

BINALARIN HAVA İSİTMƏ SİSTEMLƏRİNDƏ İSTİLİK MÜBADİLƏ APARATLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN OPTİMALLIQ MEYARLARININ SEÇİLMƏSİ

Binaların hava isitmə sistemlərinin istilik mübadilə aparatlarının təkmilləşdirilməsi üçün optimallıq meyarlarının seçilməsi günümüzün aktual məsələlərindən biridir. Müəyyən bir həllin səmərəliliyi keyfiyyət meyarı və ya bir sıra tələblərin qoyulması ilə həllin optimallığı meyarından istifadə etməklə qiymətləndirilir [1,2,3].

Optimallıq meyarı unikal olmalı, aydın fiziki məna daşmalı, məqsədə nail olmaq baxımından kəmiyyətə təsirli olmalıdır. Bu tələblər toplusu konkret şərait üçün optimallıq meyarının seçilməsinin kifayət qədər mürəkkəb məsələ olmasına gətirib çıxarır. Qeyd etmək lazımdır ki, optimallıq meyarları sadə və mürəkkəb olmaqla iki yerə bölünür.

- Birincisi heç bir məhdudiyət və ya şərt olmadan bir kəmiyyətin ekstremumuna uyğun gəlir.
- İkincisi bəzi məhdudiyətlər və ya şərtləri nəzərə almaqla həmin kəmiyyətin ekstremumuna çatmağı tələb edir.

Texniki həllərin optimallığı üçün ümumi meyar iqtisadi meyardır, yəni çəkilən xərclərin minimuma endirilməsidir, yəni [23]:

$$P = E_n \cdot K + S$$

burada E_n - kapital qoyuluşlarının səmərəliliyinin standart əmsalı, $1/it$; K - kapital xərcləri, manat; S - istismar xərcləridir, manat/il.

Bu meyar ekoloji, sosial və digər aspektlər nəzərə alınmaqla hesablandıqda qəbul edilən qərarın bütün aspektlərini əhatə edir. Lakin, məsələn, istehsal xərclərini kəmiy-

yətlə ifadə etmək mümkün deyil. Bu halda, minimum azaldılmış xərclərin tələbi məhdudiyətlərə və digər tələblərə uyğunluq şərtləri ilə tamamlanan kompleks optimallıq meyarından istifadə etmək lazımdır.

Y.V. Troyankin optimallıq meyarını müəyyən etmək üçün aşağıdakı yanaşmadan istifadə etməyi təklif edir: ilkin təhlil aparılır, nəticədə ən yaxşı həlli əldə etmək üçün arzu olunan bir neçə göstəricidən ($i=1, 2, \dots, m$) əsası seçilir və ekstremumu meyar kimi qəbul edilir, rəqabət göstərən qalan meyarlar isə $K_j < A$ məhdudiyətlər bölməsinə köçürülür, burada A K_j göstəricisinin icazə verilən ən pis qiymətidir [4].

Optimallıq meyarını müəyyən etmək üçün belə bir proseduru həyata keçirmək mümkün deyilsə, başqa bir yanaşma tətbiq oluna bilər. K -nın qiyməti üçün müəyyən edilmiş bütün məhdudiyətlər toplusu, ümumiləşdirilmiş optimallıq meyarı aşağıdakı formada müəyyən edilir:

$$K = \sum \frac{\beta_i \cdot K_j}{A}, \quad (1)$$

burada β_i - müvafiq i -ci göstəricinin əhəmiyyətini qiymətləndirən çəki əmsalındır; K_j – optimallıq meyarıdır; A – optimallıq meyarlarının sayıdır.

Ümumiləşdirilmiş optimallıq meyarı digər üsullarla da əldə edilə bilər, məsələn, Harinqton funksiyasına əsaslanaraq [4]. Optimallıq meyarı kəmiyyətə müəyyən ediləməli, konkret tələblər dəqiq nəzərə alınmalı və

ümumi iqtisadi meyara uyğun gələn optimala yaxın həll yolu müəyyən edilməlidir.

İstilik mübadilə aparatlarının hazırlanması zamanı və çox kriteriyalı bir məsələnin optimal həllini axtararkən, müəyyən məhdudiyyətlər daxilində bir sıra kəmiyyətlər - optimallaşdırma parametrləri olan idarəedici parametrlər müəyyən yol verilə bilən hədd daxilində dəyişməlidir. Bu parametrlərə, məsələn, suyun temperaturu, ətraf havanın temperaturu, suyun və havanın axın sürəti və s. daxildir.

Baxılan məsələnin qoyuluşunda digər kəmiyyətlər özbaşına dəyişə bilməz, həmin kəmiyyətlər verilir və idarə olunmayan parametrlərə aid edilir. Onlar sabitdir və istilik mübadilə aparatının parametrlərini optimallaşdırarkən nəzərə alınır. Optimallaşdırma parametrlərinin effektiv seçilməsi konstruksiyanı tam ifadə etməli, bütövlükdə sistemin vəziyyətini təsvir etməlidir və parametrlərin özləri bir-birindən asılı olmamalıdır.

Optimallıq meyarı və parametrləri seçilərkən optimallaşdırma parametrlərindən və sabitlərindən riyazi asılı olan məqsəd funksiyası formalaşır [20, 21].

$$K=F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n; c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_p)$$

burada x_n – müəyyən intervalda dəyişən idarə olunan parametrlərin oblastıdır; c_p – baxılan məsələdə idarə olunmayan sabit parametrlər oblastıdır.

İdarə olunan parametrlərə məhdudiyyətlər qoyulur, hansı ki, bu məhdudiyyət tətbiq sahəsini təyin edir. Optimallaşdırılan obyektin alınan riyazi təsvirinə aşağıdakılar daxildir:

- hədəf funksiyası;
- optimallaşdırma parametrlərinə qoyulan məhdudiyyətlər;
- birmənalılıq şərtləri - idarə olunmayan parametrlərin ədədi qiymətləri.

Riyazi təsvir müxtəlif üsullardan istifadə etməklə parametrlərin optimal qiymətini axtarmağa imkan verir. Optimallaşdırma məsələlərinin həlli üsullarından biri qoşma gradient üsuludur. Məqsəd funksiyası diferensiallanarsa, o zaman analitik və ya ədədi üsul-

lardan, digər hallarda isə yalnız ədədi üsullardan istifadə olunur. İstilik mübadilə aparatlarının təkmilləşdirilməsi üçün praktikada rast gəlinən əsas optimallıq meyarlarını nəzərdən keçirək.

1. Konstruktiv meyarlar [5, 6, 7]. İstilik ötürən səthin sahəsi F – istilik mübadilə aparatının konstruksiyasını təyin edən parametrdir. Bu parametri optimallıq meyarı kimi tətbiq edərkən belə bir məsələ qoyulur: verilən hidravlik müqavimət səviyyəsində istilik ötürən səthin sahəsinin minimum qiymətinin təyin edilməsi. Bəzən hidravlik müqavimət məhdudiyyətləri əvəzinə sürət məhdudiyyətləri tətbiq olunur.

Başqa bir meyar istilik mübadilə aparatının kütləsinə görə optimallaşdırılmasıdır - M_q . Bu meyar, eləcə də istilik ötürmə səthinin sahəsi F , birtərəflidir, çünki istilik mübadilə aparatının səmərəliliyi nəzərə alınmır.

M_q meyarına görə hesablamaların istiqaməti F ilə hesablamaya bənzəyir, lakin səthin yığılmasında metaldan daha qənaətlə istifadə prinsiplərinə əməl olunur. Məhdud bir məkanda səthin yığılmasını təşkil etmək lazımdırsa, istilik mübadilə aparatının qabarit ölçüləri optimallıq meyarı kimi istifadə edilə bilər.

2. Termodinamik meyarlar [8, 9, 10, 24]. İstilik mübadiləsi prosesini təsvir etmək üçün termodinamik meyarlardan biri, istilik saxlama əmsalıdır. Bu əmsal aşağı potensiallı istilik daşıyıcısının ($Q_{a,p}$) qəbul edilmiş istilik miqdarının yüksək potensiallı istilik daşıyıcısının ($Q_{y,p}$) verdiyi istilik miqdarına olan nisbəti kimi təyin edilir. Buna görə də, istilik saxlama əmsalının qiyməti istilik izolyasiyasının keyfiyyət xarakteristikası kimi qəbul edilə bilər.

Digər meyar faydalı iş əmsalı (F/Θ) ola bilər. Faydalı iş əmsalı ötürülən istiliyin mümkün olan maksimum (tempereaturlar fərqlinin və ətraf mütitə itirilən istiliyin minimuma endirilməsi zaman alınan istilik) istiliyə olan nisbəti kimi təyin olunur. Ancaq bu meyarlar isitmə sisteminin konstruksiyasının üstünlüklərini göstərmir, yalnız bu prosesdə nəzəri cəhətdən mümkün olan istilik po-

tensialının həyata keçirilməsinin tamlığını xarakterizə edir.

Termodinamik meyarlardan ən əlverişli olanı həm istilik mübadiləsini, həm də axınının hidrodinamikasını nəzərə alan xarakteristikalarıdır. Məsələn, optimallıq meyarı kimi istilik ötürmə əmsalının hidravlik müqavimətə nisbətinin ən aşağı olan qiyməti seçilmişdir. Belə meyarın mənfi cəhəti istilik ötürmə səthinin yalnız bir tərəfinin keyfiyyətini nəzərə almasıdır [11,12].

V.A. Kirpiçev tərəfindən meyar kimi istiliyin iki növ enerjisinin nisbətindən istifadə üsulu təklif edilmişdir [23]: qızma səthindən ötürülən istiliyin enerjisi və axının hərəkətinə qarşı müqavimətin aşılmasına sərf olunan enerji.

$$K = Q / N \quad (2)$$

burada Q istilik axınıdır; N hidravlik müqaviməti aradan qaldırmaq üçün sərf olunan gücdür.

Sonralar bu meyar İ.S. Antufyev tərəfindən müqayisə edilən səthlərin ölçü və kütlə xarakteristikaları ilə tamamlandı [24]. Lakin bu meyarın əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, optimal variant kimi hidravlik müqaviməti aradan qaldırmaq üçün çəkilən minimum xərclər, və deməli buna görə də mümkün minimum axın sürətləri və nəticədə istilik mübadilə aparatının maksimum ölçüləri olacaqdır.

İstilik mübadilə aparatının səmərəliliyi keyfiyyət meyarına və ya optimallıq meyarına əsasən qiymətləndirilir. Xüsusi şərtlər üçün optimallıq meyarının tapılması kifayət qədər mürəkkəb kompleks bir məsələdir.

İstilik mübadilə aparatlarının parametrlərini optimallaşdırmaq üçün B.M. Xrustalev aşağıdakı optimallıq meyarından - səmərəlilik əmsalından ($S\Theta$) istifadə etməyi təklif edir [4].

$$S\Theta = \frac{K_e \cdot \sum_{i=1}^n F_{fakt}}{\sum_{i=1}^n F_{qur}} = \frac{(1.15 \div 1.2) \cdot \sum_{i=1}^n F_{fakt}}{\sum_{i=1}^n F_{qur}} \quad (3)$$

burada $\sum_{i=1}^n F_{fakt}$ - istilik mübadilə aparatlarının istilik ötürmə səthinin faktiki tələb olunan sahəsi, m^2 ; $\sum_{i=1}^n F_{qur}$ - istilik mübadilə aparatının istilik ötürmə səthinin quraşdırılmış sahəsi, m^2 ; K_e - istilik mübadilə səthinin ehtiyat əmsalıdır.

İstilik mübadilə aparatını optimallaşdırarkən, səmərəlilik əmsalının qiyməti vahidə yaxınlaşmalıdır, beləliklə:

$$S\Theta \rightarrow 1, \text{ nə vaxt } \sum_{i=1}^n F_{fakt} \rightarrow \sum_{i=1}^n F_{qur} \quad (4)$$

İstilik mübadilə aparatının hazırlanmasında səmərəlilik əmsalının istifadəsi təkcə termodinamik xüsusiyyətləri deyil, həm də ötürülən istilik miqdarı (istilik axını), axın sürətləri, istilik mübadiləsi səthinin çirklənmə əmsalı və istilik mübadilə aparatının dizayn xüsusiyyətlərini də almağa imkan verir.

Səmərəlilik əmsalı istilik mübadilə aparatının səthinin nə qədər səmərəli istifadə edildiyini göstərir. İstilik mübadilə səthindən səmərəsiz istifadə istilik mübadilə aparatının metal sərfiyyatının artmasına və buna görə də həddindən artıq kapital və amortizasiya xərclərinə səbəb olur [13, 14].

İstilik mübadilə aparatlarının əsas xarakteristikaları, məsələn, istilik ötürməsi, istilik mübadilə sahəsi, metal tutumu və cihazın qiyməti qabırğaların ölçüsündən asılıdır, buna görə də qabırğanın optimal hündürlüyü əsasən qurğunun təkmilləşdirilməsini təyin edir.

İstilik mübadilə aparatlarının qabırğasının parametrlərinin optimallığını qiymətləndirmək üçün Bessel tərəfindən hazırlanmış səmərəlilik göstəricisindən istifadə etmək təklif olunur [4]:

$$\eta = \frac{2r_0}{m((r'_0)^2 - (r_0)^2)} \times \left[\frac{J_1(mr'_0)K_1(mr_0) - K_1(mr'_0)J_1(mr_0)}{J_0(mr_0)K_1(mr'_0) + J_1(mr'_0)K_0(mr_0)} \right] \quad (5)$$

burada m -ölçüsüz ədəddir; $m=2\alpha/\lambda\delta_0$; r_0 - daşıyıcı borunun radiusu, m ; r'_0 - qabırğanın radiusu, m ; J_1 , K_1 , J_0 , K_0 - modullaşdırılmış Bessel funksiyalarıdır.

Bu göstərici istilik mübadilə aparatının hazırlanmış qabırğalı qanadının optimal ölçüsünün səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün işdə istifadə olunur.

Aparılan araşdırmalar belə qənaətə gəlməyə imkan verir ki, istilik mübadiləsi prosesləri istilik mübadilə aparatlarının parametrlərinin optimallaşdırılması problemlərinin həlli baxımından kifayət qədər geniş şəkildə öyrənilmişdir. İstilik mübadiləsi prosesini yaxşılaşdırmaq üçün çox sayda optimallıq meyarları var, lakin bu məsələ praktiki tərəfdən kifayət qədər tədqiq olunmamışdır. İstilik mübadiləsi proseslərinin vizuallaşdırılmasından istifadə etməklə yeni tədqiqat metodlarını, yəni il ərzində istilik mübadilə aparatının səthində temperatur paylanması ətraf mühitin temperaturundan asılılığının ümumiləşdirilmiş funksiyasını əldə etməyə imkan verən kompleks üsullar hazırlamaq lazım gəlir [15, 16, 17, 18, 19, 22].

NƏTİCƏLƏR

- İstilik mübadilə aparatının optimal parametrlərini və onun tərkibindəki konstruksiya və texnoloji elementlər arasında əlaqəni qurmaq üçün çoxkriteriyalı və çoxparametrlı riyazi modellər əsasında istilik mübadilə prosesinin parametrlərinin optimallaşdırılması üçün kompleks metodlardan istifadə etməklə nəzəri tədqiqatlar aparılmışdır.
- Binaların hava isitmə sistemlərində istilik mübadilə aparatlarının istismarının səmərəliliyini, effektivliyini və parametrlərinin optimallığını qiymətləndirmək üçün mövcud olan meyarların analizi aparılmışdır.
- İstilik mübadilə aparatlarının parametrlərinin optimallaşdırılmasının və qabırğalı qanadların ölçülərinin optimallığını qiymətləndirmək üçün mövcud olan meyarların öyrənilməsi əsasında Bessel tərə-

findən hazırlanmış səmərəlilik göstəricisindən istifadə edilməsi təklif olunur.

ƏDƏBİYYAT

- Ahmed T. Al-Sammaraie & Kambiz Vafai. ["Heat transfer augmentation through convergence angles in a pipe, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 72:3, 197-214,"](https://doi.org/10.1080/10919130701418197).www.tandfonline.com. 2017. tarixində arxivləşdirilib. İstifadə tarixi: 21.07.2020.
- Каçак, Садик; Liu, Hongtan. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design. (2nd ed.). CRC Press. 2002. ISBN ISBN 978-0-8493-0902-1.
- Мүрşüdü, Ç.С.; Мəммədov, Q.Ə. İstilik aparatları. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaə Universiteti. 2018.
- Троянкин Ю.В., Хрусталеv Б.М. Тепло – и массообмен / - Минск, 2007
- Рисович А.И. Оптимальная компоновка поверхности нагрева из круглых труб // Теплоэнергетика. – 1962. - №2. – с. 32-39.
- Саликов А.П., Тулин С.Н. Методика сравнения пучков труб с проволочным оребрением // Энергомашиностроение. – 1959. - №11. – с. 20-21.
- Юдин В.Ф. Методика сравнительной оценки конвективных поверхностей нагрева // Энергомашиностроение. – 1969. - №5. – с. 31-34.
- Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации – М.: Энергия, 1977. – 233 с.
- Красникова О.Х., Попов О.М., Удут В.И. Новые конструкции эффективных витых трубчатых теплообменников // Нефтегазовые технологии. – 1998. -№5 - 6. – с. 10.
- Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Л.:Машгиз, 1962. – 456 с.
- Кирпиков В.А., Орлов В.К., Приходько В.Ф. Создание компактной поверхности теплообмена на основе идеи внесения в поток неоднородностей давления. // Теплоэнергетика. – 1977. - №4. – с. 29-33.

12. Юдин В.Ф., Тахтарова П.С. Влияния теплопроводности ребер и теплоносителя на теплоотдачу пучков ребристых труб при поперечном смывании. //Теплоэнергетика. -1971. - №9. - с. 66.
13. Митенков Ф., Камышев Б. Новые типы компактных пластинчатых теплообменников // Нефтегазовые технологии. – 1998. - №11. – с. 12-14.
14. Амиров Р.Я., Уракаев И.М., и др. Технические системы. – Уфа, Гилем, 2001, - 600 с.
15. Мелехин А.А. Разработка научно-обоснованных методических рекомендаций по улучшению теплогидравлических параметров работы блоков обратного водоснабжения на основе натурных испытаний и технологических обследований. ПГТУ- №2009/209, - 210 с.
16. Мелехин А.А. Совершенствование систем обратного водоснабжения методом многокритериальной оптимизации // Междунар. Прак. Конф. «Чистая вода 2009». Кемерово, Изд. КемТИПП, 2009, -509 с.
17. Мелехин А.А. Совершенствование систем обратного водоснабжения нефтеперерабатывающих предприятий // Сб. статей IX Межд. Науч.-прак. Конф. «Состояние биосферы и здоровье людей». Пенза: Изд. ПГСХА, 2009. –176 с.
18. Мелехин А.А., Рымаров А.Г. Оптимизации параметров элементов систем охлаждения технологических установок // Естественные и технические науки. – 2010. - №4 (46).
19. Melechin A.A. The method of complex perfection of heat exchangers //International Journal Computational Structural Engineering. –М.: 2008. –Volş 4, is.2. - 134 s.
20. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 534 с.
21. Klenke W. Brennst // Wärme – Kraft. - 1966. – S. 18-97/
22. 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.
23. Кирпичев М.В. Михеев М.А. Моделирование тепловых устройств. –М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 320 с.
24. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей. – М.: Энергия, 1966. – 233 с.
25. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменнике. – М.: Наука, 1982. – 471 с.

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

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

mustafa.aliyev@mail.ru;
universitetseherciyi@gmail.com;
cefer.huseynov.2002@bk.ru

**Binaların hava isitmə sistemlərində
istilik mübadilə aparatlarının
təkmilləşdirilməsi üçün optimallıq
meyarlarının seçilməsi**

XÜLASƏ

İstilik mübadiləsi aparatını mürəkkəb texniki sistem kimi öyrənmək üçün istilik sahələrinin vizuallaşdırılması əsasında istilik mübadiləsi prosesinin parametrlərinin optimallaşdırılması ilə yeni riyazi modelləşdirmə üsullarından istifadə edilmişdir. Hazırlanmış kompleks tədqiqat metodu hava isitmə sistemlərinin istilik mübadiləsi aparatının parametrlərinin optimallaşdırılması bu problemləri həll etməyə imkan verir.

Təkmilləşdirilmiş riyazi modellər əsasında hesablamaları təmin edən tədqiqatların nəticələri real proseslər haqqında ilkin məlumatların etibarlı mənbələri kimi istifadə olunur. Parametrlərin və konstruktiv elementlərin optimallaşdırılması nəticəsində istilikmübadilə aparatını təkmilləşdirilməsi is-

tilik vizual təsvir əsasında alınmış ümumiləşdirilmiş asılılıqların tətbiqi ilə çoxkriteriyalı optimallaşdırma məsələlərinin həllinə əsaslanır. Binaların hava isitmə sistemləri yüksək xərclər tələb edən sistemdir, buna görə də onların səmərəliliyinin artırılması problemi aktualdır.

Açar sözlər: *hava isitmə sistemləri, istilik mübadilə aparatı, çoxkriteriyalı və çoxparametrlı riyazi modellər, hidravlik müqavimət, keyfiyyət və optimallaşdırma meyarları, hədəf funksiyası, konstruktiv və termodinamik meyarlar, istilikötürmə, istilik keçirmə, istilik ötürən səth.*

**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*

**Выбор критериев оптимальности
для улучшения теплообменников
в системах воздушного отопления
зданий**

АННОТАЦИЯ

Для изучения теплообменного аппарата как сложной технической системы были использованы новые методы математического моделирования с оптимизацией параметров процесса теплообмена на основе визуализации тепловых полей. Разработанный комплексный метод исследования позволяет решать задачи оптимизации параметров теплообменного аппарата систем воздушного отопления.

Результаты исследований, включающие расчеты, основанные на усовершенствованных математических моделях, используются в качестве надежных источников первичных данных о реальных процессах. Усовершенствование теплообменника в результате оптимизации пара-

метров и конструктивных элементов основано на решении многокритериальных задач оптимизации с применением обобщенных зависимостей, полученных на основе тепловизионных изображений. Системы воздушного отопления зданий – это системы, требующие высоких затрат, поэтому проблема повышения их эффективности актуальна.

Ключевые слова: *системы воздушного отопления, теплообменник, многокритериальные и многопараметрические математические модели, гидравлическое сопротивление, критерии качества и оптимизации, целевая функция, конструктивные и термодинамические критерии, теплопередача, теплопроводность, поверхность теплопередачи.*

**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*

**Selection of optimality criteria for
the improvement of heat exchangers
in air heating systems of buildings**

ABSTRACT

To study the heat exchange apparatus as a complex technical system, new mathematical modeling methods were used with optimization of the parameters of the heat exchange process based on the visualization of thermal fields. The developed complex research method allows solving these problems of optimization of the parameters of the heat exchange apparatus of air heating systems.

The results of research, which provide calculations based on improved mathematical models, are used as reliable sources of primary data on real processes. The improvement of the heat exchanger as a result of op-

timization of parameters and structural elements is based on the solution of multi-criteria optimization problems with the application of generalized dependencies obtained on the basis of thermal visual images. Air heating systems of buildings are systems that require high costs, therefore the problem of increasing their efficiency is relevant.

Keywords: *air heating systems, heat exchanger, multi-criteria and multi-paramete-*

ter mathematical models, hydraulic resistance, quality and optimization criteria, objective function, constructive and thermodynamic criteria, heat transfer, heat conduction, heat transfer surface.

*Məqaləyə AzMIU-nun
"Mexanika" kafedrasının dosenti,
t.e.n. Ş.H. İbrahimov rəy vermişdir.*

Redaksiyaya daxil olma/Received 11.02.2026

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 12.03.2026