Şəkl. 1. Xəzər dənizi suyunun NF-yumşaldılması sxemlərinin dizaynı
a) birpilləli sxem; b) ikipilləli sxem; c) ikipilləli dövrənlı sxem; DS – dəniz suyu; P – permeat (şirinləşdirilmiş su); K - konsentrat

Cədvəl 2

Xəzər dənizi suyunun* və standart okean suyunun ion tərkibləri

№	Göstəricilər	Ölçü vahidi	Xəzər dənizi suyu	Okean suyu
1	Na ⁺	mq-ekv/dm ³	138	467,0
2	Mg ²⁺	mq-ekv/dm ³	60	108,0
3	Ca ²⁺	mq-ekv/dm ³	16	20,5
4	HCO ₃ ⁻	mq-ekv/dm ³	4	2,4
5	Cl ⁻	mq-ekv/dm ³	142	536,9
6	SO ₄ ²⁻	mq-ekv/dm ³	68	56,2
7	pH	-	8,2	8,1
8	TDS	mq/dm ³	12750	34261

*Qeyd: *Abşeron yarımadasının akvatoriyası üçün Xəzər dənizi suyunun tərkibidir; TDS – duzluluqdur (total dissolved solids).*

Dəniz suyunun permeatının çıxımı $\beta=50\%$ olmaqla birpilləli şirinləşdirmə sxeminin hesablama nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi, BW30-400 membranlarından istifadə etməklə əks-osmoslu şirinləşdirmə ilə suyun optimal duzluluğu $150\div 200$ mq/dm³-dək azalır. Nanosüzülmə üsuluna gəldikdə isə NF90-400 membranları daha yaxşı göstəricilərlə xarakterizə olunur: NF90-400 yumşaldılmış suyun duzluluğunu 1400 mq/dm³-dək, NF270-400 isə – 6075 mq/dm³-dək azaltmağa imkan verir.

BW30-400 və NF90-400 membranlarının selektivliklərinin cədvəl 4-də verilən qiymətlərindən görünür ki, ancaq Na⁺ və Cl⁻ üçün selektivlik fərqi yüksəkdir, uyğun olaraq 11% və 10% . İkivalentli ionlara görə NF90-400 markalı membranların selektivliyi məhz $1,3\div 1,7\%$ BW30-400-dən azdır. Bütün bu hallar üçün sulfat ərpinin yaranması təhlükəsi aradan qalxır ($K_{CaSO_4} < 100\%$), amma CaCO₃ ərpinin az miqdarda yarana bilməsi proqnozlaşdırılır: LSI və S@DSI – müsbətdir.

Cədvəl 3

Birpilləli sxemin texnoloji göstəricilərinin hesanlama nəticələri

№	Göstəricilər	Ölçü vahidi	Пермеат			Концентрат		
			BW40300	NF90400	NF270400	BW40300	NF90400	NF270400
1	Na ⁺	mq/dm ³	44,4	491,7	1943,9	6305,3	5858,2	4406,6
2	Mg ²⁺	mq/dm ³	3,7	20,5	201,0	1455,2	1438,4	1257,9
3	Ca ²⁺	mq/dm ³	1,6	8,9	104,1	638,8	631,5	536,4
4	HCO ₃ ⁻	mq/dm ³	3,5	16,0	97,4	413,4	406,5	328,5
5	Cl ⁻	mq/dm ³	68,7	767,3	3647,4	9998,8	9305,7	6425,8
6	SO ₄ ²⁻	mq/dm ³	15,5	77,4	74,4	6512,2	6450,5	6453,8
7	pH	-	6,62	7,41	8,53	7,95	7,92	7,98
8	LSI	-	-	-	-	1,69	1,64	1,54
9	S@DSI	-	-	-	-	0,76	0,73	0,72
10	K _{CaSO₄}	%	-	-	-	88,33	89,02	88,71
11	TDS	мг/л	154,1	1381,8	6075,8	25403,3	24124,8	19433,3

Qeyd: K_{CaSO₄} - kalsium sulfata görə konsentratın doyma dərəcəsidir; LSI və S@DSI - ərpın yaranmasını proqnozlaşdırın indekslərdir.

Cədvəl 4

Ayrı-ayrı ionlara görə membranların selektivliyi, %

Membranlar	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
BW40-300	98,9	99,6	99,6	95,5	99,0	99,6
NF90-400	88,4	98,0	97,9	92,9	88,6	98,3

Birpilləli şirinləşdirmə sxeminin energetik göstəriciləri cədvəl 5-də verilmişdir.

Cədvəl 5

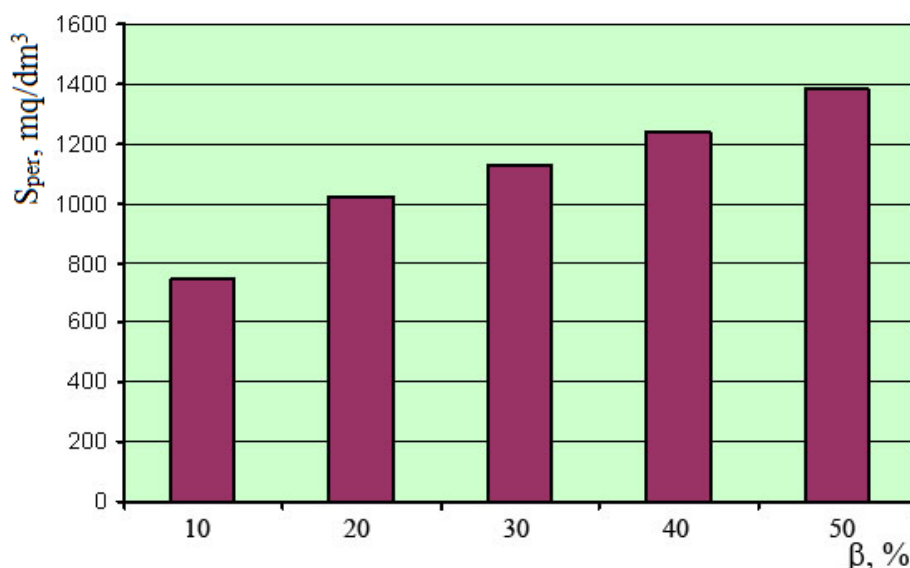
Energetik göstəricilər

№	Göstəricilər	Membranlar		
		BW40-300	NF90-400	NF270-400
1	Bəsləyici suyun təzyiqi, bar	22,1	13,8	8,3
2	Konsentratın osmotik təzyiqi, bar	14,8	13,9	10,4
3	Dizayn*	9/7	12/7	9/7
4	Elektrik enerjisinin xüsusi sərfi, kVt·saat/m ³	1,53	0,96	0,58

*Qeyd: *surət – membran tutucuların sayı, məxrəc – bunların hər birində membranların sayı.*

Şəkil 2-də verilmiş qrafikdən göründüyü kimi, birpilləli NF-yumşaldılmada alınan suyun çıxımının (β) az miqdarında ($5 \div 10\%$) onun duzluluğa (S_{per}) görə keyfiyyəti içməli suyun keyfiyyətinə uyğun gəlir.

Növbəti mərhələdə NF90-400 membranlarından istifadə etməklə NF-yumşaldılmanın ikipilləli sxeminin tədqiqi aparılmışdır (cədvəl 6). Alınan nəticələrdən göründüyü kimi, permeatın çıxımı hər pillədə eyni olmaqla ($\beta=50\%$) və dövrəni olmayan sxemin ikinci pilləsində duzluluq 200 mq/dm³-dək azalır. Permeatın çıxımına elektrik enerjisinin ümumi xüsusi sərfi 2,21 kVt·saat/m³ təşkil edir. Ərp yaranma indekslərinin göstəricilərinə görə birinci pillədə az miqdarda kalsium karbonat və sulfat ərplərinin yaranma bilməsi proqnozlaşdırılır. Bu sxemin əsas çatışmazlığı şirinləşdirilmiş suyun çıxımının aşağı olmasıdır – 25%.



Şək. 2. Permeatın çıxımının onun duzluluğuna təsiri qrafiki

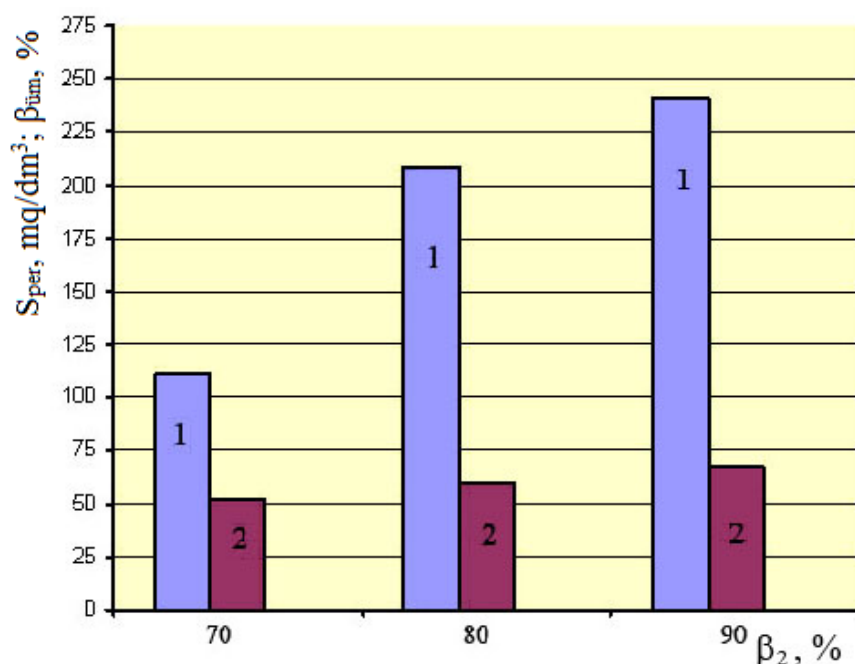
Cədvəl 6

NF90-400 membran elementli ikipilləli dövrənsiz sxemin hesablamalarının nəticələri ($\beta=50\%$)

№	Göstəricilər	Ölçü vahidi	NF ₁	NF ₂
1	Permeatın sərfi	m ³ /saat	100	50
2	Bəsləyici suyun təzyiqi	bar	13,8	4,2
3	Konsentratın orta osmotik təzyiqi	bar	10,7	1,5
4	Elektrik enerjisinin xüsusi sərfi	kVt·saat/m ³	0,96	0,29
5	Permeatın TDS-i	mq/dm ³	1381,8	193,7
6	Konsentratın TDS-i	mq/dm ³	24,1	2565
7	Membranların sayı	-	84	42
8	LSI	-	1,64	-1,3
9	S@DSI	-	0,73	-1,25
10	K _{CaSO₄}	%	89,12	0,38

Tədqiqatlar göstərir ki, ikipilləli sxemə görə yumşaldılmış suyun çıxımının artırılması nöqreyi nəzərdən $\beta_1=70\%$, $\beta_2=70\div90\%$ rejimi daha perspektivlidir. Bu rejimə görə ikinci pillənin permeatının duzluluğu $110\div240$ mq/dm³ təşkil edir (şək.3). Permeatın çıxımı 52%-dən 68%-dək, elektrik enerjisinin ümumi xüsusi sərfi 1,63 kVt·saat/m³-dan 1,42 kVt·saat/m³-dək azalır.

Nəticə. Aparılan tədqiqatların təhlili göstərir ki, permeatın çıxımı 50% olan BW30-400 membranlı RO-şirirləşdirmə prosesini xarakterizə edən göstəricilərlə, hər pilləyə görə permeatın çıxımı 70% olan NF90-400 membranlı ikipilləli NF-şirirləşdirmə prosesini xarakterizə edən göstəricilər praktiki olaraq eynidir. Amma NF-şirirləşdirmədə daha çox membran sayı tələb olunur. Xəzər dənizi suyunun ikipilləli nanosüzülməli şirirləşdirmə texnologiyasının səmərəliliyini qeyd etmək lazımdır. Amma NF- və RO-şirirləşdirmə texnologiyalarının obyektiv müqayisəvi qiymətləndirilməsi üçün alınan nəticələr kifayət etmir. Tədqiqatları davam etdirmək və texniki-iqtisadi xarakterli hesablamaları da yerinə yetirmək vacibdir. “ROSA” proqramında verilmiş digər marka nanomembranların da imkanları öyrənilməlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, membran texnologiyaları Abşeron yarımadasının dənizkənarı rayonlarının müasir istiləşdirmə və su təchizatı sistemlərinin əsasını təşkil edə bilər.



Şəkl.3. İkinci pillənin permeatının çıxımının (β_2) duzluluğa və ümumi konversiyaya təsiri
1 – permeatın TDS-dir; 2 – ümumi konversiyadır ($\beta_{\text{üm}}$).

Ədəbiyyat

1. Desalination for water supply / A. Review of current knowledge. Foundation for Water Research, - 2015, - 50 p, www.fwr.org.
2. Абдуллаев, К.М. Обзор технологий опреснения минерализованных вод / К.М.Абдуллаев, Г.К.Фейзиев, М.М.Агамалиев // Проблемы энергетики, - Баку: - 2010. №1, - с. 3-27.
3. Hassan, A.M. Fully integrated NF-thermal seawater desalination process and equipment. US Patent № 0157410, 2006, www.freepatentsline.com.
4. Hassan, A.M. Nanofiltration as means of achieving higher TBT>120°C / A.M.Hassan, M.A.Al-Sofi, G.M.Mustafa [and ets.] // Desalination, - 1998. 118, - p.123-129.
5. Агамалиев, М.М. Наночелчтрация – как новый метод предотвращения накипеобразования в системах опреснения минерализованных вод / М.М.Агамалиев, А.М.Бабаев, Р.Г.Мамедбекова, А.С.Ализаде // Проблемы энергетики, - Баку: - 2011. №1, - с. 92-106.
6. Two-pass nanofiltration seawater desalination prototype testing and evaluation / Desalination and Purification Research and Development Program Report // Colorado: - 2013. №158.
7. ROSA www.DOW.com.

Мəqalə qəbul olunub: 12.05.2022

Təvsiyə edib: t.e.d., prof. V.H.Həsənov