

UOT 693

ƏLİYEV M.A., KƏRİMOV A.K., HÜSEYNOV C.M.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universit

[mustafa.aliyevma@azmiu.edu.az](mailto:mustafa.aliyevma@azmiu.edu.az); [universitetseherciyi@gmail.com](mailto:universitetseherciyi@gmail.com);  
[cefer.huseynov.2002@bk.ru](mailto:cefer.huseynov.2002@bk.ru)

## İSTİLİK MÜBADİLƏSİ APARATLARININ İSTİLİK MÜBADİLƏ SƏTHLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI ÜSULLARININ TƏDQIQI

İstilik mübadiləsi aparatlarının müxtəlif səthlərini müqayisə edərək müqayisə meyarlarından istifadə edərək müəyyən bir səth üçün optimal həlləri axtararkən, düzgün müqayisə üsulunu seçmək vacibdir. Bu məsələlərə toxunan çoxlu sayda tədqiqat işləri aparılmışdır [1, 2, 3, 4, 5].

Onlardan bəzilərini nəzərdən keçirək. İstilik mübadilə səthlərinin müqayisəsi metodunu ilk dəfə A.A. Quxman işləyib hazırlamış və səthin əsas xarakteristikaları kimi üç kəmiyyəti müəyyən etmişdir: səthdən keçən  $Q$  istilik miqdarı; istilik səthi boyunca istilik daşıyıcısının vurulmasına sərf olunan güc  $N$ ; isitmə səthinin sahəsi  $F$ , [8].

Fərz edilir ki, müqayisə edilən səthlərdə iş prosesləri eyni temperatur şəraitində baş verir, buna görə də onların temperatur fərqləri bərabərdir və axınların istilik -fiziki xassələri eynidir, buna görə də onların temperatur fərqləri  $A_f = const$ . Texniki tapşırıqların üç mümkün növü müəyyən edilir:

$$K_N=1, K_F=1, \text{ təyin olunur } k_Q;$$

$$K_Q=1, K_F=1, \text{ təyin olunur } k_N;$$

$$K_Q=1, K_N=1, \text{ təyin olunur } k_F;$$

burada  $K_Q = Q_1/Q_2$ ,  $K_N = N_2/N_1$ ;  $K_F = F_2/F_1$ , burada 1-ci indeks verilmiş səthi, 2-ci indeks müqayisə olunan səthi bildirir. Bu problemlərin hər biri üçün səthlərin müqayisəsi edilməsi üçün qrafik üsul verilmişdir.

Bu metodun əsas çatışmazlığı istilik daşıyıcılarının sürətlərinin qrafik müəyyənleş-

dirilməsi ilə bağlı yaranan çətinlikdir. Bundan əlavə, digər istilik daşıyıcılarına və ya digər axın parametrlərinə keçərkən, ayrıları ye-

nidən qurmaq lazımdır, çünki bu, istilik daşıyıcılarının termofiziki xüsusiyyətlərini də dəyişdirir. Belə yanaşma yalnız istilik mübadilə səthi ətrafında birtərəfli axına aiddir.

A.A. Quxman sonrakı işlərində bu üsulu təkrarlayır, yeganə fərq ondan ibarətdir ki, istilik axınının sıxlığı  $Q/F$  və istilik daşıyıcısının dövryyəsi üçün enerji sərfinin istilik mübadilə səthinə nisbətinin ( $N/F$ -in) axın sürətindən asılılıqlarından istifadə edir [11].

Ədəbiyyatlarda səthin xarakteristikası kimi enerji əmsalı adlanan kəmiyyətin seçilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Səthin istilik və aerodinamik keyfiyyətlərini qiymətləndirmək üçün bu əmsal ilk dəfə M.V. Kirpiçev tərəfindən qəbul edilmişdir  $E=Q/N$  [12].

M.V. Kirpiçev öz elmi işlərində qeyd edir ki, Quxman metodunun əsas çatışmazlığı onun yalnız məhdud texniki məsələlərə uyğun olmasıdır. Nümunə olaraq, müxtəlif formalı, müxtəlif materialları və kütlələri olan borunun səthi verilir ki, borunun qızma səthi müqayisə edilən variantları qiymətləndirmək üçün bir ölçü kimi istifadə edilə bilər [13].

Buna görə də, əlavə olaraq aşağıdakı xarakteristikalar daxil edilir: nəqletdirici qurğular üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən qızma səthinin kütləsi  $M$ ; qızma səthinin tutduğu həcm  $V$  və onun maya dəyəri  $X$ . Bundan əlavə, qızma səthinin qurğunun digər elementləri ilə kombinə olunmasının rahatlığı nəzərə alınır ki, bu da əsasən qızma səthinin en kəsiyi ilə uzunluğu ( $l$ ) arasındakı nisbətdən asılıdır. Buna uyğun olaraq, texniki məsələnin əsas növlərinin formalaşdırılmasının aşağıdakı variantları təklif edilmişdir:

1.  $Q=const, N=const; M, \sum f, l, X$  - ə görə

- qiymətləndirmə;
2.  $Q=const, M(X) = const; N, \sum f, l$  - ə görə qiymətləndirmə;
  3.  $N=const, M(\beta=const, Q, \sum f, l$  - ə görə qiymətləndirmə;
  4.  $Q=const, \sum f(l)=const, N, l, \sum f, M, X$  - ə görə qiymətləndirmə;
  5.  $N=const, \sum f(l)=const, Q, l, \sum f, M, X$  - ə görə qiymətləndirmə;

Bu göstərilən məsələlərin hamısında müqayisə edilən variantlarda hava axını sərtləri və temperatur şəraitinin eyni olduğu qəbul edilmiş və məsələlər qrafik üsulla həll edilmişdir. Qeyd edək ki, qrafikdən tapılan hava kanallarının kəsiklərinin nisbəti korrekt olur. Düzgün nəticələr yalnız havanın kütlə sərfi sabit ( $G=const$ ) olduqda alınır. Reallıqda  $N=const$  şərti ilə bütün məsələlər üçün  $Q=var$  və  $Q=G \cdot \Delta h$  tənliyindən  $\Delta h=const$  olduqda birbaşa olaraq səthdən keçən istilik miqdarı vardır, ona görə də  $Q=var$  alınır, burada  $\Delta h$  havanın entalpiyasının dəyişməsidir,  $kC/kq$ .

Səthdən keçən istilik miqdarının mövcud olması şərtində səthlərin müqayisəsinin göstərilən çatışmazlıqlarına baxmayaraq [15]-də göstərilən üsul digər şərtlərdə böyük praktik əhəmiyyətə malikdir, çünki səthlərin müqayisəsi üçün ilk dəfə yeni parametrlər daxil edilir: kütlə, həcm və qabarit ölçülər. Metodun universal olması və axın temperaturundan asılı olmaması üçün nisbi koordinat sistemə keçid təklif edilmişdir.

Beləliklə,  $Q/N$  nisbəti əvəzinə ( $Q_1/Q_2$ )/( $N_1/N_2$ ) nisbətində baxılır və s. Ən sadə hal üçün iki tərəfli axın halında səthlərin müqayisə edilməsinə cəhd edilir: eyni termofiziki xassələrə malik olan hər iki axının termiki müqavimətinin və borunun uzunluğunun sabit olması şərtində eninə axının olmaması. Verilmiş  $Re_1$  termiki müqaviməti üçün axınlardan birinin  $Re_2$  müqavimətini tapmaq üçün qrafik metod təklif edilmişdir.

Energetik  $E$  əmsalına görə bu və ya digər səthin üstünlüyünü qiymətləndirmək hələ də kifayət deyil, çünki axın sürəti bu əmsalın qiymətinə böyük təsir göstərir. Səthlərin düzgün müqayisə edilməsi üçün əlavə şərtlər tələb olunur [14]. [14]-də belə şərt olaraq müqayisə

edilən variantlar üçün  $N_0=N/F$  nisbətinin sabitliyi və bu variantlarda istilik fərqi  $E(N_0)$  qrafikindən istifadə etməklə təyin edilir. Qurğunun qabaritinin ölçülərini qiymətləndirmək üçün, qızma səthinin sahəsinin isidilən həcmə nisbətini ifadə edən bir əmsal daxil edilir, yəni  $P=F/V$ . Qabarit ölçüləri üzrə səthin qiymətləndirilməsi  $E(N_0/P)$  qrafikinə uyğun aparılmışdır.

$E=const$  olduqda, daha kiçik  $N_0/P$  qiymətinə malik olan səth daha kiçik qabarit ölçülərə malikdir. Bu metodikaya əsasən, boruların xarici divarındakı eninə axın və borudakı axın arasında müqayisə aparılmışdır. Xarici axının mütləq üstünlüyü göstərilir ki, bu da kiçik ölçülü istilik mübadilə aparatlarının inkişafında öz tətbiqini tapmışdır. Bu ideyanın praktiki şəkildə həyata keçirilməsi-şampllanmış təbəqələrdən təşkil olunan istilik mübadilə aparatlarının yüksək səmərəli səthlərinin yaradılmasında yeni istiqamət açdı.

Sonralar bu üsul V.M. Antufyevin [6] elmi əsərlərində daha da inkişaf etdirilmişdir. Səthin səmərəliliyi istilik ötürmə əmsalı ilə qiymətləndirilmişdir, hansı ki,  $N_0=const$  olduqda enerji əmsalı  $E$  ilə mütənasibdir və [16]-da olduğu kimi,  $E(N_0)$  qrafikindən tapıla bilər.

Birtərəfli axın halında səthi xarakterizə etmək üçün müəllif tərəfindən səmərəlilik dərəcəsi adlandırılan və araşdırılan səthin istilik ötürmə əmsalının etalon olaraq qəbul edilən səthin istilik ötürmə əmsalına olan nisbəti kimi təyi edilən  $\psi$  əmsalı tətbiq edildi,  $\psi=\alpha_2/\alpha_1=E_1/E_2$ . Aerodinamik xarakteristikalar  $\alpha=const$  olduqda  $E(\alpha)$  qrafikindən tapılır, ancaq səthlərin sahələrinin nisbəti səmərəlilik dərəcəsinə tərs mütənasib hesab edilir, yəni  $F_2/F_1=1/\psi$ . Sonuncu ifadə həqiqətə uyğun deyil, çünki burada iki məsələ qarışdırılır:  $Q - yə$  görə müqayisə və  $F$ -ə görə müqayisə, hansı ki, bu müqayisələr bərabər qiymətli olurlar.

Səthlərin həcm və çəki xarakteristikalarını taparkən hesablamaları sadələşdirmək üçün  $\psi$  qiymətindən istifadə olunur. Hesablamalar  $F_2/F_1=1/\psi$  müddəasına əsaslanır ki, bu da ümumiyyətlə müşahidə olunmur. Nəticədə

səthlərin kütlə və həcmə görə müqayisəsi qeyri-dəqiq olur [17]. [17]-də kompanovka xarakteristikaları  $N_0=const$  və  $G=const$  şərtlərindən tapılmışdır, burada axın sürətlərinin nisbətini tapmaq üçün  $N_0=const$  şərtindən, frontal kəsiklərin nisbətini tapmaq üçün  $G=const$  şərtindən istifadə edilmişdir. Bununla belə,  $N_0=const$  olduqda  $Q=var$  doğrudur və axının sabit temperaturlarında  $G=var$ , yəni müqayisə olunan səthlər üçün istilik daşıyıcısının səfləri eyni deyil və  $G=const$  şərtindən frontal kəsikləri tapmaq mümkün deyil.

İki tərəfli axın halında səthlərin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi metodu təklif olunur [17], bunun üçün istilik ötürmə əmsalının hər iki axının istilik mübadilə səthinə dövrüyyəsi üçün ümumi enerji xərclərinin nisbətindən asılılığının qrafikindən istifadə olunur, yəni  $K(\sum N_0)$ .

Qeyd etmək lazımdır ki, səthlərin qrafik müqayisəsi zamanı hər iki koordinat kimi nisbətlər şəklində meyarlar, məsələn,  $Q/F$ ,  $N/F$  və s. götürüldükdə, axınların sürətlərini tapmağa ehtiyac qalmır. Bu, səthlərin qrafik müqayisəsində axın sürətinin koordinatlarından biri kimi istifadə edilməsi digər üsullarla müqayisədə şübhəsiz böyük üstünlüyə malikdir.

[16]-da şərti istilik ötürmə əmsalları tətbiq edilmişdir:  $kütlə \alpha_m=Q/(M\Delta t)$ . Müəlliflərin fikrincə, bu əmsallar qızma səthinə aid olan istilik ötürmə əmsalı səthin qiymətləndirilməsi üçün meyar kimi xidmət edə bilməyi hallarda lazımdır, məsələn, müxtəlif formalı qabırğalı borular halında. İki tərəfli axın üçün eyni şəkildə kütlə və həcmi istilik ötürmə əmsalları tətbiq edilir. İkinci koordinat kimi kanalda təzyiq itkisi və həcmli axın sürətinin hasilindən istifadə olunur ( $\Delta p G/\rho$ ) və məsələn  $Q=const$  şərti ilə həll edilir.

İstilik ötürən səthlərin uyğunlaşdırılmasında qrafik üsuldan istifadə edilmişdir [18]. Qrafiklərdə  $\alpha F/M$  və ya  $\alpha F/N$  koordinatlarından biri  $\alpha_m$  və  $Q/(N\Delta t)$  koordinatları ilə eynigüclüdür, vahid temperatur fərqiində enerji əmsalına çevrilir [8]. İkinci koordinat – axın dövrünü üçün güc sərfidir. Müqayisə edərkən,

istilik daşıyıcısının keçidi  $f_q$  üçün  $V$  həcmində və müəyyən en kəsiyinə malik olan boru seçilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki,  $f_q=const$  şərti lazımsızdır. Həqiqətən,  $N$ -nin qiyməti  $VG/f_q$  nisbətinə mütənasibdir və kəsilməzlik tənliyindən istifadə edərkən  $V$ -yə mütənasib olur.

Buradan belə çıxır ki, müqayisə diaqramlarını qurarkən bir əlavə şərt,  $V=const$  şərti kifayətdir. Məsələnin belə qoyulmasında səthlərin hansı kəmiyyətlərlə müqayisə edildiyi ümumiyyətlə aydın olmur. Eyni zamanda, müəyyən həcmə malik boru üçün onun kütləsi avtomatik olaraq tapılır, çünki həmin kütlə həcm və çəki əmsallarının nisbəti ilə həcmə hasilinə bərabərdir. Buradan belə nəticə çıxır ki, səthləri kütlə xarakteristikalarına görə müqayisə edərkən ümumiyyətlə  $V=const$  şərti seçilməməlidir.

Bir sıra elmi işlərdə təklif olunan üsullar, mahiyyətcə mövcud olanların modifikasiyasıdır. Belə ki, səthlərin qiymətləndirilməsi üçün qrafik metod təklif olunur ki, burada  $Q/(M\Delta t)$  və  $Q/(V\Delta t)$  əmsallarından koordinatlardan biri kimi istifadə olunur ki, bu da mahiyyətcə [17]-də təqdim edilmiş istilik ötürmənin (və ya istilik keçirmənin) şərti kütlə və həcm əmsallarını təmsil edir [18]. İkinci koordinat kimi vahid temperatur fərqinə aid olan ( $Q/(N\Delta t)$ ) energetik əmsaldan istifadə olunur. Bu, [6]-da qəbul edilmiş istilik mübadilə aparatının iki mütləq xarakteristikası  $Q=const$ ,  $N=const$  şərti ilə praktiki olaraq eynidir.

Səthlərin qiymətləndirilməsi kimi istifadə olunan kəmiyyətlərin nisbəti və məxrəcdə temperatur fərqi olan metodların dezavantajı, müxtəlif axın sxemlərinə malik olan aparatların müqayisə edilməsinin mümkünsüzlüyüdür, belə ki, eninə axınlarda temperatur fərqi çarpaz axının əksinə yaxınlaşma dərəcəsinin funksiyası olur.

Bundan əlavə, qrafik müqayisə metodundan istifadə edərək baxılan bütün üsullar üçün əldə edilən asılılıqlar yalnız istilik daşıyıcısının xüsusi parametrləri üçün etibarlıdır. İstilik daşıyıcısının və ya onun parametrlərinin

dəyişdirilməsi qrafiklərin yenidən qurulması ehtiyacına səbəb olur.

A.A. Quxmanın elmi işlərində səthlərin nisbi müqayisə edilməsi metodu işlənilib hazırlanmışdır [8]. Bu üsul [6]-da göstəriləyi kimi, səthin ətrafında birtərəfli axın olduqda, axınların termofiziki xüsusiyyətlərini nəzərə almamağa və səthlərin müqayisəsi məsələsini sadələşdirməyə imkan verir. Axınların Reynolds ədədləri məlum  $Nu(Re)$  və  $\zeta(Re)$  asılılıqları əsasında analitik olaraq təyin olunur. Müəlliflər, etalon səth anlayışını qəbul etdilər ki, bu səthin deformasiya xüsusiyyəti və inkişafı daha mürəkkəb səthlərə keçid imkanı verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, praktikada yalnız ən sadə və mürəkkəb səthləri deyil, həm də müxtəlif mürəkkəb formalı olanları müqayisə etmək lazımdır, çünki yüksək səmərəli səthlərin axtarışı da bu istiqamətdə davam edə bilər. [19]-də təklif olunan yanaşmada ən sadə səth (etalon səth) "bufer" rolunu oynayır, bu da yalnız səthlərin qiymətləndirilməsini çətinləşdirir. Bu halda müqayisənin mütləq mənası yox olur ki, bu da müəlliflərin qeyd etdiyi kimi, etalon səthi üçün istilik mübadiləsi və axın hidrodinamikasının qanunlarını tətbiq etməyə imkan verir.

Metodun çatışmazlıqlarına [20]-də olan müqayisə şərtlərinə əlavə olaraq müqayisə edilən səthlərin kəsiklərinin həndəsi oxşarlığı və bərabərliyinin əlavə şərtinin qəbul edilməsi də daxildir. Lakin [16]-də göstəriləyi kimi,  $\sum f = const$  şərti müstəqildir və yalnız daha bir şərtlə kombinə olma imkanı verir, məsələn,  $Q = const$ .  $Q = const$  olduqda bütün məsələlər üçün əlavə  $2f = const$  şərtinin olması  $V = const$  olması şərtinə gətirib çıxarır. Bu halda  $K_f = K_1/K_2$  olduğundan və  $F = const$  şərtini vermək mümkün olmur və  $F = const$  şərti olduqda bu əmsal 1-ə bərabər olmur.

Buna görə də bu məsələlərdə müqayisə edilən səthlər üçün kəsiklərin bərabərliyinin üçüncü şərtini əlavə etmək düzgün deyil. Beləliklə, [26]-da alınan həllər düzgün qoyulmuş şərtlərdə tapılan həqiqi həllərdən fərqlənir.

[7]-də göstərilən üsulların praktiki qiyməti ondan ibarətdir ki, müqayisə məsələlərinin analitik həlli tapılmışdır, hansı ki, onun şərtləri  $Nu(Re)$ ,  $\zeta(Re)$  riyazi asılılıqlarının məlum olması və səthdə istilik mübadiləsi axının birtərəfli olmasıdır. İkitərəfli axın üçün analitik həll ümumiyyətlə ədəbiyyatlarda nəzərdən keçirilməmişdir.

[21]-də səthlərin müqayisəsi Stanton meyarının  $St$  və sürtünmə əmsalının  $\zeta$  Reynolds kriteriyasından  $Re$  məlum asılılıqları ilə qrafik olaraq aparılmışdır.  $Re$ -nin bir neçə qiymətindən istifadə edərək, tədqiq olunan səthdən istifadənin perspektivli olduğu sahələri müəyyən etmək üçün  $K_N$ ,  $K_Q$ ,  $K_F$  əmsallarının  $Re$ -dən asılılığını qurmaq mümkündür.

Meyarların kəmiyyətlərin nisbəti şəklində istifadəsi çoxlu sayda müqayisə üsullarının yaradılmasına imkan verir. Beləliklə,  $E$  enerji əmsalı əvəzinə onun tərs qiyməti  $N/Q$  istifadə oluna bilər [21]. Qazın kütlə sərfələrindən  $Q$ ,  $N$  qiymətlərini yazaraq,  $N/Q$  nisbəti əvəzinə, müqayisə edilən variantlarda bərabər temperatur şəraitində kanalda  $\Delta p$  təzyiqlik itkisinin qiyməti alınır ki, bu da təzyiqlik itkisinin istilik ötürmə əmsalından asılılıq funksiyasının qurulmasına gətirir  $\Delta p(a)$  [19].  $N/F = const$  olduqda  $Q/N$  və ya  $Q/P$  nisbəti qiymətləndirmə meyarı kimi istifadə oluna bilər [14], hansı ki, bu nisbətənin qiyməti müqayisə edilən variantlarda bərabər temperatur fərqi birtərəfli axın üçün istilik ötürmə əmsalına bərabərdir  $a$  [22].

Müqayisə metodlarının istifadə olunduğu üç sahə var.

- Birincisi, bu, yüksək səmərəli səthlərin axtarışıdır, məsələn, hava qızdırıcılarının konstruksiyasında [25], buxar generatorlarında rekuperativ qızdırıcıların yaradılması [23, 24, 28], qaz turbinlərinin regeneratorlarının, qazanxanaların hava qızdırıcılarının layihələndirilməsində [26, 27] və s. Bu, həmçinin istilik daşıyıcısının hərəkət sxeminin müxtəlif nümunələrinin (uzununa, eninə) müqayisəsini, eləcə də bir-birinə nisbətən kanalların məkan tənzimlənməsinin (şahmatvari və dəhliz şəkilli) müqayisə

səsinə əhatə edir. İstilik daşıyıcısının hərəkətinə nəzərən səth oriyentasiyasının düzgün seçilməsi yüksək səmərəli istilik mübadiləsi səthinin yaradılması yollarından biri hesab edilə bilər. Buna misal olaraq, boruların pilləli düzülüşündən eninə axımlı dəhliz quruluşuna keçidin onun səmərəliliyinin maksimal olduğu səthin belə bir oriyentasiyasını tapmağa imkan verdiyini göstərmək olar [29].

- İkincisi, alınan müqayisə meyarları verilmiş daşıyıcı səth üçün istilik mübadilə aparatlarının optimallaşdırma meyarları kimi istifadə edilə bilər. Məsələn, [23]-də boru şəkilli səthin spiral-lenta büzməli qabırğalı forması araşdırılmış və bu tip səth üçün optimal həllər tapılmışdır: qabırğanın hündürlüyü, ilgəklərin sayı. [29, 30]-də verilmiş istilik mübadilə səthində axın sürətlərinin optimal nisbəti maksimum istilik çıxarılmasına və qazın vurulması üçün minimum enerji xərclərinə, yəni enerji əmsalının maksimum qiymətinə əsaslanaraq tapıldı. Müqayisə meyarları kanalların optimal təşkilini tapmaq üçün istifadə edilə bilər. Beləliklə, [32]-də eninə qaz axını üçün pilləli düzülüşlü boru dəstələrinin optimal nisbi meydançaları tapılmış, [10]-də isə istilik səthində külün çökməsi nəzərə alınmaqla tüstü qazları üçün hesablamalar aparılmışdır və [31, 32]-də təmiz qazlar üçün istilik ötürülməsi və aerodinamik meyarlardan istifadə edilmişdir. Qeyd edək ki, [10,32]-də yalnız birtərəfli xarici axın tədqiq edilmişdir.
- Üçüncüsü, hazırlanmış üsullar yalnız müxtəlif səthləri müqayisə edərkən deyil, həm də istilik cihazları üçün istilik daşıyıcısını seçərkən istifadə edilmişdir. [33, 36, 37] - də müxtəlif istilik daşıyıcılarının müqayisəsi aparılmışdır. Bununla belə, müqayisə şərtlərinin düzgün tərtib edilməməsi (kriteriya - dəyişən istilik mübadiləsi səthi şəraitində enerji əmsalının tərs qiymətidir) əldə edilən nəticələrə şübhə yaradır. Bundan əlavə, istilik daşıyıcısının parametrlərinin təsiri öyrənilməmişdir, belə ki, [37]-də qazların müqayisəsi at-

mosfer təzyiqində və 0°C temperaturda, [33]-də isə qazın təzyiqi göstərilmədən 55°C temperaturda aparılmışdır. İstilik daşıyıcılarının keyfiyyətinin öyrənilməsinin vacibliyi [34]-də vurğulanır. Problemin həllinə düzgün yanaşma isə [35]-də verilmişdir, burada səthlərin müqayisəsi üçün hazırlanmış Antufyev metodundan istifa olunur. Bu məqalədə, birtərəfli axın üçün analitik şəkildə əldə edilmiş müqayisə meyarından axının termofiziki xüsusiyyətlərindən asılı olan bir vuruq çıxarılır, lakin bu və ya digər istilik daşıyıcısının üstünlüyü haqqında aydın mühakimə yürütməyə imkan verən müxtəlif istilik daşıyıcılarının müqayisəsi aparılmır.

Metodların müxtəlifliyi vahid universal metodun yaradılmasının zəruriliyini göstərir. Təbii ki, bu, istilik mübadilə aparatlarının hesablanması istifadə olunan istilik ötürmə və hidroaerodinamik tənliklərə əsaslanmalıdır və səthlərin uyğunluğu meyarlarının hesablanması böyük həcmdə iş tələb etməməlidir. Bu baxımdan, meyarların nisbətindən istifadə edən analitik üsul qrafik üsuldən daha universaldır. Bununla belə, analitik üsul ədəbiyyatda yalnız ən sadə halda – birtərəfli xarici axın üçün həyata keçirilir. İkitərəfli axın bu günə qədər tədqiq edilməmiş olaraq qalır.

Bunun səbəbi, ikitərəfli axın üçün analitik həllin nisbətən çətin olmasıdır, çünki əllə hesablama ilə  $Re$  - nin geniş diapazonunda onun qoşma qiymətlərini (və ya sürətlərini) tapmaq çox əmək tələb edir. Bu vəziyyətdə problemi həll etməyin yeganə yolu PC-dən istifadə etməkdir. Bundan əlavə, qabırğalı səthin rəşional formalarının inkişafı və onların müqayisəsi üzrə mövcud işlər kifayət qədər tam deyil, çünki onlar istilik daşıyıcısının işçi parametrlərinin bütün spektrini əhatə etmir və çox vaxt istilik ötürülməsi və aerodinamika üçün köhnəlmiş düsturlara əsaslanır.

Qabırğanın həndəsi ölçülərinin optimallaşdırılması yalnız dəhliz formalı boru dəstəsi üçün birtərəfli axın üçün aparılmışdır. Müxtəlif işlərdə müqayisələr zamanı məzmunca

fərqli bir neçə meyarın olması optimal səthin seçilməsi üçün həll variantının qeyri-müəyyənliyinə səbəb olur, eyni zamanda düzgün həll tələb olunur. Beləliklə, birtərəfli və xüsusilə ikitərəfli axın üçün istilik mübadiləsinin səmərəliliyi nəzəriyyəsinin daha da inkişaf etdirilməsi vacib məsələdir.

### NƏTİCƏLƏR

1. Binalar üçün hava isitmə sistemləri çox böyük xərclər tələb etdiyinə görə onlara çəkilən xərclər onun səmərəliliyinin artırılması problemi aktualdır.
2. Binaların hava isitmə sistemlərində havanın qızdırılması istilik mübadilə cihazları ilə təmin edilir ki, bu da kifayət qədər ətraflı öyrənilmişdir.
3. Yeni metodların yaranması, yəni kompleks tədqiqat üsulunun hazırlanması istilik sahələrinin riyazi modelləşdirilməsini və vizuallaşdırılmasını birləşdirməyə və aparatın istilik verən elementlərinin optimal parametrlərini əldə etməyə imkan verir.

### ƏDƏBİYYAT

1. PDF1 İPFS-BO3 - istilik mübadilə aparatları.
2. İstilik dəyişdirici aparatlar - Ezino Education
3. Ahmed T. Al-Sammorraie & Kambiz Vafai. "Heat transfer augmentation through convergence angles in a pipe. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 72:3, 197-214, ".www.tandfonline.com. 2017 Tarixində arxivləşdirilib. İstifadə tarixi: 21.07.2020.
4. Kaçak, Sadik; Liu, Hongtan. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design. (2nd ed.). CRC Press. 2002. ISBN ISBN 978-0-8493-0902-1.
5. Mürşüdlü, Ç.C; Məmmədov, Q.Ə. İstilik aparatları. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənayə Universiteti. 2018.
6. Антуфьев В.М. Сравнительные исследования теплоотдачи и сопротивления

- ребристых поверхностях //Энергомашиностроение. – 1961. №2 – С. 12-16.
7. Гришкова А.В., Мелехин А.А. Разработка, исследование и реализация методов теплообменных аппаратов. //Строительство архитектура, теория и практика: сб. тез. Докл. – Пермь: Издательство Пермь. Гос. Тех. Ун-та, 2007. -236 ст.
8. Гухман А.А. Интенсификация конвективного теплообмена и проблема сравнительной оценки теплообменных поверхностей // Теплоэнергетика.– 1977.- №4. – С. 5-8.
9. Каздоба А.К., Матвеев Г.А. Вывод аналитической зависимости оптимального соотношения скоростей потоков воздухоподогревателях ГТД. //Изв. Вузов. Сер. Энергетика. – 1975. - №3. С. 83-85.
10. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация геометрии решетки пучка стержней с внутренним тепловыделением по эффективности теплоотдачи. // Тр. МЭИ. – 1977. – Вып. 336. С. 83-85.
11. Гухман А.А. Методика сравнения конвективных поверхностей нагрева //ЖТФ. -1978. – Т.8, вып. 17. – с.1584-1602.
12. Красникова О.Х., Попов О.М., Удут В.И. Новые конструкции эффективных витых трубчатых теплообменников // Нефтегазовые технологии. – 1998. - №5-6. – с. 10.
13. Кирпичев М.В. О наивыгоднейшей форме поверхности нагрева // Изд. ЭНИН им. Г.М. Кржижановского. - 1944. –Т.12. с. 15-19.
14. Кирпиков В.А., Цирельман Р.М. К вопросы об определение эффективности теплообменных поверхностей // Изд. Вузов. Сер. Энергетика. – 1972. - №1. – с. 100-103.
15. Кирпичев М.В. Михеев М.А. Моделирование тепловых устройств. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 320 с.
16. Антуфьев В.М., Белецкий Г.С. Теплопередача и аэродинамические сопротивления трубчатых поверхностей в

- поперечном потоке. – М.-Л.: Маш-гиз, 1948. – 117 с.
17. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей. – М.: Энергия, 1966. – 233 с.
  18. Кирпиков В.А., Лейфман И.И. Графический способ оценки эффективности конвективных поверхностей нагрева // Теплоэнергетика. – 1975. - №3. с. 34-36.
  19. Евенко В.И., Сеченов В.М. Методика оценки эффективности теплообменных аппаратов и поверхностей теплообмена. // Изд. Вузов. Сер. Энергетика. – 1967. -№4. – с. 71-76.
  20. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. -248 с.
  21. Димитров А.Д., Якименко Р.И. Исследования энергетического совершенства профильно – пластинчатых поверхностей // Изд. Вузов. Сер. Энергетика. – 1975. -№4. – с. 140-143.
  22. Васильев Л.Л., Конев С.В., Хронелюк В.В. Интенсификация теплообмена в тепловых трубах. – М.: Наука и техника, 1983. – 152 с.
  23. Евенко В.И., Храпов Б.И., Шишков В.М. Трубчатая поверхность теплообмена со спирально – ленточным гофрированным оребрением // Энергомашиностроение. – 1968. - №2. С. 16-17.
  24. Евенко В.И., Шишков В.М. Обобщенные зависимости по теплообмену и сопротивлению трубчатой поверхности гофрированной лентой //Теплоэнергетика. – 1969. – №6. – с. 33-37.
  25. Кунтыш В.Б., Иохведов Ф.М. Выбор эффективной поверхности нагрева для создания компактного воздухоподогревателя (калорифера) //Изд. Вузов. Сер. Энергетика. –1970. -№5. –с. 68-72.
  26. Кузнецов Н.В. Рабочие процессы и вопросы совершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 172 с.
  27. Линец А.У. О рациональных компоновках конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов // Теплоэнергетика. – 1963. - №5.
  28. Маньконский О.П., Толчинский А.Р., Александров М.В. Теплообменная аппаратура химических производств. – Л.: Химия, 1976. – 368 с.
  29. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Сравнение эффективности теплоотдачи коридорного и шахматного пучков при поперечном обтекании потоком газа. // Тр. МЭИ. – 1978. Вып. 364. – с. 86-90.
  30. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Сравнение эффективности теплоотдачи при течении газов гладких и шероховатых каналах. // Теплоэнергетика. – 1977. - №5. – с. 70-73.
  31. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация компоновки шахматной трубной решетки при поперечном обтекании. – Изв. Вузов. Сер. Энергетика. – 1978. - №1. – с. 66-71.
  32. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация решетки шахматной теплообменников и соотношения скоростей потоков при продольном обтекании. – Теплоэнергетика. –1979. - №2. –с. 42-44.
  33. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация трубной решетки коридорного пучка при поперечном обтекании на основе эффективности теплоотдачи. – Изв. Вузов. Сер. Энергетика. – 1977. - №8. – с. 89-93.
  34. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Сравнение продольного поперечного обтекания трубных пучков по эффективности теплоотдачи. – Теплоэнергетика. – 1977. - №9. – с. 62-64.
  35. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Сравнение треугольной и квадратной решеток трубного пучка при продольном обтекании. – Теплоэнергетика. – 1979. - №5. – с. 29-31.
  36. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменнике. – М.: Наука, 1982. – 471 с.

37. Жукаускас А.А., Жюгжда И. Теплоотдача в ламинарном потоке жидкости. – Вильнюс: Минтис, 1969. – 266 с.

**Əliyev M.A., Kərimov A.K.,  
Hüseynov C.M.**

*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universit*

*mustafa.aliyevma@azmiu.edu.az;*  
*universiteseherciyi@gmail.com;*  
*cefer.huseynov.2002@bk.ru*

**İstilik mübadiləsi aparatlarının istilik mübadilə səthlərinin optimallaşdırılması üsullarının tədqiqi**

### **XÜLASƏ**

İstilikmübadilə aparatlarının əsas parametrlərini optimallaşdırmaq üçün elmi tədqiqatların aparılması istehlakçıların istilik təchizatı sistemində enerjiyə qənaət tələbləri ilə bağlıdır. Bu məqsədlər üçün kompüter dəstəkli layihələndirmə sistemindən istifadə bir sıra problemlərin həlli, o cümlədən real proseslərə adekvat olan yeni riyazi modellərin işlənilib hazırlanması, istilik mübadilə cihazlarının və proseslərinin parametrləri üzrə empirik məlumatlarla riyazi modellərin informasiya təminatı ilə bağlıdır.

Problemlərin həlli, əksər hallarda dəqiq riyazi modellərin yaradılması imkanlarını istisna edən kifayət qədər nəzəri və eksperimental məlumatların olmaması ilə çətinləşir. Hazırlanmış etibarlı metodların mürəkkəbliyi binaların hava isitmə sistemlərinin istilikmübadilə aparatlarının əsas parametrlərinin optimallaşdırılmasına sərf olunan zamanı və vəsaitlərin əhəmiyyətli xərclərini müəyyənənləşdirir. Buna görə də, layihələndirmənin ilkin mərhələsində parametrlər və struktur elementlər üçün optimal həllər yollarını aydınlaşdırmaq üçün hesablamaların təhilini aparmağa imkan verən üsullar hazırlanmalıdır.

**Açar sözlər:** *istilik mübadilə aparatı, hava isitmə sistemləri, konvektiv istilik mübadiləsi, laminar rejim, istilik vermə, istilikötürmə, enerji əmsalı, səmərəlilik əmsalı, aerodinamik xarakteristikalar, hava axını, birtərəfli və ikitərəfli axın.*

*ləsi, laminar rejim, istilik vermə, istilikötürmə, enerji əmsalı, səmərəlilik əmsalı, aerodinamik xarakteristikalar, hava axını, birtərəfli və ikitərəfli axın.*

**Алиев М.А., Керимов А.К.,  
Гусейнов Дж.М.**

**Азербайджанский университет архитектуры и строительства**

*mustafa.aliyevma@azmiu.edu.az;*  
*universiteseherciyi@gmail.com;*  
*cefer.huseynov.2002@bk.ru*

**Исследование методов оптимизации теплообменных поверхностей теплообменников**

### **АННОТАЦИЯ**

Проведение научных исследований по оптимизации основных параметров теплообменников связано с требованиями энергосбережения потребителей в системе теплоснабжения. В этих целях использование системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяет решать ряд задач, включая разработку новых математических моделей, адекватных реальным процессам, и предоставление информации для математических моделей эмпирическими данными о параметрах теплообменников и процессов.

Решение задач часто осложняется недостатком достаточных теоретических и экспериментальных данных, что исключает возможность создания точных математических моделей. Сложность разработанных надежных методов определяет значительные временные и финансовые затраты на оптимизацию основных параметров теплообменников систем воздушного отопления зданий. Поэтому на начальном этапе проектирования следует разработать методы, позволяющие анализировать расчеты для уточнения оптимальных решений параметров и конструктивных элементов.

*Ключевые слова: теплообменник, системы воздушного отопления, конвективный теплообмен, ламинарный режим, теплопередача, коэффициент теплопередачи, коэффициент энергии, коэффициент эффективности, аэродинамические характеристики, воздушный поток, односторонний и двусторонний поток.*

**UOT 693**

**Aliyev M.A., Karimov A.K.,  
Huseynov C.M.**

*Azerbaijan University of Architecture and  
Construction*

*mustafa.aliyevma@azmiu.edu.az;  
universiteseherciyi@gmail.com;  
cefer.huseynov.2002@bk.ru*

**Research on methods for optimizing heat  
exchange surfaces of heat exchangers**

**ABSTRACT**

Conducting scientific research to optimize the main parameters of heat exchangers is related to the energy saving requirements of consumers in the heat supply system. For these purposes, the use of a computer-aided

design system is associated with solving a number of problems, including the development of new mathematical models adequate to real processes, and the provision of information to mathematical models with empirical data on the parameters of heat exchangers and processes.

The solution of problems is often complicated by the lack of sufficient theoretical and experimental data, which excludes the possibility of creating accurate mathematical models. The complexity of the developed reliable methods determines the significant costs of time and money spent on optimizing the main parameters of heat exchangers of air heating systems of buildings. Therefore, at the initial stage of design, methods should be developed that allow analyzing calculations to clarify the optimal solutions for parameters and structural elements.

**Key words:** *heat exchanger, air heating systems, convective heat exchange, laminar mode, heat transfer, energy coefficient, efficiency coefficient, aerodynamic characteristics, air flow, one-way and two-way flow.*

*AzMIU-nun "Mühəndis sistemləri və qurğularının tikintisi" kafedrasının dosenti  
R.T. İsmayilov rəy vermişdir.*

**Redaksiyaya daxil olma/Received 12.02.2026**

**Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 13.03.2026**