

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

GƏMİ İSTİLİK MÜBADİLƏ APARATLARININ SƏMƏRƏLİLİYİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI

İxtisas: 3319.01— «Gəmiçilik texnikası»

Elm sahəsi: Texnika sahəsi

İddiaçı: **İbrahimli Elvin Nazim oğlu**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2025

Dissertasiya işi “Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası”
PHŞ-nin «Tətbiqi mexanika» kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Vaqif Hajan oğlu Həsənov

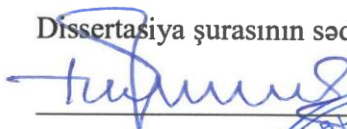
Rəsmi opponətlər: texnika üzrə elmlər doktoru, professor
Mərdan Fərəc oğlu Cəlilov

texnika elmlər namizədi, dosent
Qasım Əmir oğlu Məmmədov

texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Elşən Fəxrəddin oğlu Sultanov

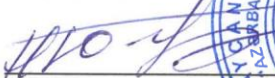
Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya
Komissiyasının “ADNSU” PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən ED
2.02 Dissertasiya şurasının bazasında Azərbaycan Respublikasının
Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasında qeydiyyat nömrəsi
BFD 2.02/2 olan Birdəfəlik Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:



texnika elmlər doktoru, professor
İbrahim Əbülfəz oğlu Həbibov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:



texnika elmlər doktoru, professor
Nazim Yusif oğlu İbrahimov

Elmi seminarın sədri:



texnika elmlər doktoru, professor
İsmayıl Mahmud oğlu İsmayilov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Gəmi istilik mübadilə aparatları (GİMA) istiliyin bir mühəttədən (istiliyi verən) digər mühəttə (istiliyi qəbul edən) ötürüldüyü qurğulardır. Bu aparatların istismar şəraiti bir neçə amildən, o cümlədən istifadə olunan mayelərin növü, onların temperaturu, təzyiqi, axın sürəti və istilik mübadilə aparatının konkret konstruksiyasından asılıdır. Bu səbəbdən, GİMA-nın istilik səmərəliliyi onların işinin əsas göstəricisidir və istiliyin bir mühəttədən digərinə nə dərəcədə effektiv ötürüldüyünü müəyyən edir.

Gəmi İMA-larının layihələndirilməsi və istismarı zamanı əsas problemlərdən biri boruların daxili səthində yaranan korroziya və ərpin, eləcə də boru dəstəsinin arakəsmələrinin optimal konstruksiyası və yerləşdirilməsidir. Bu çatışmazlıqların müxtəlif həll yolları mövcuddur. Qeyd etmək lazımdır ki, korroziya və ərplərin yaranması İMA-nın texnoloji rejimini 40–50% zəiflədir və istilik daşıyıcılarının qızdırılması və ya soyudulmasında çətinliklər yaradır.

Mövcud müxtəlif arakəsmə konstruksiyalarına malik İMA-ların çatışmazlıqlarından biri də, boru dəstəsinin səthlərində istilik mübadiləsinin qeyri-effektiv olması və aparatın borulararası sahəsində əhəmiyyətli dərəcədə istilik itkilərinin yaranmasıdır.

Texnoloji proseslərin optimallaşdırılması, arakəsmələrin konstruksiyası və boru dəstəsinin termiki dayanıqlılığı problemləri ciddi elmi-texniki maraq kəsb edir və bu dissertasiya işinin aktual məsələsidir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı müxtəlif diametrlərə və qalınlıqlara malik istilik mübadilə borularının istifadəsi, boruların xarici səthində yivlərin açılması və daxili səthinə silikat örtüyünün çəkilməsidir. Boru-boruda tipli istilik mübadilə aparatının eksperimental stendi hazırlanaraq yığılmışdır. GİMA-nın istilik daşıyıcılarının texnoloji parametrləri nəzərə alınmaqla, istilik mübadilə aparatının tam qurğusu laboratoriya şəraitində obyektlər üçün yaradılmışdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi istilik mübadiləsi prosesinin effektivliyinin artırılması və GİMA boru

dəstinin borulararası fəzasında arakəsmənin konstruksiyasının optimallaşdırılmasıdır. Aydın məsələdir ki, borunun daxili səthi boyunca müəyyən edilmiş rejimdə sabit axan dəniz suyu istilik ötürülməsini, istilikkeçirmə qabiliyyətini və temperatur sahəsini bütün boru uzunluğu boyunca tənzimləyir, həmçinin İMA boru dəstində yerləşən borular arasındakı qızdırılmış və ya soyudulmuş mayelərlə tam istilik mübadiləsini təmin edir.

GİMA boru dəstinin istilik prosesinin konstruktiv və texnoloji parametrlərinin optimallaşdırılması zərurətinə uyğun olaraq, bu tədqiqatın əsas vəzifələri aşağıdakılardır:

1. GİMA boru dəstinin eninə arakəsməsinin konstruktiv parametrlərinin, həndəsi formasının və yerləşdirilməsinin optimallaşdırılması.

2. Boru dəstinin istilik mübadilə borularında korroziya, ərpin və istilik mübadiləsi proseslərinin optimallaşdırılması.

3. İç səthi silikat örtüklü və xarici səthi yivli borulardan ibarət olan boru dəstinin termiki dayanıqlığının və vibrasiyasının, həmçinin üçbucaq formalı eninə arakəsmələrin tədqiqi.

4. İç səthi silikat örtüklü və xarici səthi yivli borulardan ibarət boru dəstinin GİMA üçün tədqiqat nəticələrinin tətbiqi və onun iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi.

Bu vəzifələrin həlli üçün eksperimental stend və yüksək texnoloji standartlara uyğun olaraq xarici səthi yivli və daxili silikat örtüklü borulardan ibarət həndəsi üçbucaq formalı eninə arakəsmə konstruksiyası hazırlanmışdır.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində istilik mübadilə aparatlarının konstruktiv ölçülərinin və texnoloji parametrlərinin optimallaşdırılması üçün müasir metodlar tətbiq edilmişdir. Aparatın optimal həndəsi formalı üçbucaq arakəsmələrinin konstruksiyasının və yerləşdirilməsinin tədqiqi aparılmışdır.

GİMA-nın boru dəstinin istilik mübadilə texnoloji proseslərinin optimallaşdırılmasını tədqiqatı üçün eksperimental stend hazırlanmışdır. İstilik mübadilə aparatının boru dəstindəki boruların silikat örtüyünün vibrasiya, termiki və adheziya möhkəmliyi metodlarının tədqiqat nəticələri təqdim olunmuşdur.

Nəzəri və eksperimental nəticələrin doğruluğu laboratoriya şəraitində və istilik-elektrik stansiyaları (İES) ilə GİMA-ların istismar şəraitində təsdiq edilmişdir.

Aparılan tədqiqatların nəticələri gəmiqayıma, neft emalı və istilik-elektrik stansiyalarında istilik təminatı müəssisələrində tətbiq oluna bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- Segmentli və vintvari konstruksiyalı arakəsmələrə malik aparatların effektivliyinin müqayisəsi.

- Segmentli və üçbucaq arakəsməli yivli borulara malik konstruksiyalı aparatların effektivliyinin müqayisəsi.

- Vintvari və üçbucaq arakəsməli konstruksiyalı borulara malik aparatların effektivliyinin müqayisəsi.

- Xarici yivli boruların silikat örtüklərində korroziya proseslərinin optimallaşdırılması.

- Xarici yivli istilik mübadilə borularının daxili səthində ərpən əmələ gəlməsinin optimallaşdırılması.

- GİMA boru dəstində istilik mübadilə borularında istilik ötürülmə və istilikkeçirmənin optimallaşdırılması.

- Xarici yivli silikat örtüklü borular üçün istilik ötürmə əmsalının parametrlərinin optimallaşdırılması.

- Üçbucaq arakəsməli xarici yivli boru dəstinin vibrasiya xüsusiyyətlərinin tədqiqi.

- Xarici yivli və daxili silikat örtüklü boru dəstinin termiki və adheziya möhkəmliyi.

- Üçbucaq arakəsməli istilik mübadilə borularının gəmi energetik qurğularına tətbiqinin nəticələri.

- Xarici yivli və daxili silikat örtüklü istilik mübadilə borularının tətbiqinin ilkin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi.

Tədqiqat işinin elmi yeniliyi. GİMA-nın boru dəstinin eninə arakəsmələrinin konstruktiv parametrləri, hündəsi formaları və yerləşdirilməsi optimallaşdırılmışdır. GİMA-nın boru dəsti üçün üçbucaqlı eninə arakəsməli konstruksiya təklif edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, üçbucaqlı eninə arakəsmə segmentli və vintvari arakəsmələrlə müqayisədə daha effektiv istilik mübadiləsini

təmin edir və aparatda borulararası sahədə hidravlik itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

İstilik mübadilə borularının xarici səthində üç müxtəlif formalı yivlərin (düzbucaqlı, üçbucaq və trapezoidal simmetrik) açılması təklif olunmuşdur.

Müəyyən olunmuşdur ki, borunun xarici səthinin kontakt sahəsinin artırılması soyuducu mayenin daha geniş sahəni əhatə etməsini təmin edir, istilik ötürməni əhəmiyyətli dərəcədə artırır və maye ilə boru divarı arasında daha çox təmas sahəsi yaradır.

İMA-nın boru dəstinin texnoloji proseslərinin, istismar parametrlərinin optimallaşdırılması həyata keçirilmişdir.

Silikat örtüklü istilik mübadilə borularında korroziya və ərpin əmələ gəlmə proseslərinin optimallaşdırılması, həmçinin istilik ötürülməsi və istilikkeçirmənin yaxşılaşdırılması təmin olunmuşdur.

İMA-nın boru dəstinin konstruksiyasının optimallaşdırılmasının səmərəliliyi ilə bağlı göstəriciləri və tətbiq sahələri müəyyən edilmişdir.

Yivli silikat örtüklü boruların vibrasiya analizi və gərginlik vəziyyəti tədqiq olunmuş, iqtisadi hesablamalar aparılmış və üçbucaq arakəsməli, xarici yivli və daxili silikat örtüklü boru dəstinin tətbiq perspektivləri müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Hazırlanmış nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında xarici yivli və daxili silikat örtüklü borulara, həmçinin üçbucaq arakəsmələrə malik eksperimental qurğu hazırlanmışdır. Etibarlı nəticələr əldə etmək üçün sənaye səviyyəsində praktiki məsələlər müəyyən edilmişdir. Gəmi sənayesi üçün nəzərdə tutulmuş istilik mübadilə aparatı – xarici yivli və daxili silikat örtüklü borular və üçbucaq arakəsmələrə malik konstruksiyada təqdim olunmuş və bu texnologiyanın gəmiçilik sənayesində tətbiqinə uyğunluğu müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın aprobeşiyası və nəticələrin tətbiqi. Dissertasiya işində aparılan elmi tədqiqatlar və texniki həllər Azərbaycan Respublikasının Xəzər Dəniz Gəmiçiliyi üçün nəzərdə tutulan gəmi istilik mübadilə aparatlarında geniş tətbiq üçün tövsiyə olunur.

Dissertasiya işinin materialları aşağıdakı elmi tədbirlərdə təqdim edilmiş, müzakirə olunmuş və təsdiqlənmişdir:

- Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития морской отрасли», 3-5 Ноябрь, Херсон Украина, 2021 г.

- “Texnika və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri”, Beynəlxalq elmi-texniki konfrans. Bakı -ADDA, 17-18 Noyabr 2022-ci il.

-“Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri”, Beynəlxalq elmi-texniki konfrans., 17-18 noyabr 2022, Bakı, Azərbaycan.

- Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının «Tətbiqi mexanika» kafedrasının elmi seminarı, 12 may 2022-ci il

- II-International scientific and practical conference “Science in modern society” July 18-19, Beijing, China 2023.

-“Energetika ixtisaslarının respublika elmi konfransı”, 17-18 Noyabr.ADDA-Bakı-2023-cü il.

-“Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının elmi-seminarı. Bakı-Sentyabr-2023.

-“Проблемы энерго и ресурсосбережения” Международная конференция – Узбекистан- Ташкент. Март-2024г.

-“Doktorantların və gənc tədqiqatçıların” XXVII Respublika elmi konfransı (NASCO XXVII) 10-11 Dekabr, 2024..

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasında və Xəzər Dəniz Gəmiçiliyinin Zığ Gəmi Təmiri və Tikinti Zavodunda yerinə yetirilmişdir.

Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində istilik mübadilə aparatının boru dəstində eninə arakəsmələrinin konstruktiv parametrlərinin, hündəsi formasının və yerləşdirilməsinin optimallaşdırılması, həmçinin əldə olunmuş nəticələrin təhlili birbaşa müəllif tərəfindən həyata keçirilmişdir.

Bundan əlavə, eksperimental tədqiqatların aparılması, eksperimental nəticələrinin təhlili, iqtisadi səmərəliliyin hesablanması, elmi konfranslarda müzakirə və təqdimatlar, tədqiqat nəticələrinə əsasən el-

mi məqalələrin hazırlanması müəllif tərəfindən müstəqil şəkildə icra olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, nəticələr və tövsiyələrdən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından (115 mənbə) və əlavə materiallardan ibarətdir. Dissertasiyanın strukturu-titul səhifəsi (348 işarə), mündəricat (1897 işarə), giriş (13 107 işarə), I fəsil (36 083 işarə), II fəsil (43 140 işarə), III fəsil (46 083 işarə), IV fəsil (67 911 işarə), əsas nəticələr (3 596 işarə), istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı (18 294 işarə), əlavələr (15 200 işarə) təşkil edir. Ümumi mətn həcmi 200 406 işarədən ibarətdir (şəkillər, cədvəllər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı nəzərə alınmadan). Dissertasiya işi 187 səhifəlik kompüter mətnindən ibarətdir, 39 şəkil, 18 cədvəl və 16 qrafik özündə ehtiva edir.

Tədqiqat mövzusu üzrə nəşrlər:

Dissertasiya işinin əsas nəticələri müəllif tərəfindən əldə olunmuş və kifayət qədər geniş şəkildə 7 elmi məqalədə (2-si həmmüəllifsiz, 2-si beynəlxalq indeksli jurnallarda), 8-si beynəlxalq konfrans materiallarında (2-si xaricdə) dərc olunmuşdur. Bundan əlavə, Azərbaycan Respublikasının Əqli Mülkiyyət Agentliyi tərəfindən ixtiraya dair 1 patent verilmişdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə tədqiqat mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi, vəzifələri, obyekt, predmeti və metodları müəyyən edilmişdir. Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, işin elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və əldə olunmuş nəticələrin tətbiqi təqdim olunmuşdur. Həmçinin, tədqiqatın sınaqdan keçirilməsi, işin strukturu və həcmi, elmi məqalələr və konfrans materialları haqqında məlumatlar verilmişdir.

Birinci fəsildə gəmi istilik mübadilə aparatlarının istilik səmərəliliyinin optimallaşdırılması ilə bağlı ədəbiyyat icmalı aparılmışdır. İMA-ların istismar şəraiti və istilik proseslərinin boru dəstinin konstruktiv parametrlərindən asılılığı analiz edilmişdir. İMA-ların istilik effektivliyinin artırılması istiqamətində əldə olunmuş

nəticələr təqdim olunmuşdur. Boru dəstinin eninə arakəsmələrinin konstruksiyası və yerləşdirilməsinin istilik və hidravlik proseslərə təsiri araşdırılmışdır. Boru dəstinin istilik ötürmə səmərəliliyinə ən çox təsir edən amillər – eninə arakəsmənin konstruksiyası, həndəsi ölçüləri və yerləşdirilməsi müəyyən edilmişdir.

Gəmi istilik dəyişdiricilərinin istilik səmərəliliyi istiliyin bir mühtdən digərinə nə qədər səmərəli ötürüldüyünü təyin edən əsas göstəricisidir.

Müqayisə üçün istilik səmərəliliyindən istifadə etmək təklif olunur ki, bu da aşağıdakı kimi qiymətləndirilə bilər:

$$T\Theta = \frac{\delta t}{\Delta t} = f\left(\frac{KF}{\Theta_{\text{мин}}}, \frac{\Theta_{\text{мин}}}{\Theta_{\text{max}}}, \right) \quad (1)$$

Burada δt daha aşağı su ekvivalenti ilə soyuducu suyun temperaturunun dəyişməsidir, °C; K — istilik ötürmə əmsalı, $W/(m^2 \cdot K)$; F - istilik mübadiləsi səthinin sahəsi, m^2 ; Δt istilik dəyişdiricidəki temperatur fərqi. İstilik dəyişdiricilərini layihələndirərkən və istilik daşıyıcılarının müxtəlif axın sxemləri üçün $T\Theta_{\Delta t}$ -ni qiymətləndirmək üçün qrafiklərdən istifadə edərkən, xətalara yol verilir, hesablamalar yorucu və çətin olur, çünki hesablayıcı üçün bir çox ardıcıl yaxınlaşma yerinə yetirməlidir. [34]¹

Əksər hallarda ərp və korroziya məhsullarının yığılması istilik mübadilə avadanlığının borularının daxili səthində daha intensiv şəkildə baş verir. Bu proses, geniş temperatur, təzyiq və sürət diapazonunda işlədilən dəniz suyu ilə birbaşa təmasın nəticəsi olaraq meydana gəlir.

Eksperimental tədqiqatlar göstərmişdir ki, istilik ötürmə səthində gedən korroziya proseslərinin sürəti, əsasən istilik ötürmə şəraitindən asılıdır.

¹ Ладанов К. И. Обобщенные методы теплового расчета кожух-трубных теплообменников-рекуператоров/ К. И. Ладанов // Альтернативная энергетика и экология. — 2013. — № 15 (137). — С. 17–28.

Lakin istilik mübadilə aparatının konstruksiya materiallarının seçilməsi və onların istismar rejimlərinin optimallaşdırılması məsələlərini həll edərkən, boruların korroziya sürətini müvafiq istilik mübadiləsi şəraitində dəqiq bilmək vacibdir. Həmçinin, aparatın istismar rejimini əks etdirən amillərin təsiri altında bu göstəricinin dəyişmə tendensiyasını müəyyən etmək mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bəzi hallarda korroziya məhsullarının və ərp qatının qalınlığının artma sürəti ildə 1,0–3,0 mm-ə qədər çata bilər. Bu işə istilik ötürmə əmsalının kəskin azalmasına və borunun faydalı keçid sahəsinin daralmasına səbəb olur. Nəticədə dairəvi su axınının həcmi azalır və bu amillərin hər ikisi istilik mübadilə avadanlığının normal iş rejimini pozur. [20]², [36]³.

Arakəsmə, istilik mübadilə aparatının (İMA) əsas elementlərindən biri olaraq, borulararası sahədə mayenin axın parametrlərinə və istilik mübadiləsinin effektivliyinə mühüm təsir göstərir. Arakəsmənin konstruksiyasının və yerləşdirilməsinin optimallaşdırılması, axın rejiminin yaxşılaşdırılmasına, istilik ötürmə səmərəliliyinin artırılmasına və hidravlik itkilərin azaldılmasına kömək edə bilər.

Çarpaz axın, paralel axın və laminar rejimlə müqayisədə daha yüksək turbulentiyyə və daha effektiv istilik çıxarılmasına malikdir, hətta eyni istilikötürmə səthinə malik olduqda belə. Bununla belə, segment tipli eninə arakəsmələrə malik istilik mübadilə aparatları (İMA) hidravlik xüsusiyyətləri yaxşılaşdırmaq üçün müxtəlif təkmilləşdirmələrə baxmayaraq, bir sıra çatışmazlıqlara malikdir: borulararası fəzada durğun zonaların yaranması və bu zonaların çirklənməsi, boru dəstində maye axınından qaynaqlanan vibrasiya, hidravlik müqavimətin artmasına səbəb olan yüksək təzyiqli fərqi.

² Ибрагимов Н.Ю. Исследование накипи образования и коррозионно-механического изнашивания эмалированных покрытий труб тепло-энергетических установок //Промышленная энергетика, 2005, №12, с. 33-35.

³Макаров В. В. Анализ тепловой эффективности судовых теплообменных аппаратов / В. В. Макаров, А. Р. Алтаев // Энергомашиностроение. — 2006. — № 1. — С. 48–50.

Gəmi istilik mübadilə aparatlarının boru dəstinin texnoloji parametrlərinin dəyişdirilməsi zərurətinə uyğun olaraq, əsas tədqiqat konstruktiv parametrlərinin optimallaşdırılması, həndəsi forması və gəmi istilik dəyişdiricilərinin boru dəstinin eninə arakəsmələrinin yerləşməsidir [39]⁴.

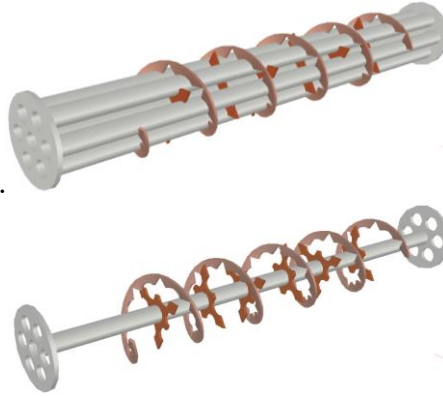
İkinci fəsildə aparatın boru dəstinin konstruktiv parametrlərinin optimallaşdırılması üzrə tədqiqat aparılmışdır. Aparatın boru dəstinin eninə arakəsməsinin müxtəlif konstruksiya növləri və xüsusiyyətləri təqdim olunur. Konstruktiv parametrlərinin optimallaşdırılması və müqayisəli xüsusiyyətləri, aparatın boru dəstinin eninə arakəsmələrinin həndəsi forması və yerləşdirilməsi ilə nəzərə alınır.

Segment tipli eninə arakəsmələrə malik istilik mübadilə aparatlarının (İMA) əsas çatışmazlıqları, boru səthində qeyri-effektiv istilik mübadiləsi, borulararası fəzada yüksək hidravlik itkilər, segment arakəsmələrin arxasında durğun zonaların yaranması, bu da yüksək özlülüyə malik soyuducu mayelər üçün zəif istilik mübadiləsinə səbəb olur, bu durğun zonalarda ərp və korroziya məhsullarının intensiv yığılması ilə müşahidə olunur.

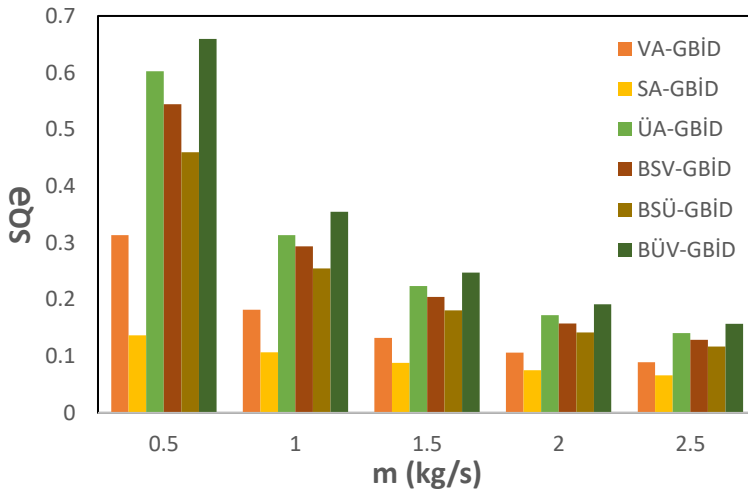
Bu problemləri həll etmək üçün Luch və Nemenski 1999-cu ildə segment arakəsmələrə alternativ olaraq vintvari axını təklif etmişlər. Lakin, bitişik arakəsmələr arasında yaranan axın sızması "qısaqapanma" effektinə və əks axına səbəb ola bilər. Bu isə borulararası fəzada istilik mübadiləsinin azalmasına ciddi təsir göstərir.

Bu çatışmazlıqlardan fərqli olaraq, bir yenilik olaraq, Şəkil 1-də göstərilmiş birləşdirilmiş üçbucaqlı-vintlilik arakəsməli gövdəborulu istilik dəyişdiricinin yeni konstruksiyası təklif edilir və səmərəliliyin qiymətləndirmə əmsalı (SQƏ) bütün digər arakəsmə növləri ilə müqayisə edilir (şəkil 2).

⁴ Светлов Ю.В. Интенсификация гидромеханических и тепловых процессов в аппаратах теплоснабжения / Ю.В. Светлов. – М.: Энерго атомиздат, 2003. – 304 с.

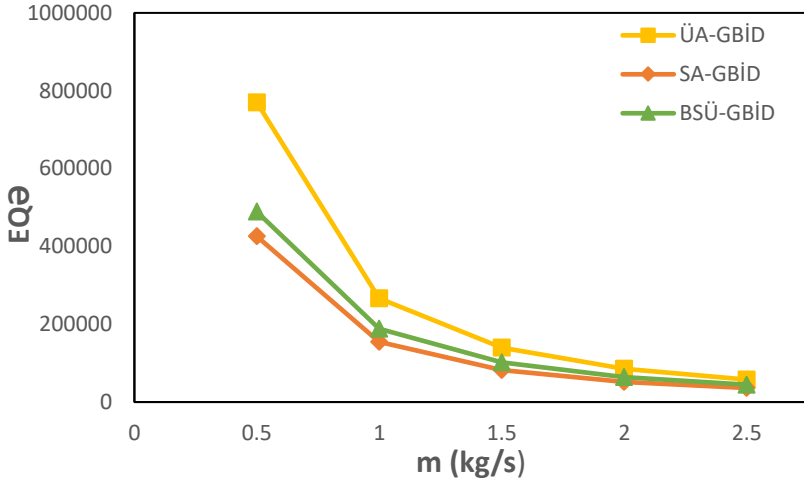


Şəkil 1. Birləşdirilmiş üçbucaqlı-vintlü arakəsməli gövdəborulu istilik dəyişdiricinin boru dəsti (BÜVA-GBİD)



Şəkil 2. Müxtəlif növ GBİD üçün kütləvi axın və SQƏ dəyərləri

Şəkil 3-də Effektivliyin qiymətləndirilmə əmsalının (EQƏ) üç müxtəlif növ gövdəborulu istilikdəyişdirici arakəsməli aparatların konstruksiyaları (GBİD) üçün kütlə sərfindən m -dən asılılığı verilir: ÜA-GBİD, SA-GBİD və BSÜ-GBİD.



Şəkil 3. Effektivliyin qiymətləndirmə əmsalınının (EQƏ) kütlə sərfindən m-dən müxtəlif konstruksiyalı GBİD üçün müqayisəsi SA-GBİD, ÜA-GBİD və BSÜ-GBİD

Kiçik kütlə sərflərində ($m = 0,5$ kq/s) ən aşağı effektivlik göstəricisini (EQƏ) SA-GBİD nümayiş etdirir. BSÜ-GBİD, SA-GBİD-dən 20–25% daha yüksək EQƏ dəyərində malikdir. ÜA-GBİD isə maksimum effektivlik göstərərək, SA-GBİD-dən 40–50% daha üstün nəticə verir.

Effektivliyin qiymətləndirmə əmsalı (EQƏ) aşağıda kimi hesablanır [71]⁵.

$$EQƏ = \frac{Q_1/Q_0}{P_1/P_0} \quad (2)$$

Burada P və Q müvafiq olaraq tədqiq olunan aparatda nasosun gücü və istilik yükünün dəyərləridir; 1 və 0 indeksləri yeni modeli (ÜA-GBİD) və əsas modeli (SA-GBİD) təmsil edir.

⁵.Dong QW, Wang YQ, Liu MS (2008) Numerical and experimental investigation of shell-side characteristics for ROD baffle heat exchanger. Appl Therm Eng 28(7):651–66

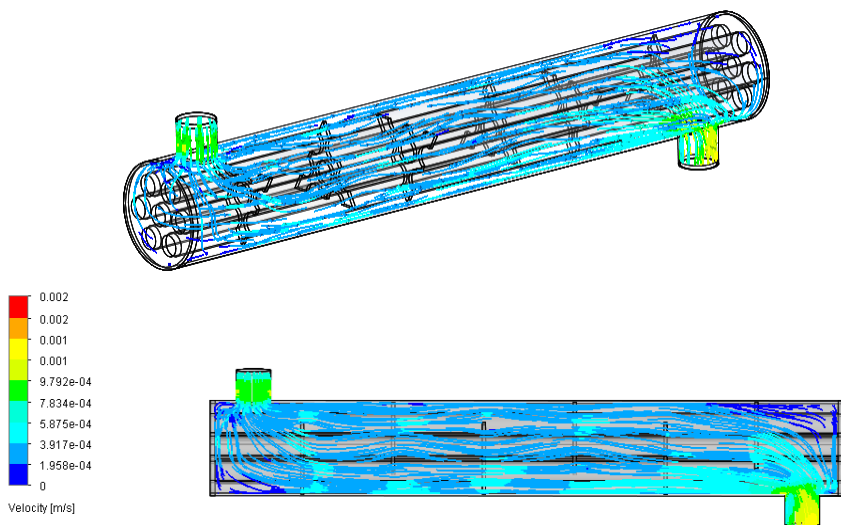
Təklif olunan üçbucaq konstruksiyalı, arakəsmə soyutma (istilik) temperaturunun bərabər paylanması və hidravlik itkilərin azaldılmasını və istilik dəyişdiricinin boru dəstinin səthinin minimum dəyərini təmin etməsi ilə fərqlənir. Borulararası fəzada arakəsmənin üçbucaqlı konstruksiyası boru dəstinin səhində istilik prosesinin səmərəliliyinin artırılmasına, həmçinin dəniz suyunun istismarı şəraitində gəmi istilik dəyişdiricilərinin texniki və iqtisadi səmərəliliyinin artırılmasına imkan verir.

Şəkil 4-də üçbucaq arakəsməli (ÜA-GBİD) istilik mübadilə aparatında axın xətləri göstərilmişdir. Təqdim olunan yeni tipli gövdəborulu istilik mübadilə aparatı üçbucaq arakəsmələrlə təchiz edilmişdir, bu arakəsmələr istilikdaşıyıcının axın istiqamətini dəyişdirmək funksiyasını yerinə yetirir. Bu konstruksiya mayenin axın istiqamətini dəfələrlə dəyişdirərək turbulentiyyəni artmasına və işçi mühitlər arasında istilik mübadiləsinin yaxşılaşmasına səbəb olur.

Maye axını aparata yuxarı hissədə yerləşən giriş ştuseri vasitəsilə daxil olur və burada ilkin paylanma baş verir. Bu zonada yüksək sürətli sahələr (yaşıl rəng) müşahidə olunur, bu da axının ilk arakəsmədən keçməzdən əvvəl sıxlaşdığını göstərir. Aparatın daxilində maye bir neçə arakəsmədən keçir, bu isə axının növbəli şəkildə sürətlənmə və yavaşımaya zonalarına daxil olmasına səbəb olur. Sürətlənmə sahələri (yaşıl və sarı rənglər) arakəsmələr arasındakı daralma zonalarında müşahidə olunur, burada maye istiqamətini dəyişməyə məcbur olur. Yavaşımaya zonaları (mavi rəng) isə daha açıq sahələrdə formalaşır, burada axın daha az intensivliklə hərəkət edir.

Maye aparatın alt hissəsində yerləşən çıxış ştuseri vasitəsilə tərk edilir. Bu hissədə axın sürətləri yenidən paylanır və sistemdən çıxılmazdan əvvəl daha vahid hala gəlir.

Şəkiləki rəng şkalası axın sürətinin (m/s) paylanmasını göstərir. Maksimum sürətlər ($\sim 0,002$ m/s, qırmızı və sarı rənglər) – arakəsmələr arasındakı dar kanallarda müşahidə olunur, burada lokal axın sürətlənməsi baş verir. Orta sürətlər ($\sim 0,001$ m/s, yaşıl və mavi rənglər) – axının aktiv hərəkət etdiyi zonalarda qeydə alınır. Minimum sürətlər ($\sim 0-0,0002$ m/s, tünd mavi sahələr) – durğun axın zonalarında müşahidə edilir, burada maye hərəkətinin intensivliyi xeyli azalır.



Şəkil 4. Üçbucaqlı arakəsməli gövdəborulu istilik dəyişdiricidə axın traektoriyaları (ÜA-GBİD).

Üçbucaq arakəsmələrin istifadəsi axını effektiv şəkildə gövdəborulu istilik mübadilə aparatının gövdə hissəsi boyunca paylayır, turbulentiyyə artırır və durğun zonaların yaranma ehtimalını azaldır.

Giriş və çıxış bölgələrində axın sürətlərinin əhəmiyyətli dərəcədə yenidən paylanması müşahidə olunur. Bu amil hidrodinamik itkilərin minimallaşdırılması üçün istilik mübadilə aparatının konstruksiya layihələndirilməsində nəzərə alınmalıdır.

Aşağı sürətli zonalar (mavi sahələr) ərp yığılma ehtimalı və istilik mübadiləsinin zəifləməsi ilə əlaqəli ola bilər, buna görə də konstruksiyanın optimallaşdırılması üçün əlavə analiz tələb olunur.

Modelin nəticələri göstərir ki, üçbucaq arakəsmələrin istifadəsi axının turbulentiyyətini artırır və istilik mübadiləsinin effektivliyini yüksəldir.

Arakəsmələrin optimallaşdırılması axın sürətlərinin daha bərabər paylanmasını təmin edərək hidrodinamik itkiləri minimuma endirir.

Üç istiqamətdə alınan nəticələr göstərir ki, axın boruların səthləri boyunca bərabər şəkildə yayılır, bu da yeni təklif olunan konstruksiyada istilik mübadiləsinin yaxşılaşmasını təmin edir.

İMA-da borulararası fəzada temperatur paylanması bir sıra amillərdən asılıdır: aparatın konstruksiyası, iş rejimi, istilikdaşıyıcıların xüsusiyyətləri və sərfi.

Borulararası fəzada temperatur istilik mübadilə aparatının uzunluğu boyunca dəyişir.

Əgər istilikdaşıyıcı qızdırılırsa, temperatur girişdən çıxışa doğru artacaq.

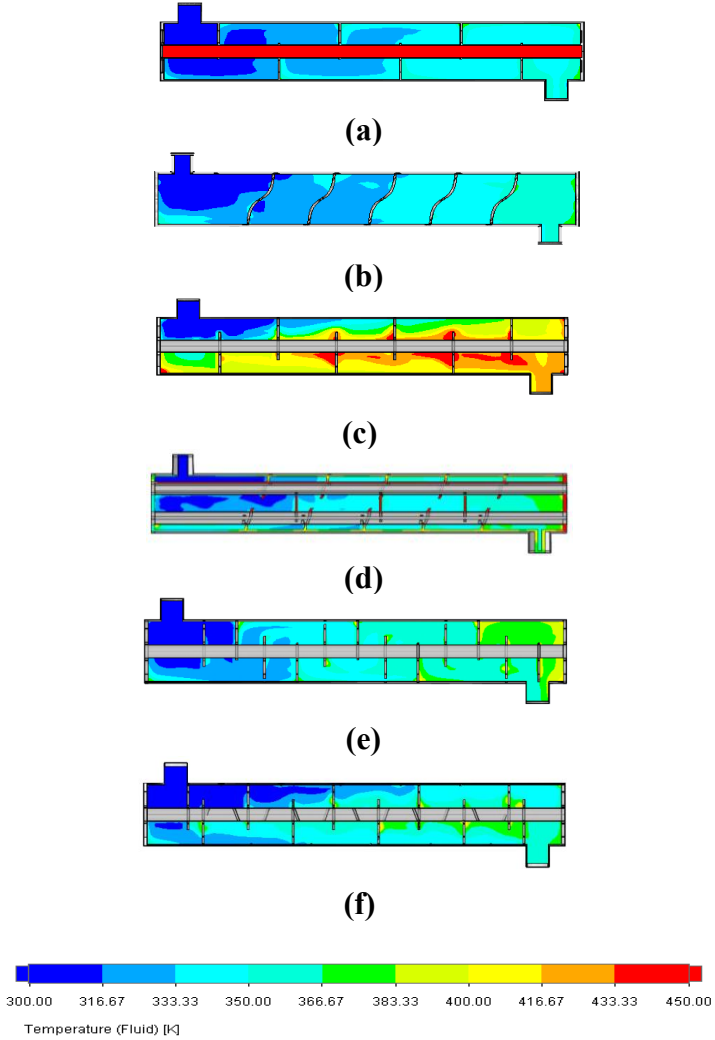
Əgər istilikdaşıyıcı maye soyudulursa, temperatur girişdən çıxışa doğru azalacaq.

Temperatur paylanması həmçinin axının sürətindən, istilik tutumundan və istilikkeçirmədən asılıdır. Aparılmış simulyasiya nəticələrinə əsasən, müxtəlif İMA konstruksiyalarının temperatur və istilik mübadiləsi baxımından effektivliyini ətraflı müqayisə etmək mümkündür. Bunun üçün hər bir konstruksiya ayrıca nəzərdən keçirilməli və müqayisə edilməlidir.

Şəkil 5-də fərqli arakəsmə növlərinə malik İMA-lar üçün temperatur paylanması göstərilmişdir. Temperatur diapazonu 300,00 K-dən 450,00 K-ə qədərdir. Segment kəsikli arakəsmələr (SA-GBİD) (Şəkil 5a) axının yaxşı paylanması və bərabər istilik mübadiləsini təmin edir. Lakin, bu konstruksiya bəzi zonalarda turbulentiyn azalmasına səbəb ola bilər ki, bu da istilik mübadiləsinin effektivliyini azalda bilər.

Ən yüksək istilik mübadiləsi effektivliyi hibrid arakəsmələrdə müşahidə edilir. Birləşdirilmiş üçbucaq-vintvari arakəsmə (BÜVA-GBİD) (Şəkil 5f), birləşdirilmiş segment-vintvari arakəsmə (BSVA-GBİD) (Şəkil 5d). Bu konstruksiyalar temperaturun bərabər paylanmasını və axının intensiv hərəkətini təmin edir, bu da turbulentiyn artmasına və istilik mübadiləsinin yaxşılaşmasına səbəb olur.

Vintvari kəsikli arakəsmələr (VA-GBİD) (Şəkil 5b) yüksək istilik mübadiləsi effektivliyi nümayiş etdirir, lakin yüksək hidravlik itkilərə səbəb olur.



Şəkil 5. Müxtəlif növ GBİD üçün gövdə daxilində temperaturun paylanması;

a) seqmentli arakəsmə (SA-GBİD); b) vintvari arakəsmə (VA-GBİD); c) üçbucaqlı arakəsmə (ÜA-GBİD); d) birləşdirilmiş üçbucaqlı-vintvari arakəsmə (BÜVA-GBİD); e) birləşdirilmiş seqmentli-üçbucaqlı arakəsmə (BSÜA-GBİD); f) birləşdirilmiş üçbucaqlı-vintvari arakəsmə (BÜVA-GBİD)

Segment və üçbucaq kəsikli arakəsmələr (ÜA-GBİD) temperaturun bərabər paylanmasını təmin edir, lakin turbuləntlik yaratmaq baxımından daha zəif nəticə göstərir.

Maksimal istilik mübadiləsi üçün ən yaxşı seçim birləşdirilmiş arakəsmələrdir, birləşdirilmiş üçbucaq-vintvari (BÜV-GBİD), birləşdirilmiş segmentli-vintvari (BSV-GBİD).

Əgər konstruksiyanın sadəliyi və minimal hidravlik itkiləri prioritetdirsə, onda segment və üçbucaq kəsikli arakəsmələr daha uyğun seçim sayıla bilər.

Gələcək tədqiqatlar hidravlik itkiləri azaltmaq və konstruksiyayı sadələşdirmək üçün hibrid arakəsmələrin optimallaşdırılmasına yönəldilə bilər.

Üçüncü fəsildə İMA-nın boru dəstinin texnoloji proseslərinin istismar parametrlərinin optimallaşdırılması təqdim olunmuşdur.

Metal istilik mübadilə borularının korroziya və ərpən əmələ gəlməsindən qorunması ciddi elmi-texniki problemlərdən biri kimi hesab edilir. MHЖ-5-1 ərintisindən hazırlanan istilik mübadilə borularının Xəzər dənizinin dəniz suyu ilə soyudulması zamanı istismar müddəti 2–3 il təşkil edə bilər, bu müddət ərzində boruların 30–50%-i sıradan çıxır. Bu problemi həll etmək üçün ən effektiv üsullardan biri silikat örtüklərdir. Silikat örtük metal üzərində möhkəm yapışmış qeyri-üzvi şüşəvari örtükdür. Yüksək eroziyaya qarşı dayanıqlılığa və korroziyaya qarşı müqavimətə malikdir. İstilik mübadilə borularının hidravlik xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır, istilik mübadiləsini artırır və hidravlik müqaviməti azaldır.

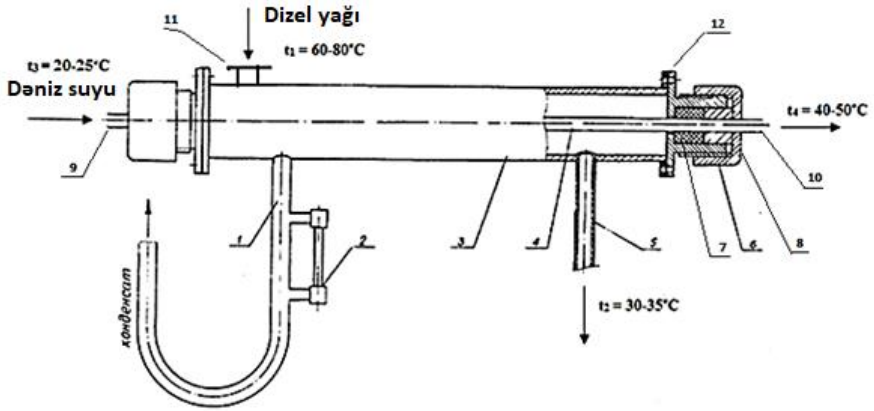
Kiçik diametrlili istilik mübadilə borularının daxili səthində ərplərin qarşısını almağa kömək edir.

Silikat örtüklərinin və metal istilik mübadilə borularının daxili səthlərində korroziya prosesləri, ərpən əmələ gəlməsi və istilik proseslərinin tədqiqi üçün eksperimental stend hazırlanmışdır. Şəkil 6-da təsvir olunan eksperimental stend aşağıdakı elementlərdən ibarətdir: 1-kondensasiya borusu, 2-ölçü şüşəsi, 3-istilik mübadilə aparatının gövdəsi, 4-silikat örtüklü yivli istilik mübadilə borusu, 5-dizel yağının çıxışı üçün boru, 6-salnik birləşməsi, 7-rezin və plastik kipləşdiricilər, 8-dairəvi qayqa, 9-dəniz suyunun çıxış borusu, 10-

dəniz suyunun giriş borusu, 11-dizel yağının giriş ştuseri, 12-boru lövhələrinin bərkidilməsi.

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, istilik mübadilə borularında xloridlər və natrium sulfatlar daha çox rast gəlinən birləşmələrdir. Bu maddələr, qoruyucu örtüklərin davamlılığını azaldır və boruların korroziya sürətini artırır.

Tədqiqat 2-10 pH dəyərlərində aparılıb və mühitin hərəkət sürəti $v=0,2-1,2$ m/s və ya istilik energetik stansiyası və gəmi energetik qurğuları sistemində baş verən sürətlər kimi qəbul edilib.



Şəkil 6. İstilik mübadilə borusunda korroziya və istilik proseslərini öyrənmək üçün eksperimental stand

Eksperimental tədqiqatların aparılması üçün istilik energetik stansiyalarında və gəmi energetik qurğularında istifadə olunan silikat örtüklərinin aşağıdakı markaları seçilmişdir: СЭП- 13В, СЭП- АБ-1, СЭП- 52-1, СЭП С-89. Silikat örtüyündə ərpən və korroziya məhsullarının əmələ gəlmə sürətini təyin etmək üçün məlum həcm və çəki üsullarından istifadə edirik. Hesablama aşağıdakı düsturla aparılır:

$$S_i = \frac{V_{2i} - V_{1i}}{L_i} \quad (3)$$

Burada V_{2i} и V_{1i} - sınaqdan əvvəl və sonra boruların daxili həcmələri; L_i -boru hissəsinin uzunluğu; $i=1,2$ -indeksləri, isə şüşələnmiş və metal boru nümunələrinə aid edilir.

$$K = (m_2 - m_1)/F \cdot \tau, \quad (g/m^2 \text{ saat}) \quad (4)$$

Burada m_1, m_2 (g)– müvafiq olaraq, uzunmüddətli sınaqdan əvvəl və sonra boruların silikat örtüklərinin kütləsi; $F - (m^2)$ boru silikat örtüyünün daxili səthi; τ – sınağın müddəti (5–45 sutka).

Tədqiqat üçün istilik mübadilə borularının uzunluğu $L= 1,0-1,5$ m, diametri 22 mm və divarının qalınlığı 2,0 mm, diametri 25 mm və divarının qalınlığı 2,5 mm, diametri 32 mm və divarının qalınlığı 4,0 mm, diametri 57 mm və divarının qalınlığı 3,5 mm götürülmüşdür. Dəniz suyunun axın sürəti eksperiment zamanı $V = 0,2-2,0$ m/s, suyun temperatur fərqi (ΔT) $\sim 15-35^\circ C$. Şəkil 7 və 8-də korroziya proseslərinin və ərpən əmələ gəlməsinin, dəniz suyunun axın sürətindən asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir.

Eksperimental tədqiqatlar göstərdi ki, istilik dəyişdiricinin uzunmüddətli istismarı zamanı boruların silikat örtüklərinin səthində kiçik miqyaslı, qalınlığı (0,14–0,42 mm) ərplər müşahidə olunur. Adi metal boruların səthində isə qalınlığı 1,24–1,98 mm olan sərt ərp təbəqəsi yaranır. Silikat örtüklü boruların səthində ərpən yığılmasının əsas səbəbləri, səthin yüksək hamarlığı və çirklənməyə qarşı müqaviməti, dəniz suyunda həll olunmuş aqressiv maddələrin təsirinə qarşı yüksək dayanıqlılığıdır.

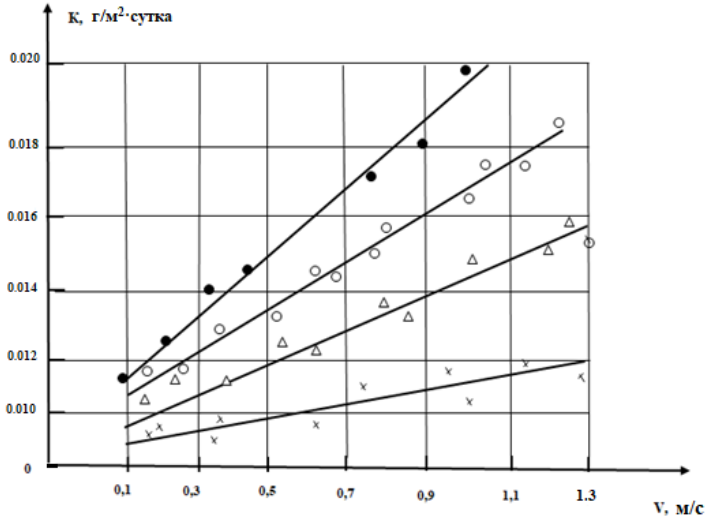
Yaranan ərp o qədər azdır ki, dəniz suyunun axını ilə yuyulur.

İstilik mübadilə aparatının boru dəstinin xarici səthinin sahəsini artırmaq üçün bütün boru sahəsi üzrə müxtəlif formalı, üçbucaqlı, düzbucaqlı və trapezoidal simmetrik profilli yivlər açılmışdır.

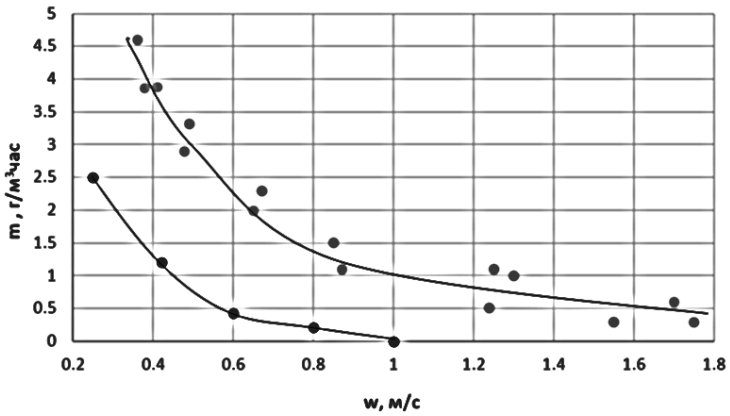
Bu profilli yivləri istilik mübadilə səthini artıraraq, istilik ötürmənin səmərəliliyini yüksəltmək məqsədilə tətbiq edilmişdir.

Üçbucaqlı yivli borunun xarici səthinin sahəsi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$F_{\text{max}} = 2\pi d_2 \frac{d_2 - d_1}{\cos \beta} n \quad (5)$$



Şəkil 7. Silikat boru örtüklərinin korroziya dərəcəsinin dəniz suyunun sürətindən asılılığının təyin edilməsi:
 × – СЭП-13В; ○ – СЭП- С89; Δ – СЭП-С-52-1; ● – СЭП -АБ-1



Şəkil 8. Dəniz suyunun sürətindən asılı olaraq ərpın əmələ gəlməsi;

1- mis borularda ərp, 2-silikat örtüklü borularda

Burada β - yivın meyl bucağıdır, yəni. yivın orta diametrinin bir nöqtəsində yiv xəttinə toxunan və boru yivinin oxuna perpendikulyar olan müstəvidə yaranan bucaq, d_2 – boru yivinin xarici diametri, d_1 - isə boru yivinin daxili diametridir. Eynilə, düzbucaqlı və trapezoidal yivli istilik mübadilə borularının optimal səthlərini müəyyən etmək mümkündür. Yivsiz və yivli istilik mübadilə səthindəki fərqlin nisbəti aşağıdakı kimi hesablanır.

Üçbucaq profilli yivlər 1,5 dəfə, düzbucaqlı profilli yivlər 2,0 dəfə, trapezoidal profilli yivlər isə 2,75 dəfə hamar borularla müqayisədə daha böyük səth sahəsinə malikdirlər.

Bu nəticələr onu göstərir ki, trapezoidal profilli yivlər istilik mübadiləsi səthini ən çox artırır və istilik ötürmə effektivliyini maksimuma çatdırır.

İstilik ötürmənin optimallaşdırılması tədqiqatı istilik mübadilə aparatının silikat və metal borularının istilik ötürmə əmsallarının müəyyən edilməsi ilə əlaqəlidir [76]⁶.

Metal borular üçün:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{d_H \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_H}{d} + \frac{1}{d \alpha_2}} \quad (6)$$

Silikat örtüklü borular üçün:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{d_H \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_H}{d} + \frac{1}{2\lambda_C} \ln \frac{d}{d_B} + \frac{1}{d_B \alpha_3}} \quad (7)$$

Burada $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - müvafiq olaraq soyuducudan metal boruların xarici səthinə və boru metalının daxili səthindən şüşə örtüyünün xarici səthinə, həmçinin şüşə örtüyünün daxili səthindən şüşə ilə örtülmüş istilik mübadilə borularının dəniz suyuna qədər istilik ötürmə əmsalları; d_B, d_H, d - müvafiq olaraq şüşə örtüyünün daxili

⁶ E.N. Ibrahimli. Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy 2023, vol. 15, no. 4, pp. 21-25.

diametri, metal borunun xarici və daxili diametrləri; λ_M , λ_C - metal və şüşə boru örtüklərinin istilik keçiricilik əmsalları.

İstilik ötürmə əmsalının parametrlərinin optimallaşdırılması üçün silikat örtüklü istilik mübadilə borusu üçün xətti istilik ötürmə əmsalı ifadəsindən istifadə edərək, onu (d_B) və (d_H) üzrə ayrıca diferensiallaşdırırıq və ekstremumu tapmaq üçün sifirə bərabərləşdiririk.

İfadə (7)-ni silikat örtüyünün daxili diametri üzrə differensiallaşdıraraq əldə edirik [79]⁷:

$$\frac{dK_2}{dd_B} = \frac{1}{\frac{1}{d_H\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_H}{d} + \frac{1}{2\lambda_C} \ln \frac{d}{d_B} + \frac{1}{d_B\alpha_3}} = 0 \quad (8)$$

$$\text{Alırıq:} \quad \frac{\frac{1}{2\lambda_C d_B} - \frac{1}{d_B^2 \alpha_3}}{\frac{1}{d_H\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_H}{d} + \frac{1}{2\lambda_C} \ln \frac{d}{d_B} + \frac{1}{d_B\alpha_3}} = 0 \quad (9)$$

$$\text{Buradan:} \quad \frac{1}{2\lambda_C d_B} - \frac{1}{d_B^2 \alpha_3} = 0 \quad (10)$$

(10)-cu tənliyin həlli boru örtüyünün daxili səthinin istilik ötürülməsinin maksimum dəyərini aşağıdakı formada verir:

$$\alpha_3^{max} = \frac{\lambda_C^{max}}{d_B^{opt}} \quad (11)$$

Burada - λ_C^{max} borunun istilik keçiricilik əmsalının maksimum dəyəri, d_B^{opt} - boru örtüyünün daxili diametrinin optimal dəyəri. Həmçinin, (8) ifadəsini metal borunun xarici diametrinə görə differensiallaşdırdıqda, alırıq [34]⁸:

⁷ Ibragimov N.Yu. Heat Resistance and Strength of the Silicate Coating of Pipe // Chemical and Petroleum Engineering, vol.52, Nas.1-2 may, 2016 P.126-129.

⁸Луданов К. И. Обобщенные методы теплового расчета кожухотрубных теплообменников-рекуператоров / К. И. Луданов // Альтернативная энергетика и экология. — 2013. — № 6-с.13-16

$$\frac{\frac{1}{2\lambda_M d_H} - \frac{1}{d_H^2 \alpha_3}}{\frac{1}{d_H \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_H + \frac{1}{d}}{d} + \frac{1}{2\lambda_C} \ln \frac{d}{d_B} + \frac{1}{d_B \alpha_3}} = 0 \quad (12)$$

Buradan nəhayət aşağıdakı tənlik alınır:

$$\alpha_1^{max} = \frac{\lambda_M^{max}}{d_H^{opt}} \quad (13)$$

(13) tənliyinin həll etməklə metal borunun xarici səthinin istilik ötürülməsinin maksimum dəyərini müəyyən etmək olar.

Burada - λ_M^{max} borunun istilik keçirmə əmsalının maksimum dəyəri, d_H^{opt} - metal borunun xarici diametrinin optimal dəyəri.

Təcrübələrin hamar səthi ilə əlaqədar olaraq hamar silikat boru örtüklərinin daxili səthlərində duzların çökməsi zamanı istismar amillərinin istilik ötürmə əmsalına təsiri tədqiq edilmişdir.

Cədvəl 1-də silikat örtüklərinin və metal istilik mübadilə borularının istilik ötürülməsinin öyrənilməsinin nəticələri göstərilmişdir. Dəniz suyunun axın sürəti nə qədər çox olarsa, özlü-elastic dəniz suyunun kəsici qüvvəsi nəticəsində ərplərin vaxtaşırı çıxarılma ehtimalı bir o qədər yüksəkdir.

Cədvəl 1

Silikat örtüklərdə və ölçüləri Ø22x2,0 mm olan metal borularda istilik ötürmə əmsalı, sənaye örtük markası CƏII-C-89

Temperatur °C	Hərəkət sürəti, m/s		İstilikötürmə əmsalı	
	Soyuducu su	Soyuducu Yağ	Borunun örtüyü, Vt/m ² ·°C	Metal boru, Vt/m ² ·°C
12	0,40	0,05	1210	1260
14	0,45	0,10	1321	1365
17	0,50	0,15	1380	1420
19	0,55	0,20	1456	1470
21	0,60	0,25	1484	1520
23	0,65	0,30	1491	1530

Nəticədə, boruların titrəmə amplitudası artır. Cədvəl 2-də istilik mübadilə aparatının boru dəstinin vibrasiya parametrləri göstərilmişdir.

Cədvəl 2

**Borunun vibrasiya parametrlərinin eninə arakəsmələrin
konstruksiyasından asılılığı**

Arakəsmənin növü	İstilikdaşıyıcının sərfi, kg/s	Sərbəst rəqslər tezliyi, Hz	Rəqs amplitudu A, mm · 10 ⁻³
Segmentli	15,28	4,9	2,7
Vintvari	26,42	6,2	2,1
Üçbucaqlı	46,18	1,6	1,2

Dördüncü fəsildə istilik mübadilə aparatının boru dəstində üçbucaq arakəsmələrə malik xarici yivli və daxili silikat örtüklü istilik mübadilə borularının tətbiqinin effektivliyinin optimallaşdırılması nəzərdən keçirilmişdir. Xarici yivli və daxili silikat örtüklü istilik mübadilə borularına malik segmentli, vintvari və üçbucaq arakəsməli boru dəstinin vibrasiya prosesi üzrə tədqiqat nəticələri təqdim olunmuşdur. Boruların vibrasiyasına təsir edən əsas amil, borulararası fəzadan keçən maye axınının sərfidir. Konstruksiya dəyişmədiyi halda, maye sərfinin artması axın sürətinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Vibrasiya parametrləri göstərir ki, istilik mübadilə aparatının boru dəstində istilikdaşıyıcının yüksək sürətli axını səbəbindən vibrasiyalar yarana bilər.

Güclü vibrasiya yükləri boru dəstində boruların zədələnməsinə və ya sıradan çıxmasına, nəticədə isə istilik mübadilə aparatının dağılmasına səbəb ola bilər. Bu səbəbdən istilik mübadilə boru dəstinin vibrasiya dayanıqlığı, istilik mübadilə aparatının ümumi etibarlılığını mü-

əyyən edən vacib amillərdən biridir [15⁹].

Reallıqda istilik mübadilə aparatının boru dəsti – istilikdaşıyıcının daxili və xarici axınları ilə qarşılıqlı təsir edən, çoxpilləli elastik borular sistemidir. Boru dəstində borular əsasən oxşar struktura malikdir və müxtəlif istiqamətlərdə axınla əhatə olunur. Çox hallarda boru dəstinin hərəkəti Bernulli-Eyler çubuq modeli çərçivəsində təsvir edilə bilər, daxili axın isə əlavə paylanmış kütlə kimi nəzərə alınır. Hər bir boru dəstində həm uzununa, həm də eninə axın mövcuddur, lakin onlardan biri üstünlük təşkil edir.

Xarici yivli və daxili silikat örtüklü boruların istilik yorğunluğu və termiki gərginlik vəziyyəti araşdırılmışdır. Silikat örtüklərin daxili səthində çatların yaranması, asimmetriya əmsalı, ölçü faktoru və örtükdəki gərginliklərdən asılı olaraq qiymətləndirilmişdir. Radial, ox istiqamətli və tangensial təsirlərin, həmçinin kəsilmə gərginliyinin boru örtüyünün termiki dayanıqlığına təsiri təhlil edilmişdir. İstilik ötürmə əmsalının zamanla dəyişməsi silikat örtüklü, mis və tunc ərintili borularda tədqiq edilmişdir. Silikat örtüklü boruların texniki parametrləri və istilik mübadilə xüsusiyyətləri sənaye standartlarına uyğundur.

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, silikat örtüklü boruların istilik mübadilə aparatlarında uzunmüddətli istismarı daha stabil istilik ötürmə rejimini təmin edir. Silikat örtüklü borularda istilik ötürmə əmsalı zaman keçdikcə demək olar ki, dəyişmir. Üçbucaq kəsikli arakəsmələr və xarici yivli səthlərə malik silikat örtüklü istilik mübadilə borularının istifadəsi istilik mübadiləsinin effektivliyini artırır.

Bundan əlavə, dəniz suyu silikat örtüklü borularda axdıqda, onların hamar səthi boyunca sürüşmə baş verir. Nəticədə, borunun daxili uzunluğu boyunca sürtünmə müqaviməti bir qədər azalır.

Silikat boru örtüklərinin xarici yivli səthləri olan, üçbucaqlı arakəsmələrdən hazırlanmış dəniz istilik mübadilə aparatının tətbiqinin iqtisadi səmərəliliyi aşağıdakı düsturla təyin olunur:

⁹ ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Общие требования. – Введ. 1999-07-01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 13 с.

$$E = R_T + Z_t = 2046,8 + 10266 = 12312,8 \text{ manat} \quad (14)$$

Burada R_T və Z_t – müvafiq olaraq istilik mübadilə aparatının tətbiqindən əldə olunan gəlir və gəmi energetik qurğusunun (GEQ) istismar dövründə istilik mübadilə aparatının xidməti xərcləridir. Üçbucaq arakəsməli xarici yivli və daxili silikat örtüklü boruların istilik mübadilə aparatlarında tətbiq perspektivləri göstərir ki, silikat örtüklü borular kimya, neft və qaz sənayesində bahalı xüsusi polad boru kommunikasiya sistemlərinin əvəzedicisi kimi istifadə edilə bilər.

ÜMUMİ NƏTİCƏLƏR

Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş məqsədlərə nail olunması və tapşırıqların həlli nəticəsində aşağıdakı praktiki və elmi nəticələr əldə edilmişdir:

1. Mövcud materialların təhlili göstərmişdir ki, gəmi istilik mübadilə aparatlarının borulararası sahəsində gedən istilik mübadilə və hidrodinamik proseslərin tədqiqi, həmçinin arakəsmələrin yerləşdirilmə konstruksiyasının və onların həndəsi parametrlərinin istilik ötürmə əmsalına və hidravlik müqavimətə təsiri yetərincə araşdırılmışdır.

2. İstilik mübadilə aparatının istilik proseslərinə arakəsmə konstruksiyalarının və həndəsi parametrlərinin təsiri təhlil edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, arakəsmələrin həndəsi forması, ölçüləri və yerləşdirilməsi istilik mübadilə aparatının boru dəstində istilik mübadiləsi prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

3. İstilik mübadilə borularının xarici səthindən istilik ötürməni artırmaq üçün üç fərqli profilli yivli boru (düzbucaqlı, üçbucaq və trapezoidal simmetrik) təklif edilmişdir. Xarici səthdə yivlərin açılması kontakt səthinin artmasına səbəb olur. Bu da istilikdaşıyıcı mayenin daha böyük sahəni əhatə etməsinə, istilik ötürmənin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına və boru divarı ilə maye arasında daha geniş təmasın təmin olunmasına imkan yaradır.

4. Yüksək texnoloji tələblərə cavab verən üçbucaq kəsikli arakəsmə hazırlanmışdır. Bu konstruksiya istilik mübadilə aparatının istilik

proseslərinin və arakəsmə quruluşunun keyfiyyətini tam təmin edir. Üçbucaq kəsikli arakəsmə konstruksiya baxımından tövsiyə edilir və istilik mübadilə aparatlarının səmərəliliyini artırmaq məqsədilə istənilən istilik təminatı obyektlərində geniş tətbiq oluna bilər.

5. Silikat örtüklü və metal istilik mübadilə borularının daxili səthlərində korroziya proseslərinin və ərpin əmələ gəlməsinin tədqiqi üçün eksperimental stend hazırlanmışdır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, dəniz suyunda axın sürətindən asılı olaraq bütün örtüklər üçün korroziya sürəti artır, lakin bu dəyər $0,020 \text{ g/m}^2\cdot\text{sut}$ -dan çox olmur.

6. Eksperimental tədqiqatlar göstərmişdir ki, istilik mübadilə aparatının uzunmüddətli istismarı zamanı silikat örtüklü boruların səthində ərpin əmələ gəlməsi çox azdır $0,14\text{--}0,42 \text{ mm}$, halbuki metal boruların səthində $1,24\text{--}1,98 \text{ mm}$ qalınlığında möhkəm ərp qatı formalaşır.

7. Müxtəlif silikat örtüklərin istilikkeçirmə əmsalının metal boruların divar temperaturunun artmasından asılılığı üzrə eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur 600°C -yə qədər yüksəldikdə istilikkeçirmə əmsalı onda bir hissələrdə artır və $1,32\text{--}1,42 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ diapazonunda dəyişir.

8. Silikat örtüklü istilik mübadilə boruları üçün istilik ötürmə əmsalının optimal dəyərinin hesablanması üçün tövsiyə olunan düstur təklif edilmişdir. İstismar faktorlarının istilik ötürmə əmsalına təsiri tədqiq edilmişdir. Boru daxili səthində duz və korroziya məhsullarının çökməsi ilkin olaraq istilik ötürmə əmsalını azaldır, lakin $10\text{--}20$ gün ərzində bu əmsal stabil hala gəlir. Axın sürətinin artması ilə ərpin və korroziya məhsulları yuyularaq səthin təmiz qalmasını təmin edir, bu da istilik ötürmə əmsalının azalmasını məhdudlaşdırır.

9. Silikat örtüklü, yivli borulardan və üçbucaq arakəsmələrdən ibarət boru dəstinin vibrasiya prosesi üzrə tədqiqat nəticələri təqdim olunmuşdur. Boru dəstində boruların rəqslənmə amplitudası arakəsmələrin yerləşdirilməsindən və onların arasındakı məsafədən asılı olaraq müəyyən edilmişdir.

10. Fərqli diametrə malik istilik mübadilə boruları üçün silikat örtüyünün istilik yorğunluğu tədqiq edilmişdir. Örtük səthində çatların əmələ gəlməsi asimmetriya əmsalı, ölçü faktoru və örtükdəki gərginliklərdən asılı olaraq qiymətləndirilmişdir.

11.Yivli silikat örtüklü boruların gərginlik vəziyyəti hesablanmışdır.Radial, ox istiqamətli, tangensial təsirlərin, həmçinin sıxılma və kəsilmənin boru örtüyünün termiki dayanıqlığına təsiri müəyyən edilmişdir. Enerji möhkəmlik nəzəriyyəsinə əsasən əsas nəticələr təqdim olunmuşdur. Silikat örtüklü, yivli boruların üçbucaq arakəsmələr ilə birlikdə istilik mübadilə aparatlarında tətbiqi üzrə iqtisadi hesablamalar aparılmışdır. Bu boru dəstinin gəmi istilik mübadilə aparatlarında istifadəsinin perspektivləri göstərilmişdir.

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə təqdim olunmuşdur:

1. Ибрагимов, Н.Ю., Ибрагимли, Э.Н. Термические напряжения силикатно-эмалевого покрытия трубы теплообменного аппарата. Промышленная энергетика №2, 2018.
2. Ibragimli, E.N. Experimental Investigation of the Thermal Conductivity of Glass Coatings on Pipes. Glass and Ceramics, Vol. 79, Nos. 7 – 8, p.253–256 November, 2022.Springer Link. DOI 10.1007/s10717-022-00495-0.
3. Ibrahimli, E.N. Characteristics of heat exchange with trapezoidal baffles heat exchanger. II International Scientific and Practical Conference « Science in modern society», July 18-19, 2023, Beijing. China.
4. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н. Коррозия покрытий трубного пучка судовых теплообменных аппаратов. ADDA, "Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri" beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları, səh.126-129, 17-18 Noyabr, Bakı-2022.
5. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н. Исследование оптимальных условий эксплуатации труб судовых теплообменных аппаратов. Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития морской отрасли», 3-5 ноября 2021г., Херсон, Украина, с.211-214.
6. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н. Оптимальный режим

- нанесения силикатного покрытия на поверхность теплообменной трубы. ADDA, “Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları (25-26 noyabr 2021), Bakı, s.130-133.
7. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н. Регулирование влияния конструкции перегородки на тепловые процессы труб судовых теплообменных аппаратов. ADDA-nın Elmi əsərləri, № 1, səh.114- 117, 2021, Bakı, Azərbaycan.
 8. İbrahimli, E.N., Qasanov, V.H. Influence of thermal stress on the formation of cracks in the silicate coating of the heat exchange tube. Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions. Volume 25, Issue 05 (145) P.14-20. 2023
 9. Gasanov, V.H., İbragimli, E.N. Analysis of the use of coated pipes in marine vessels. RT&A, Special issue №5 (75) Volume 18, pp.703-707, November 2023.
 10. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н., Гасанова, Л.А. Эффективности маслоохладителя судовых теплообменных аппаратов. Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri iii respublika elmi konfransının materialları (17-18 noyabr 2023), №6, səh.91-92
 11. Ибрагимли, Э.Н., Газиев, А.Р., Байрамова, Ф.Б. Локализация динамики утечки нефтепроводов в каспийском море. Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının ELMİ XƏBƏRLƏRİ Sentyabr - Dekabr 2023 səh 25-30 ISSN 2957-5931
 12. İbrahimov, N.Y., İbrahimli, E.N. Lazer qurğusunun köməyi ilə silindrin səthinə metal örtüyün çəkilməsi. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri 2022, c.14, № 4, s.56-61
 13. İbrahimli, E.N., Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy 2023, vol. 15, no. 4, pp. 21-25.
 14. Гасанов, В.Г., Ибрагимли, Э.Н., Мамедова, М.А. Регулирование влияния конструкции перегородки на тепловые процессы труб судовых теплообменных аппаратов. Проблемы энерго и ресурсосбережения. Специальный выпуск 2024, Ташкент(№85) стр 95-103. ISSN (print) 2091-5985

15. Həsənov, V.H., İbrahimli, E.N., Ömərov, A.S. İstilik mübadilə aparatının konstruksiyası. Sənaye mülkiyyəti. İxtiralar.Faydalı modellər.Sənaye nümunələri. Bülleten № 1. Bölmə F., s.11., Bakı -31.01.2025.

Çap olunmuş əsərlərdə müəllifin şəxsi iştirakı:

[1,2,3,4,5,6,8] nömrəli işlərdə mövzunun aktuallığının müəyyən edilməsi, məqsəd və vəzifələrin formalaşdırılması, nəzəri tədqiqatların aparılması və elmi müddəaların irəli sürülməsi müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. İşin qalan hissələri həmmüəlliflər tərəfindən bərabər paylanmışdır.

[7,9,10,11,12,13,14] nömrəli işlər elmi rəhbərin tövsiyəsi əsasında dissertasiya işinin eksperimental hissəsinin mənimsənilməsi məqsədilə yazılmışdır.



Dissertasiyanın müdafiəsi 28 oktyabr 2025-ci il saat 14:00-da “ADNSU” PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurasının bazasında Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasında qeydiyyat nömrəsi BFD 2.02/2 olan Birdəfəlik Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti 34.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 25 sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 24.09.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 42750

Tiraj: 40