

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.28.11.T.02.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

DADABOYEV QOBILBEK QOSIMJON O‘G‘LI

**BUG‘-GAZ QURILMASI GRADIRNYALARIDAGI AYLANMA
SUV YO‘QOTILISHINI KAMAYTIRISH**

05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Dadaboyev Qobilbek Qosimjon o'g'li Bug'-gaz qurilmasi gradirnyalaridagi aylanma suv yo'qotilishini kamaytirish.....	3
Дадабоев Қобилбек Қосимжон ўғли Снижение потерь циркуляционной воды в градирнях парогазовой установки.....	21
Dadaboyev Qobilbek Qosimjon ogli Reducing the waste of circulating water in the cooling towers of a steam-gas plant.....	41
E'lon qilingan ishlar ro'uxati Список опубликованных работ List of published works	45

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.28.11.T.02.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

DADABOYEV QOBILBEK QOSIMJON O‘G‘LI

**BUG‘-GAZ QURILMASI GRADIRNYALARIDAGI AYLANMA
SUV YO‘QOTILISHINI KAMAYTIRISH**

05.05.04 – Sanoat issiqlik energetikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi qoshidagi Oliy attestatsiya komissiyasida № B2023.3.PhD/T3946 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tdttu.uz) va "ZiyoNet" Axborot-ta'lim portalida (www.ziyounet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: Yunusov Baxtiyar Xadjakbarovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar: Qlichev Shavkat Isakovich
texnika fanlari doktori, professor

Isaxodjayev Xayrulla Sunnatillayevich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),
dotsent

Yetakchi tashkilot: "Issiqlik elektr loyiha" AJ

Dissertatsiya himoyasi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/2025.28.11.T.02.01 raqamli ilmiy kengashning 2026 yil "19" 05 soat 10:30 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent sh., Universitet ko'chasi, 2-uy. Tel/faks:(99871) 207-07-37; faks: (99871) 207-14-62; e-mail: tstu_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining Axborot- - resurs markazida tanishish mumkin (102 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent sh., Universitet ko'chasi, 2-uy. Tel.: (99871) 207-07-37.

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil "2" 05 kuni tarqatildi.
(2026 yil "1" 05 dagi 5 raqamli reestr bayonnomasi).



K.R. Allayev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
Texnika fanlari doktori, professor,
akademik

N.N. Niyozov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
PhD, dotsent

Yo.S. Abbasov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda global iqlim o'zgarishini, chuchuk suv taqchilligi muammosini hisobga olgan holda sanoat korxonalari va boshqa tarmoqlarda suv bilan ishlovchi zavod-fabrikalarda suv tejovchi qurilmalarga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu boisdan dunyo olimlari energiya tejash va suv yo'qotilishini kamaytirish masalalariga alohida ahamiyat bermoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda bunday texnologiyalar ustida ko'plab izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada, jumladan mana shu bug'lanayotgan miqdor sovutilayotgan suvning 2 % ini tashkil qiladi. Aynan shu sababli so'nggi yillarda stansiyalardagi suv yo'qotilishini kamaytirishga qaratilgan qurilmalar ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda suv resurslaridan oqilona foydalanish uchun suv tejash usullari ham rivojlanib suv tejash imkonini beruvchi usullar, vositalar va algoritmlarni ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, IESlarining suv sovituvchi minoralaridagi aylanma suv yo'qotilishini kamaytirish uchun olimlar tomonidan turli usullarda izlanishlar olib borilmoqda. Masalan suv tarkibidagi tuzlar va cho'kindilarni tozlash orqali chiqindiga chiqarib yuboriladigan suv miqdorini kamaytirish orqali suvga bo'lgan ehtiyojni kamaytirish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, bug'lanib ketayotgan suv miqdorini kamaytirish uchun ham izlanishlar olib borilgan. Shunday bo'lsa-da hali ham sayyoramizda chuchuk suv tanqisligi muammosi hali ham mavjud.¹ Shuning uchun bu sohalardagi yangi ishlanmalar va ixtirolarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanmoqda.

Respublikamizda iqtisodiyot tarmoqlari kesimida energiya sig'imdorligini 2030 - yilga qadar bir yarim barobarga kamaytirish maqsadida yangi texnologik yechimlarni yaratish va takomillashtirish hamda joriy etishga doir keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha soxalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 %ga oshirish"² bo'yicha vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, suv resurslaridan samarali foydalanish hisobiga kamida 7 milliard kub metr suvni iqtisod qilish, suv xo'jaligi obyektlarida elektr energiyasi iste'molini kamaytirish, suv xo'jaligi obyektlarini davlat-xususiy sheriklik tamoyillari asosida boshqarish kabi masalalarni yechishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2024 yil 7 avgustdagi O'RQ-940-sonli "Energiyani tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to'g'risida"gi

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining O'zbekiston Respublikasida suv resurslarini boshqarish va irrigatsiya sektorini rivojlantirishning 2021-2023 yillarga mo'ljallangan strategiyasini tasdiqlash to'g'risida PQ-5005-son [qarori](https://lex.uz/docs/-5307918) 2021 yil 24 fevral. <https://lex.uz/docs/-5307918>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Energiya tejoychi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” 2022 yil 9 sentyabrdagi PF – 220 – sonli farmoni va qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II “Energetika, energo tejamkorlik va muqobil energiya manbalari” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Texnik suv sovutish gradirnyalaridan nafaqat IESlarda balki sanoat, ishlab chiqarish sohalarida ham keng qo‘llanilmoqda. Shu sababdan texnik suv sovutish gradirnyalarini takomillashtirish va keng ko‘lamda joriy etishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari, jumladan Rossiya issiqlik muhandisligi instituti, Rossiya suv ta‘minoti ilmiy tadqiqot instituti, Qozog‘iston energetika ilmiy tadqiqot instituti, Rossiya energetika instituti, Toshkent davlat texnika universiteti va boshqalarda amalga oshirilmoqda.

Suv tejoychi qurilmalarni tadqiq etish va yangi ishlanmalarni yaratish kabi masalarni hal qilishda bir qator taniqli xorijiy olimlar hissa qo‘shganlar, jumladan A.F. Valodin, V.S. Panamarenko, Y.I. Arefiyev, V.B. Andrianov, L.D. Berman, A.G. Laptev, R.I.Nigmatullin va boshqalar.

IESlarida suv yo‘qotilishi va gradirnya samaradorligini oshirish kabi ilmiy muammolarni hal qilishga O‘zbekistonning taniqli olimlarini ilmiy ishlari bag‘ishlangan. Bulardan, N.R. Yusufbekov, J.N. Muhiddinov, S.M. Turabdjano, Q.M. Murtazayev. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida gradirnya samaradorligini oshirish masalalarini yechishda salmoqli natijalarga erishildi.

Sezilarli muvaqqiyatlarga qaramay, gradirnyalarda suv yo‘qotilishi bilan bog‘liq ilmiy muammolar yetarli o‘rganilmagan. Mazkur dissertatsiya ishida gradirnyadagi suv yo‘qotilishini kamaytirish uchun yo‘qotilayotgan suv bug‘ini kondensatslash usuli va algoritimi taklif etilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq, “Atom elektr stansiyalari va issiqlik energetikasi” kafedrasining “Sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi va yoqilg‘idan foydalanishda samaradorlikni oshirish” mavzusida olib borilayotgan ilmiy tadqiqot yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi bug‘-gaz qurilmasi gradirnyalaridagi aylanma suv yo‘qotilishini aylanma suv bug‘ini kondensatslash orqali kamaytirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

bug‘ gaz qurilmali IESlarda suvni qayta ishlash tizimlari va gradirnya samaradorligini oshirish bo‘yicha ishlarning holatini ilmiy-texnik tahlil qilish;

IESlardagi kondensatsiyalanish jarayonlarida sovutish agentlaridan foydalanib, qurilmaning tajribaviy namunasini ishlab chiqish;

suv bug'ini kondensatlash qurilmasini geometrik va dinamik parametrlarini matematik modellashtirish;

suv bug'ini kondensatlash qurilmasi bo'yicha tajriba-sinov o'tkazish va texnik iqtisodiy samaradorligini aniqlash.

Tadqiqotning obyekti sifatida bug'-gaz qurilmali IESlarini suv sovutish gradirnyasi olingan.

Tadqiqotning predmeti suv sovutish gradirnyasida bug'lanayotgan suvni kondensatlash usuli orqali yo'qotilishni kamaytirish, shuningdek uni texnik takomillashtirish va iqlim sharoitlariga moslashtirish tamoyillari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida matematik hisoblashlar uchun Merkelli usuli va tajribada kuzatish, o'lchash, qiyosiy tahlil qilish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

havo ventilyatorli gradirnyalarda suv yo'qotilishini kamaytirish imkonini beruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi qovurg'alanish qonuni asosida qovurg'alanish koeffitsiyentining $\psi = 9$ ekanligini inobatga olib takomillashtirilgan;

Merkel-Lyuis tenglamasi asosida havo ventilyatorli gradirnyalarda suv bug'ini kondensatlashning balandlik bo'yicha energiya o'zgarishini ifodalovchi va kondensatsiya oqimini hisobga oluvchi ($\kappa > 0$) kondensatsiyalanish koeffitsiyentini samarali hisoblash usuli ishlab chiqilgan;

issiqlik almashinuv qurilmasida issiqlik va massa oqimlarining taqsimlanish dinamikasi asosida maksimal kondensat va minimal gidravlik qarshilik yuzasini aniqlashning matematik modeli energiya va entalpiya o'zgarishini hisobga olib takomillashtirilgan;

harorat ta'sirida moddaning agregat holatini o'zgarish qonuni asosida bug'-gaz qurilmasi minimal gidravlik qarshilik talabini hisobga olib suv bug'ini kondensatlanishining samarali rejimi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijasi quyidagilardan iborat:

suv sovutish quvvati $35\ 000\ m^3/h$ bo'lgan gradirnyada yo'qotilayotgan $600\ m^3/h$ suv bug'ini $16\ ^\circ C$ suvli issiqlik almashinuv qurilmasida kondensatlash usuli orqali $10\ \%$ ga kamaytirish ya'ni soatiga $60\ m^3/h$ suv tejab qolish.

Zamonaviy IESlardagi sovutuvchi minorada texnik suv yo'qotilishini kamaytirishning dasturiy ta'minoti (№ DGU 13044, 16.11.2021 y.) ishlab chiqib tavsiya qilindi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi natijalar yuqori aniqlikdagi o'lchov vositalari yordamida olinganligi, ko'p marta o'lchanganligi, shuningdek, ishlab chiqarishga joriy etish orqali asoslanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati suv sovutish minorasida isrof bo'layotgan suvni kondensatlash orqali kamaytirish va stansiyaning yangi suvga bo'lgan ehtiyojini minimallashtirish jarayonini matematik modellashtirishning yangi yondashuvi taklif etilganligi, shuningdek gradirnyaga o'rnatiladigan bug'ni kondensatlovchi IAQga xizmat ko'rsatish tamoyillari shakllantirilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati stansiya gradirnyasida mavjud infratuzilmani o'zgartirmasdan stansiya suv yo'qotilish muammosini samarali yechimini qo'llash mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Bug'-gaz qurilmasi gradirnyalaridagi aylanma suv isrofini kamaytiruvchi qurilmani takomillashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

gradirnyadagi aylanma suv isrofini kamaytiruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi To'raqo'g'on IES ga joriy qilingan. ("Issiqlik elektr stansiyalari" AJning 2025 yil 10 oktabrdagi № 02-1711-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, gradirnyadagi aylanma suv yo'qotilishini kamaytirish hisobiga yiliga 525 600 m³ aylanma suvni tejab kutilayotgan iqtisodiy samara 756 864 000 so'm foyda olish imkoniyati yaratilgan;

maksimal kondensat va minimal gidravlik qarshilik yuzasini aniqlovchi matematik model IES gradirnyasiga joriy qilingan ("Issiqlik elektr stansiyalari" AJning 2025 yil 10 oktabrdagi № 02-1711-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, suv bug'ini kondensatsiyalash hisobiga 10 % ga suv yo'qotilishini tejash va bu orqali iqtisodiy samaradorlikka erishish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 1 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 16 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, 1 ta foydali model uchun patent topshirilgan va mohiyatan ekspertiza jarayonida. O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarining chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqolalar, jumladan 4 ta respublika va 3 ta chet el ilmiy jurnallarida hamda 1 ta Scopus bazasiga kiruvchi to'plamlarda nashr etilgan, 1 ta EHM uchun dasturga guvohnoma olingan.

Dissertatsiya hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 107 betdan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obykti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning ilmiy-amaliy ahamiyati va ishonchliligi yoritilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etilganligi, ishning aprobatsiya natijalari, e'lon qilingan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

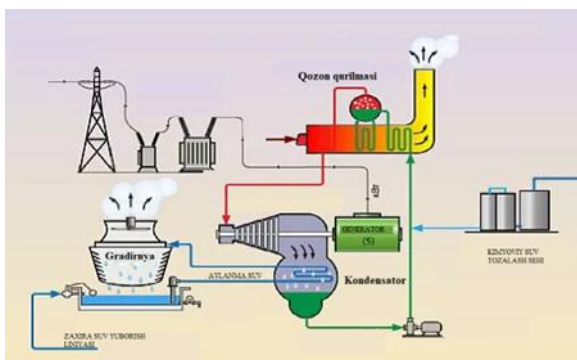
Dissertatsiyaning "**Adabiyotlar, ilmiy ishlar tahlili va muammoni o'rganish, shakllantirish**" nomli birinchi bobida IESlarda suvni sovutish texnologiyasi, sovutish qurilmalarida suyuqlik va gazlarning gidro-aerodinamikasi, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari, bug' – gaz qurilmali IESlarning gradirnyalarining samaradorligini oshirish bo'yicha qilingan ishlarning holati ko'rib chiqilgan. Respublikamizda suvdan foydalanish statistikasi alohida ko'rib chiqildi. Mavjud texnologiyalarning tahlili shuni ko'rsatadiki (suv tutuvchi,

kondensatlovchi, havo bilan sovituvchi) qurilma va texnologiyalar sezilarli kamchiliklar va cheklovlar (ko‘p energiya talabi, samaradorlikning pastligi, aniq ishlab chiqarish korxonasida sinalmaganligi)ga ega. Shuning uchun ushbu kamchiliklar asosida tadqiqot maqsadi va vazifalari belgilangan.

Dissertatsiyaning **“Bug‘-gaz qurilmali IESlari gradirnyasini suv yo‘qotilishini o‘rganish va tahlil qilish”** nomli ikkinchi bobida To‘raqo‘rg‘on IES gradirnyasida suv tozalash tizimi, texnik aylanma suvdan foydalanish, gradirnya tuzilishi ko‘rib chiqilgan va suvni tejashda asosiy mezonlar aniqlangan. To‘raqo‘rg‘on IES suv tozalash tizimi stansiya uchun ikki turdagi suvni tozalab beradi. Birinchisi qozon qurilmasida suv bug‘i hosil qilish uchun ishchi suv; ikkinchisi esa stansiyaning sovutish uchun sovituvchi aylanma suv. Bu ikki turdagi suv vazifasi va tozalik darajasiga ko‘ra bir – biridan farq qiladi. Gradirnyada sovutiladigan suv bu stansiyaning sovituvchi aylanma suvidir. Stansiya kondensatori, moylash tizimi sovutgichlari va suv bilan sovutiladigan barcha qurilmalarni sovitib, issiq haroratni olib gradirnyaga sovutilish uchun uzatiladi. Aynan mana shu stansiya qurilmalarini sovutish jarayonida qurilmalar, quvurlar va suv bilan ishlovchi detallarning ish jarayoniga salbiy ta‘sir ko‘rsatmasligi uchun aylanma suv doimiy tozalab, tarkibi nazorat qilinadi. Suv tozalash tizimi: IESlarda texnik iste‘mol suvini tayorlash bir muncha murakkab jarayonlarni o‘z ichiga oladi. Chunki texnik suv tarkibida stansiya qurilmalarini korroziya, erroziyaga uchratuvchi ishqoriy moddalar, tuzlar bo‘lmasligi zarur. Shuning uchun suvni avval tozalab kimyoviy ishlov berib tuzsizlantirib, qayta ishlab, so‘ngra foydalanishga beriladi. Bu ishlar birma ketinlik bilan kimyoviy suv tozalash sexida amalga oshiriladi. Stansiya suv nasosidan kelayotgan 400 sm diametrlik liniyalik suvga klapanidan keyin shu suvga 400 sm diametrlik liniyaga kichik quvur orqali solyanka 30 % va gippoxlorid 12 % qo‘shiladi. Gippoxlorid – suvni dezinfeksiya qilish uchun ishlatiladi.

Suv kolkulatsion zonaga kelib quyiladi (400 diametrli liniyadan) kolkulatsion zona 2 ga bo‘lingan bo‘lib har bir zonaning hajmi 13,5 tonnani tashkil etadi. Kolkulatsion zonaga 40 % temir xlorid qo‘shiladi. Temir xlorid-loyqalarni cho‘ktirish uchun ishlatiladi. Temirxlorid qo‘shilgandan so‘ng suv mikser bilan aralashtiriladi 2 ta zonaning har birida bittadan mikser bor. So‘ng, suv flakulyatsion zonaga kelib quyiladi. Bu zona 4 ga bo‘lingan bo‘lib, har biri 70 tonnadan jami 280 tonnadan iborat. Bu zonalarda jami 4 ta mikser bo‘lib, har bir zonaga bittadan xizmat ko‘rsatadi. Flakulyatsion zonaga 5 % li anionli polielektroid qo‘shiladi. Anionli polielektroid shilimshiq kimyoviy birikma bo‘lib, loyqalarni bir – biriga birlashtirish uchun xizmat qiladi. Anionli polielektroid aralashgan suv mikserlar yordamida yaxshilab aralashtiriladi va borib, suv tindirish zonasiga quyiladi. Flakulyatsion zona bilan tindirish zonasi orasida hammasi 6 mertli beton devor betonning paski qismidan keyin 1,5 metr atrofida ochiq joy bor. Flakulyatsion zonadan kelayotgan suv shu beton to‘siqning pastki qismidagi ochiq joyidan beriladi Agar suv beton to‘siqning tepa qismidan berilsa tindirilmagan holda tindirish zonasi orqali rezervarga quyilib, tindirilmagan suv mexanik bak nasoslariga ketib qolishi mumkin shuning uchun flakulyatsion zonadan kelayotgan suv betonli to‘siqning pastki qismidan beriladi. Tindirish zonasi pastki qismida 60°

pastga qaratilgan laminatlarga suv quyiladi. Laminatning vazifasi suv tezligini kamaytiradi, loy laminat tagida yig'iladi. (loy ushlab qolinib, suv yuqoriga ko'tariladi). Suvning tiniqligini oshiradi. Tindirish zonasining hajmi 560 tonnadan iborat. Tindirish zonasining tagida tozalagich (*чкпунмоп*) loyni tozalab suvlarni nasosga yuboradi. Nasos loyni tortib chiqarib tashlaydi. Tindirish zonasida tindirilgan suv 70 tonnali rezeruvarga quyiladi (rezeruvar tagida joylashgan). Mexanik bak-nasoslari bu rezeruvardan tindirilgan suvni (nasoslar 4 ta bittasi zahirada turadi) mexanik bakka jo'natadi. Mexanik baklar soni 6 ta har bir bak soatiga 150 tonna suvni tozalab loyqa va mayda zarrachalardan xalos etadi. Suv mexanik baklarda tozalanib prombakka quyiladi. Prombakka quyiladigan bu suvlar *tindirilgan suv* deyiladi. IESlarda suv asosiy omillardan biri bo'lib, suv deyarli har bir qurilmaning ishchi jarayonida ishtirok etadi. To'raqo'rg'on IES sida aylanma suvdan barcha IESlardagi kabi stansiya qurilmalarini sovutish va kondensatorda bug'ni kondensatlash uchun foydalaniladi. Kondensator bug' turbinasida ishlab chiqqan bug'ni kondensatlab qayta tizimga bug'latish uchun uzatadi (1-rasm). Shu jarayonda bug'ni haroratini pasaytirish vazifasini aylanma suv bajaradi. Standart 16 °C li suv kondensator trupkalariga uzatilganda turbinadan chiqayotgan foydalanilgan bug' trubkaning ustki yuzasiga uriladi va issiqlik almashinuv jarayoni sodir bo'lib harorati pasayadi va darhol kondensatga aylanadi. Aylanma suv esa harorati ortadi. Isib qolgan aylanma suv sovutilish uchun gradirnyaga yuboriladi. Bug' turbinasining samarali ishlashi uchun moy tizimi muhim texnologik blok hisoblanadi. U turbina valining ishqalanish yuzalarini sovutish, yog' bilan ta'minlash, zarbani yengillashtirish va xavfsiz ishlashni kafolatlaydi. To'raqo'rg'on IESlarda mana shu vazifalarni bajarish davomida moyning harorati ham ko'tariladi va sovutish kerak bo'ladi. Bu vazifani moy sovutgichlar aylanma suv yordamida amalga oshiradi. Dunyo tajribasini ko'rib chiqadigan bo'lsak, ko'rinadiki, texnik suvni sovutish tizimida suv sovutishning har xil uslublar mavjud; ochiq basseynli, purkagichli basseynli va sovutuvchi minorali. Bu uslublar ichida iqtisodiy va ekologik tomondan eng optimal tanlov bu sovutuvchi minorali uslubdir, chunki qolgan uslublardagi kabi katta maydon talab etmaydi va suv sovutish quvvati va miqdori katta, ish unumdorligi yuqori.



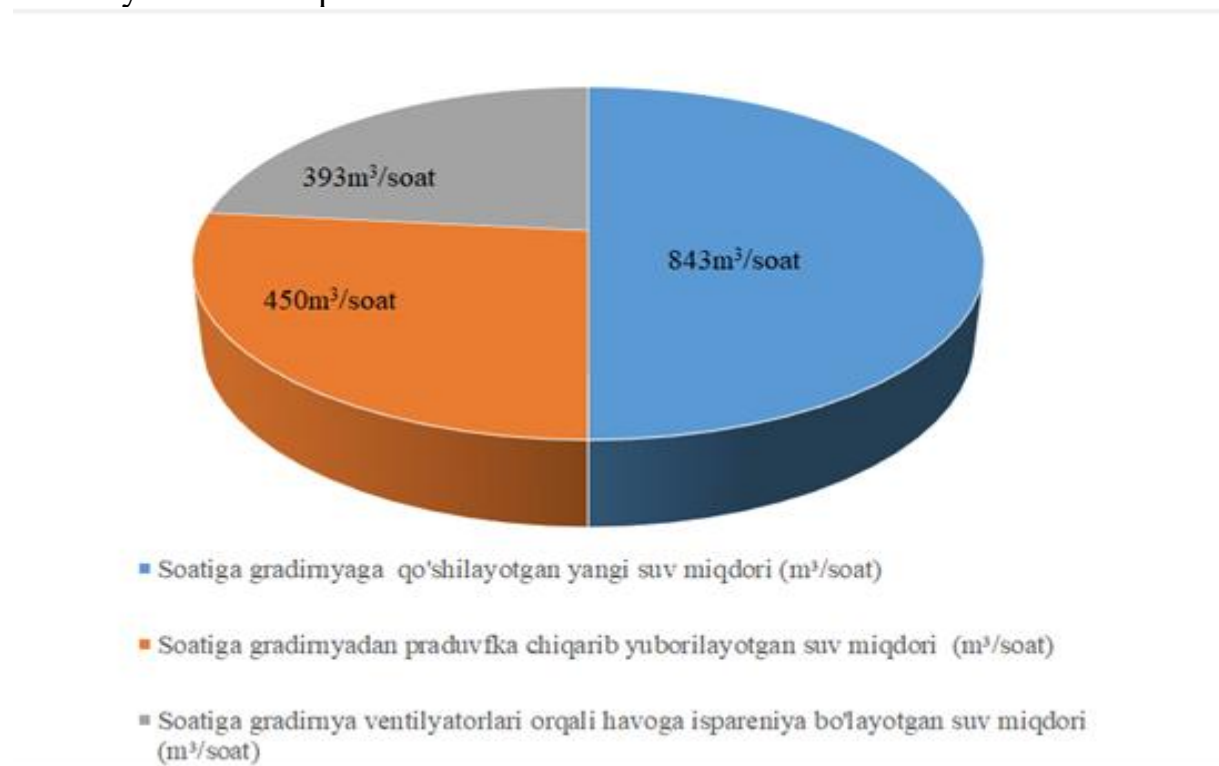
1-rasm. Kondensatsion IESda aylanma suv



2-rasm. Suv sovutish gradirnyasi

Shuning uchun, so‘ngi yillarda, dunyo mamlakatlari faqat sovituvchi minorali uslubdan foydalanishmoqda. Ana endi havo parrakli sovituvchi minoraning texnik ko‘rsatkichlarini boshidan ko‘rib chiqamiz. Buni biz yana To‘ra qo‘rg‘on IESda barpo etilgan sovituvchi minora (gradirnya) misolida ko‘rishimiz mumkin (2-rasm).

Gradirnya blogi ustki qismida aylana ko‘rinishidagi havo so‘ruvchi parrakli tuynuklar mavjud bo‘lib, ular pastdagi issiq havoni yuqoriga tortadi. Bunday tuynuklardan 2 ta 450 MW quvvatli bug‘–gaz qurilmali blok uchun 11 tadan jami 22 ta tuynuk xizmat qiladi.



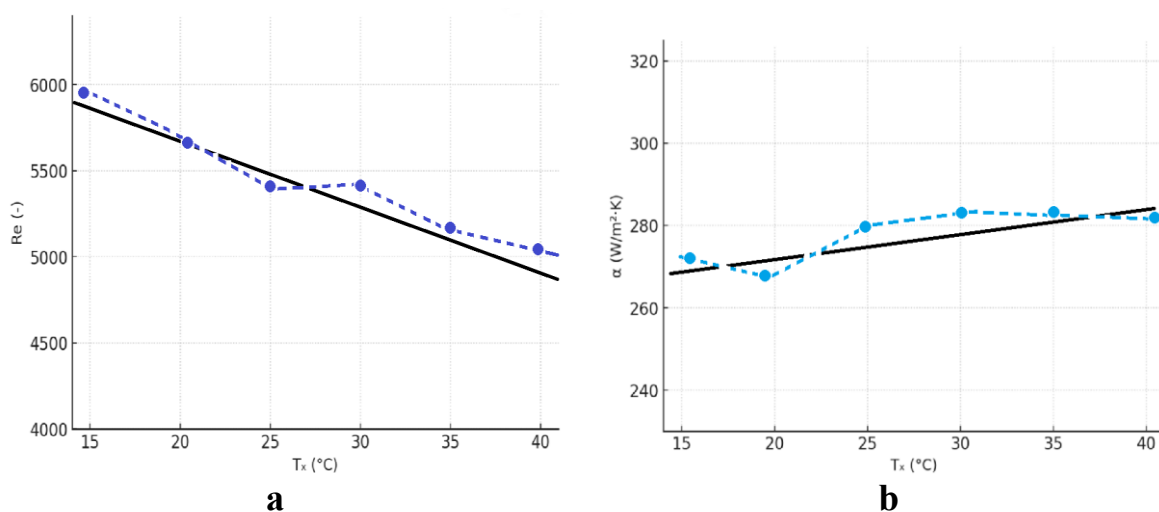
3-rasm. Qish mavsumida gradirnyada suv yo‘qotilishi

Ushbu natijalarning qiymatlari mavsumiy ko‘rinishi diagramma ko‘rinishida ham taqdim qilinadi. Quyida ushbu diagrammani ko‘rishingiz mumkin unda yoz va qish mavsumidagi stansiyaning suv yo‘qotilishi taqsimoti yangi suvga bo‘lgan ehtiyojini ustun shaklida keltirilgan bo‘lib bir – biriga taqqoslash uchun mos shaklda keltirilgan. Yozgi mavsumda gradirnyaga soatiga $1100 m^3$ yangi suv qo‘shilmoqda. Shundan $400 m^3/h$ tashqariga chiqarib yuborilmoqda, qolgan $700 m^3/h$ esa ventilyatorlar orqali havoga bug‘lanib ketmoqda. Bir sutka davomida bu miqdor $26\,400 m^3$ suv qo‘shilishi, $9600 m^3$ tashqariga chiqarilishi va $16\,800 m^3$ suvning bug‘lanishini tashkil etadi. Ushbu raqamlar yozgi issiq iqlim sharoitida bug‘lanish jarayonlari keskin kuchayishini ko‘rsatadi (3-rasm).

Dissertatsiyaning “**To‘ra qo‘rg‘on IES gradirnyasidagi aylana texnik suv yo‘qotilishini kamaytirish bo‘yicha gidro-aerodinamik, issiqlik va texnologik jarayonlarning matematik modeli**” deb nomlangan uchinchi bobida IES gradirnyasidagi aylana texnik suv yo‘qotilishini kamaytirish bo‘yicha gidro-aerodinamik, issiqlik va texnologik jarayonlarning matematik modellashirishga bag‘ishlangan.

Jarayonni ifodalovchi formulalar asosida kerakli qiymatlar aniqlanib “Maple”

dasturiy ta'minoti yordamida jarayondagi Nu , k , α_1 , α_2 qiymatlari asosida grafiklar yaratildi (4-a, b rasm).



4-rasm. Reynolds soni (a) va issiqlik berish koeffitsiyenti (b) ga tashqi havo haroratining tasiri tajribaviy tadqiqot qiymatlari va nazariy hisob qiymatlari ta'sirini taqqoslash grafigi

Tajriba natijalari va nazariy hisoblar shuni ko'rsatadiki gradirnya havo yo'liga qo'yiladigan IAQ (issiqlik almashinuv qurilmasi) havo va bug' aralashmasi yo'liga ma'lum miqdorda to'sqinlik qiladi. Shuni inobatga olgan holda IAQ yuzasini shunday maqbul o'lchamda olish kerakki havo yo'liga minimal to'sqinlik qilsin va maksimal kondensatsiya jarayoni uchun issiqlik almashsin buni biz ventilyator tepasi va IAQ dan avvalgi muhitdagi bosimolar farqini o'lchash orqali tekshirishimiz mumkin (5-rasm).

1- jadval

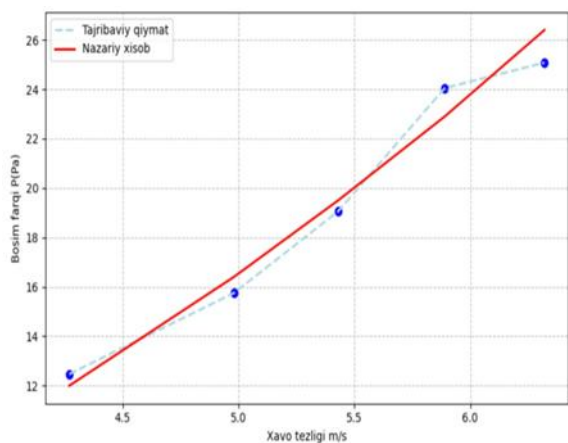
Yaratilgan tajriba qurilmasida IAQ o'rnatilmasdan bosimlar farqi

ΔP IAQsiz nazariy (Pa)	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69
ΔP IAQsiz tajriba (Pa)	0,756	0,705	0,725	0,725	0,68
t_x (°C)	20	25	30	35	40
Farq, %	1,4 %	2,8%	2,7 %	2,5 %	1,12 %

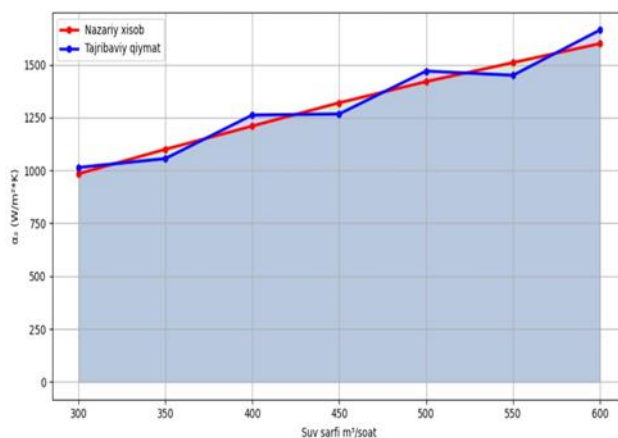
Kondensatsiya jarayonini yaxshi bo'lishiga yana bir omil bu IAQ quvurlariga beriladigan suv miqdoridir u o'z navbatida ichki issiqlik berish koeffitsiyentiga bog'liqligini quyida ko'rishimiz mumkin (6-rasm). Bundan tashqari quvurdagi suvni yutayotgan issiqlik miqdorini issiqlik uzatish va berish koeffitsiyenti (α ; k) ga ta'sirini quyidagi grafiklarda ko'rishimiz mumkin (7-8 rasm)

IAQ uchun matematik model: minimum havo qarshiligi va maksimal kondensatsiya sharoitida (differensial asos, Runge–Kutta usuli) Gradirnyada suv bug'ini kondensatlashni matematik modellashtirish.

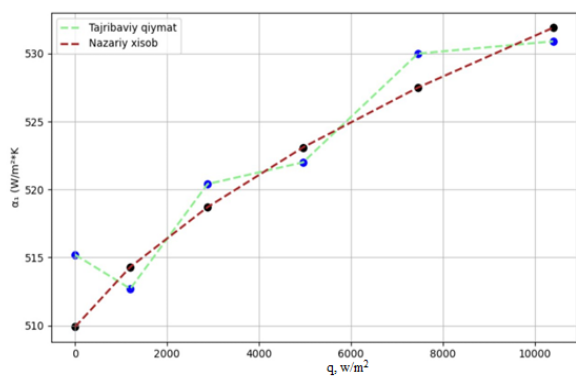
1– bosqich Bug' havo aralashmasi haroratini (t_{mix}) bog'lash.



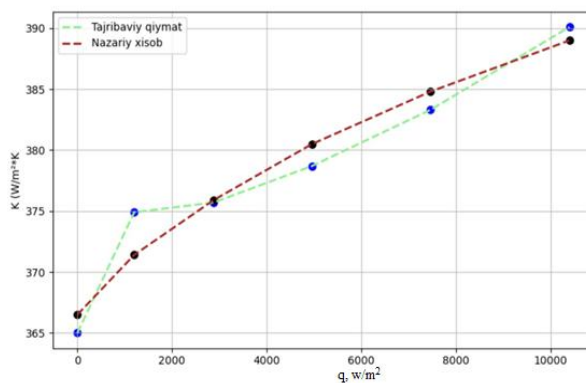
5 – rasm Yaratilgan tajriba qurilmasida IAQ o‘rnatilgandan so‘ng bosimlar farqi



6 – rasm Yaratilgan tajriba qurilmasida suv sarfini ichki issiqlik berish koefitsiyenti α_2 ga ta’siri



7-rasm IAQdagi suv orqali yutilayotgan issiqlik (q)ni ichki issiqlik berish koefitsiyenti α_2 ga ta’siri



8-rasm IAQdagi suv orqali yutilayotgan issiqlik (q)ni issiqlik uzatish koefitsiyenti (k) ga ta’siri

Kiruvchi oqim shunchaki havo emas, balki malum bir harorat (t_{mix}) va namlikka (d_{mix}) ega aralashmadir. Uning entalpiyasi.

$$h_{mix} = C_{p,h} \cdot t_{mix} \cdot d_{mix} \cdot (r + C_{p\theta} \cdot t_{mix}) \quad (1)$$

Bu yerda t_{mix} – qurilmaga kelayotgan bug‘-havo aralashmasi harorati. Bu ko‘rsatkich IAQ quvurlari uzunligi bo‘ylab issiqlik o‘tishda harakatlantiruvchi kuchini (Δh) belgilaydi (7-8-rasm).

Yangi modifikatsiyalangan Merkel–Lewis Formulasi Biz an’anaviy Merkel formulasiga kondensatsiya oqimini hisobga oluvchi hadni qo‘shamiz. Qurilma uchun yangi formula:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\alpha \cdot \sigma}{G_h \cdot C_{p,h}} [(h_s - h_a) + \kappa \cdot r \cdot (p_{mix} - p_s)] \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{m}) \quad (2)$$

Bu yerda: κ – modifikatsiya koefitsiyenti.

Agar $\kappa > 0$ bo‘lsa — bug‘ning kondensatsiyasi hisobga olinadi.

Agar $\kappa = 0$ bo‘lsa — formula an’anaviy Merkel formulasiga aylanadi.

p_{mix} -kiruvchi bug‘-havo aralashmasining parsial bosimi.

p_s -suv plyonkasi yuzasidagi to‘yingan bug‘ bosimi.

Butun modelning bosqichma-bosqich tuzilishi.

1. Differensial qism (uzunlik x bo'yicha).

Quvur uzunligi bo'ylab harorat va namlik o'zgarishi:

$$\frac{dt_s}{dx} = \frac{G_h}{G_s \cdot c_{p,s}} \cdot \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

$$\frac{dm_{kond}}{dx} = \kappa \cdot \beta \cdot (\rho_{mix} - \rho_s) \cdot \sigma \quad (4)$$

Optimallashtirish (hosilani nolga tenglash)

Maksimal kondensat va minimal qarshilik nuqtasi uchun funksiya:

$$f(Re, t_{mix}) = \frac{\alpha(Re) \cdot \kappa \cdot (t_{mix} - t_s)}{\Delta P(Re)} \quad (5)$$

Optimal nuqtani topish uchun Re bo'yicha xususiy hosila olinadi.

$$\frac{\partial f}{\partial Re} = 0 \rightarrow Re_{optimal}^* \quad (6)$$

Integral qism (yakuniy yuzani aniqlash).

Jami yuza (F) ushbu integraldan kelib chiqadi:

$$F = G_h \cdot \int_{h_{ichki}}^{h_{tashqi}} \frac{dh}{\frac{\alpha}{c_p} [(h_s - h_a) + \kappa \cdot r \cdot \Delta p]} \quad (7)$$

Minimal qarshilik va maksimal kondensat sharti.

Tenglamalar tizimi ko'rinishidagi yechim.

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha(Re) = 3,0679 t_s + 0,8807 t_{mix} + 0,0199 Re + 102,5 \\ \Delta P = \xi \cdot \frac{L}{d_h} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \\ Q_{kond} = \int_0^L \kappa \cdot r \cdot \Delta p dF = 0,10 \cdot Q_{bug'} \\ \frac{d}{dRe} \left(\frac{\kappa \cdot \alpha}{\Delta P} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (8)$$

Yangi formula $h_{eff} = \Delta h_{Merkeli} + \kappa \cdot \psi(t_{mix})$

Qurilmada: t_{mix} yuqori bo'lgani uchun $\kappa \cdot \psi(t_{mix})$ hadi kata qiymat beradi.

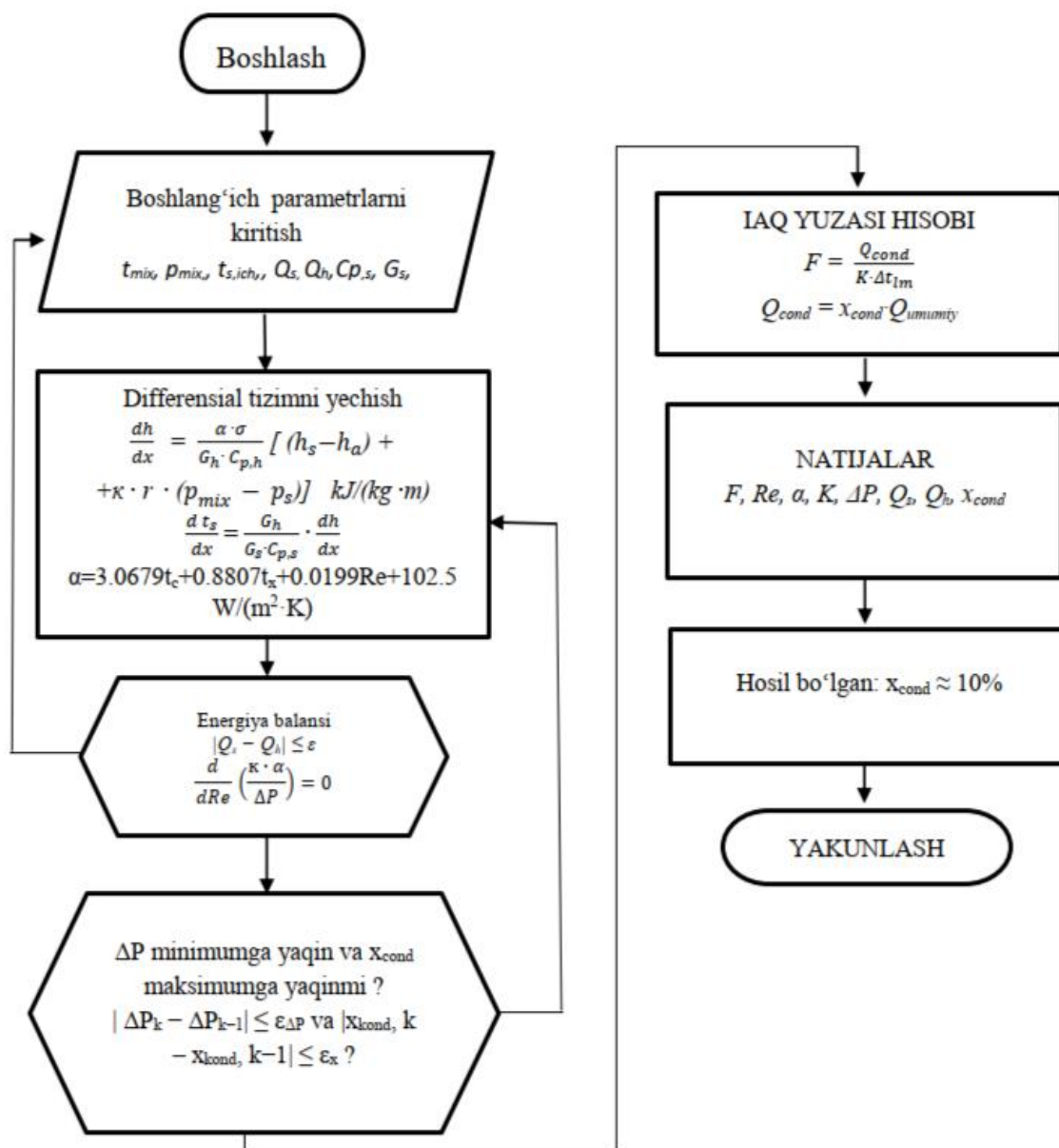
$$F = 6905 m^2$$

$$\kappa = \frac{Q_{kond}}{Q_{jami}} \quad (9)$$

$$\int_0^L \kappa \cdot \beta \cdot (p_{mix} - p_s) dx = 0,10 \cdot m_{bug'} \quad (10)$$

Bu qiymat IAQ qurilmasi uchun optimal issiqlik almashinish yuzasi sifatida qabul qilinadi.

Yakuniy natija: Runge – Kutta usulida yechilgan differensial tizim va empirik bog'lanmalar asosida IAQ qurilmasining optimal rejimi aniqlanadi. Modelda aerodinamik qarshilikning kamayishi issiqlik almashinish yuzasini maksimal holatda saqlab, suv bug'ining 10 % qismini kondensatsiya holatiga olib keladi. Bu natija IAQ samaradorligini oshirishning optimal fizik-matematik asosini tashkil etadi (9-rasm).



9 – rasm. Hisoblash algoritimi

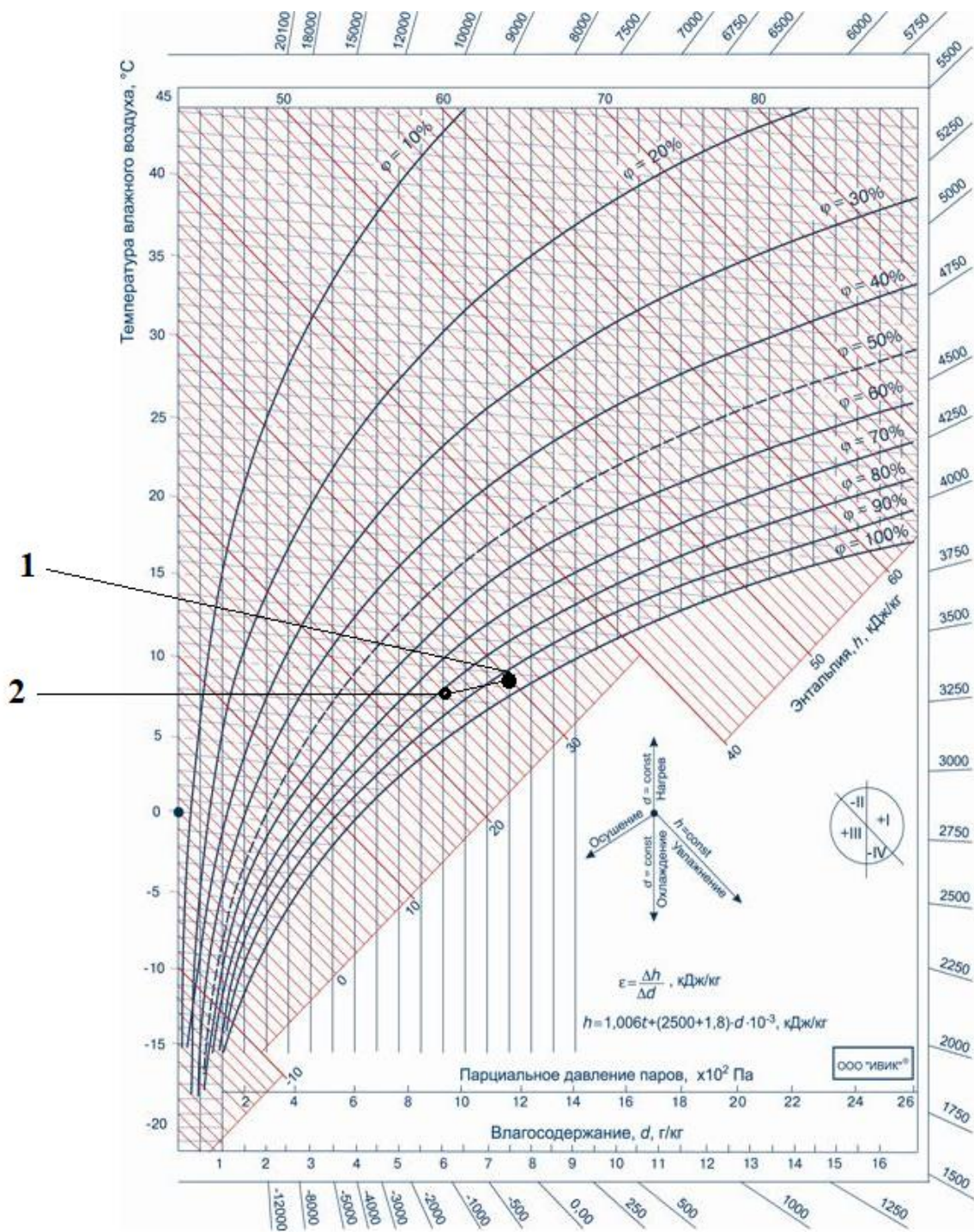
Tadqiqotda gradirnya chiqishidagi havo massa-namlik xususiyatlari psixrometrik nuqtalar shaklida aniqlab olindi. IAQ oʻrnatilmasdan oldin chiqayotgan havo 27 °C hamda 95 % nisbiy namlikni tashkil etar edi. Bu holatda havoning bug‘ bosimi juda yuqori bo‘lib, havo atmosfera bilan aralashgandan so‘ng katta miqdorda namlik (bug‘) tashqariga chiqadi (10-rasm).

1-nuqta: IAQsiz gradirnyadan chiqayotgan havo namlik miqdori.

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_1 = 95 \text{ } \%, d_1 = 25,77 \text{ g/kg}, h_1 = 96,03 \text{ kJ/kg}$$

2-nuqta: IAQ oʻrnatilgandan keyin gradirnyadan chiqayotgan havo namlik miqdori.

$$t_2 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_2 = 82,5 \text{ } \%, d_2 = 16,47 \text{ g/kg}, h_2 = 67,08 \text{ kJ/kg}$$



10-rasm *i-d* diagrammasidagi havo namligining farqlari

Dissertatsiyaning “**Qurilmani amaliy joriy etish va samaradorlik ko‘rsatkichlari**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida IES gradirnyasiga tavsiya etilayotgan qurilmani joriy etish va ishlatish, energetik va iqtisodiy ko‘rsatkichlari baholangan.

To‘rao‘rg‘on IES gradirnyalarida suv bug‘lanishini kamaytirish uchun innovatsion qurilma ishlab chiqildi. Qurilma texnologik jihatdan gradirnyaning yuqori qismiga o‘rnatilib, atmosfera tomon chiqayotgan nam havodagi bug‘ni kondensatsiyalash orqali uni qayta aylanma suv havzasiga qaytarib beradi. Shu yo‘l bilan suvning tabiiy yo‘qotilishi keskin kamayadi va gradirnya

samaradorligi ortadi (11-12 rasm).

Qurilmani ishlab chiqarish va joriy etish bosqichlari quyidagilardan iborat:

- qurilma elementlarini loyihalash va tayyorlash;
- montaj va sozlash ishlarini bajarish;
- mavjud gradirnya tizimiga integratsiya qilish;
- sinovdan o'tkazish va ekspluatatsiyaga qabul qilish.

Ushbu jarayon davomida xalqaro tajriba, jumladan AQSh Energetika vazirligi (DOE) va Germaniya IESlarida qo'llangan texnologik yondashuvlar ham o'rganilgan va moslashtirilgan.

To'ra qo'rg'on IES sharoitida tajribaviy tarzda sinovdan o'tkazilgan kondensatsion modul natijalari shuni ko'rsatdiki, qurilma aylanma suv yo'qotilishida sezilarli ijobiy o'zgarishlarga erishishga imkon beradi. Hisob-kitoblar asosida aniqlanishicha, mazkur qurilma yordamida yiliga $525\ 600\ m^3$ miqdorda texnik suv tejash imkoniyati mavjud. Bunday ko'rsatkich, ayniqsa, suv resurslari tanqisligi tobora kuchayib borayotgan Farg'ona vodiysi va unga yaqin hududlarda beqiyos amaliy ahamiyat kasb etadi.

Energetik samaradorlik natijalari

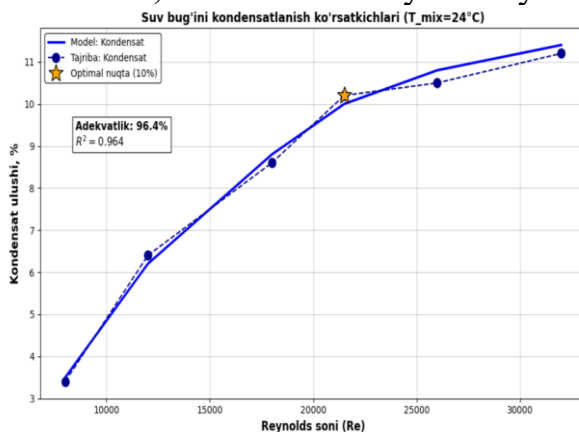
Tajriba jarayonlarida qurilma gradirnya ish rejimiga qo'shilganda, bir qator muhim energetik afzalliklar kuzatildi:

- nasos agregatlarining gidravlik yuklamasi o'rtacha 5–7 % ga qisqardi, bu esa nasoslarning ekspluatatsiya muddatini uzaytiradi va elektr energiyasi sarfini kamaytiradi.

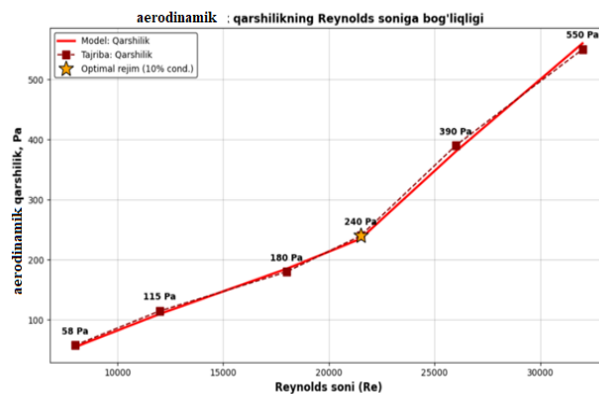
- kondensatorlarda bug' kondensatsiyasi jarayoni yanada barqarorlashdi, natijada kondensatsiya jarayonidagi tebranishlar kamaydi va issiqlik almashinish samaradorligi ortdi.

- gradirnyaning issiqlik almashinish koeffitsiyenti o'rtacha 8–10 % ga oshgani aniqlanib, sovutish tizimining umumiy samaradorligini yuqorilashiga olib keldi.

- stansiya bo'yicha umumiy foydali ish koeffitsiyenti (FIK) 0,5–0,7 % ga yaxshilandi, bu esa IES kabi yirik obyektlar uchun sezilarli ko'rsatkich hisoblanadi.



11-rasm. Tajriba va nazariy hisoblarning adekvatlik grafigi

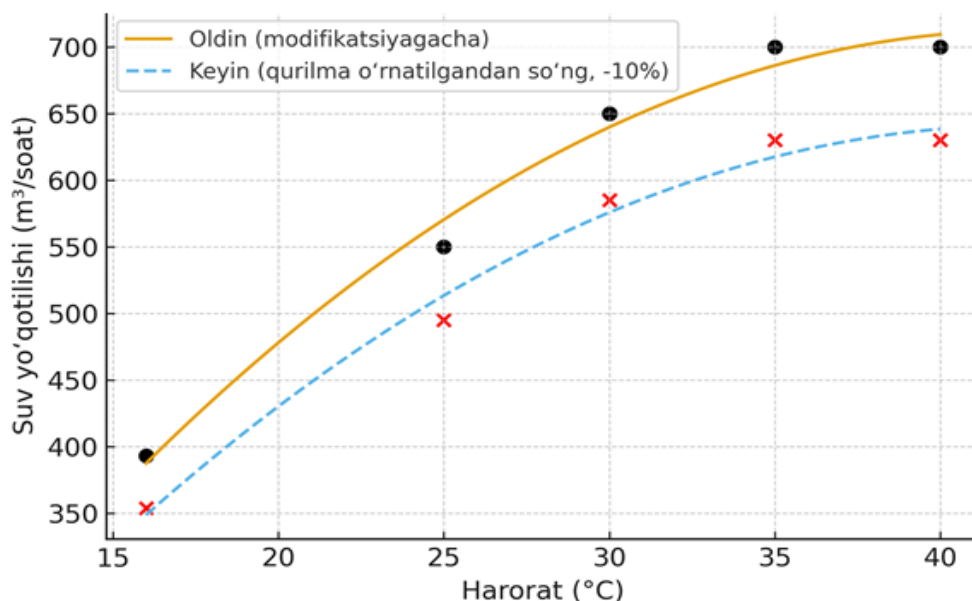


12-rasm. Tajriba va nazariy hisoblarning adekvatlik grafigi

Iqtisodiy samaradorlik natijalari. Hisob-kitoblarga ko'ra, qurilma qo'llanilishi natijasida yiliga 756,8 million so'm mablag'ni tejash mumkin. Bu tejash quyidagilar hisobiga shakllanadi:

- suv resurslarini tejash;
- elektr energiyasi sarfining kamayishi;
- kimyoviy suv tozalash sexida reagentlar sarfining qisqarishi;
- nasos va boshqa agregatlarning ekspluatatsiya xarajatlari kamayishi.

Shu bilan birga, qurilmani ishlab chiqarish va oʻrnatishga sarflangan kapital mablagʻlar 5 – 7 yil ichida oʻzini toʻliq qoplaydi. Demak, qurilmaning iqtisodiy samaradorligi nafaqat amaliyotda, balki investitsion jihatdan ham oʻz isbotini topadi. Suv yoʻqotilishini qurilma oʻrnatilgan va oʻrnatilmagan holat uchun taqqoslash uchun quyida havo xaroratiga yoʻqotilishning taʼsiri koʻrinishida grafik keltirilgan (13-rasm).



13-rasm. Suv yoʻqotilishining haroratga bogʻliqligi qurilma oʻrnatilishidan oldin va keyin

Xorijiy ilmiy adabiyotlarda keltirilgan natijalar bilan taqqoslash shuni koʻrsatadiki, Toʻraqoʻrgʻon IESda erishilgan natijalar samaradorlik boʻyicha yuqori darajada. Masalan, Zhu va boshqalar (2020) tomonidan keltirilgan suv kondensatsiyasi hajmi yoki “Frontiers in Water” (2024) jurnalida taqdim etilgan nazariy yondashuvlar Toʻraqoʻrgʻon IESdagi amaliy natijalar darajasiga toʻla mos kelmaydi. Bu esa mahalliy sharoitlarda ishlab chiqilgan texnologiyaning innovatsionligi va yuqori samaradorligini koʻrsatadi.

2-jadval

1 m³ texnik suvni tayyorlash xarajatlari tarkibi

Xarajat tarkibi	Qiymati (soʻm/m³)	Izoh
Suv xoʻjaligiga toʻlov	203	Tabiiy resursdan foydalanganlik uchun soliq
Elektr energiyasi (Nasoslar)	480	Suvni uzatish va aylantirish uchun
Kimyoviy reagentlar	757	Koʻpiklanish, korroziya va tuz choʻkishiga qarshi
Suv tayyorlash tannarxi	1 440	Umumiy xarajat

3-jadval

Loyiha qiymati jadvali

Ko'rsatkich nomi	Miqdori	Birlik narxi	Jami (USD)	Jami (UZS)
Material (Anodlangan alyuminiy)	6905 m ²	25 \$	172,625\$	2,226,8 mlrd
O'rnatish va montaj (10 %)	-	-	17,262\$	222,7 mln
Sozlash va sinov ishlari (5 %)	-	-	8,631\$	111,3 mln
Transport va logistika	-	-	4,315\$	55,7 mln
Umumiy loyiha qiymati	-	-	202,833\$	2,616,5 mlrd

Yillik iqtisodiy samara 756,8 million so'm.

O'zini oqlash muddati: $\frac{2\,616\,500\,000}{756\,800\,000} = 3,4$ yil

4-jadval

Samaradorlik jadvali

Ko'rsatkich	Qurilmasiz gradirnya	Qurilma bilan gradirnya	O'zgarish (%)
Yillik suv yo'qotilishi (m ³)	5 250 000	4 724 400	10
Tejalgan suv hajmi (m ³)	–	525 600	10
Nasos yuklamasi	100 %	93–95 %	5-7
FIK (foydali ish koeffitsiyenti)	38,5 %	39,2 %	0,7
Yillik iqtisodiy samara (so'm)	–	756,8 mln	–

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan kondensatsion modulning qo'llanilishi nafaqat texnik va iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi, balki ekologik yuklamani kamaytiradi hamda stansiya ish rejimini barqarorlashtiradi. Qurilmaning amaliy tatbiqi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ – 4422, PF – 60 va O'RQ – 940 hujjatlarida belgilangan energetika samaradorligi va resurslardan oqilona foydalanish bo'yicha vazifalarga to'la mos keladi.

XULOSA

“Bug‘gaz qurilmasi gradirnyalarida aylanma suv yoqotilishini kamaytirish” mavzusida falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Havo ventilyatorli gradirnyalarda suv yo'qotilishini kamaytirish imkonini beruvchi issiqlik almashinuv qurilmasi qovurg'alanish qonuni asosida, qovurg'alanish koeffitsiyentining $\psi = 9$ ekanligini inobatga olib takomillashtirildi. Natijada, issiqlik almashinuv jarayoni jadalligi 25–35 % ga oshishi ta'minlandi.

2. Merkel-Lyuis tenglamasi asosida gradirnyalarda suv bug'ini kondensatlashni balandlik bo'yicha energiya o'zgarishini ifodalovchi va kondensatsiya oqimini hisobga oluvchi ($\kappa > 0$) kondensatsiyalanish koeffitsiyentini samarali hisoblash usuli ishlab chiqildi. Natijada, bug'-havo aralashmasining parametrlari o'zgarishini aniqlovchi nazariy natijalar olindi.

3. Issiqlik almashinuv qurilmasida issiqlik va massa oqimlarining taqsimlanish dinamikasi asosida maksimal kondensat va minimal gidravlik

qarshilik yuzasini aniqlashning matematik modeli energiya va entalpiya o'zgarishini hisobga olib takomillashtirildi. Natijada, 244 Pa gidravlik qarshilik bilan samarali issiqlik almashinuv yuzasi hisoblandi.

4. Harorat ta'sirida moddaning agregat holatini o'zgarish qonuni asosida bug'-gaz qurilmasi minimal gidravlik qarshilik talabini hisobga olib suv bug'ini kondensatlanishining samarali rejimi aniqlandi. Natijada, minimal gidravlik qarshilikda 10 % li kondensatsiya ulushiga erishish imkoniyati yaratildi.

5. Tadqiqot natijalari To'raqo'rg'on IES da joriy qilingan bo'lib, gradirnyaga maxsus issiqlik almashinuv qurilmasini tatbiq etish natijasida suv yo'qotilishini 7–10 % ga kamaytirishga erishildi. Ilmiy-tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi natijasida, 3 oylik monitoring davomida soatiga 60 m³ suv tejash imkoniyati aniqlandi hamda yillik iqtisodiy samaradorlik 756 800 000 (yetti yuz ellik olti million sakkiz yuz ming) so'mni tashkil etdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ДОКТОРА НАУК DSc.03/2025.28.11.Т.02.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

ДАДАБОВЕВ ҚОБИЛБЕК ҚОСИМЖОН ЎҒЛИ

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ В
ГРАДИРНЯХ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ**

05.05.04 – «Промышленная теплоэнергетика»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за В2023.3.PhD/Г3946.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета www.tdtu.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный
руководитель:

Юнусов Бахтиёр Юнусович
кандидат технических наук, доцент

Официальные
оппоненты:

Кличев Шавкат Исакович
доктор технических наук, профессор

Исаходжаев Хайрулла Суннатиллаевич
доктор философии по техническим
наукам (PhD), доцент

Ведущая организация:

«Теплоэлектропроект» АО

Защита диссертации состоится «15» 05 2026 г. в 10³⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.28.11.T.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, город Ташкент, улица Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-07-37; факс: (99871) 207-14-62; e-mail: tstu_info@edu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (регистрационный номер 48). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан «01» 05 2026 года.
(протокол реестра № «1» от «05» 5 2026 года).



К.Р. Адлаев

Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор,
академик

И.Н. Ниёзов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
PhD, доцент

Ё.С. Аббасов

Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире, с учётом глобального изменения климата и проблемы дефицита пресной воды, возрастает потребность во внедрении водосберегающих устройств на промышленных предприятиях и в других отраслях, а также на заводах и фабриках, использующих воду в технологических процессах. В связи с этим учёные всего мира уделяют особое внимание вопросам энергосбережения и сокращения потерь водных ресурсов. В настоящее время в развитых странах проводятся многочисленные исследования, направленные на разработку и совершенствование подобных технологий. При этом в градирнях в процессе охлаждения циркуляционной воды происходит испарение части очищенной воды в атмосферу. Объём испаряемой воды может достигать около 2 % от общего расхода охлаждаемой воды. В связи с этим в последние годы особое внимание уделяется разработке и внедрению технических решений, направленных на снижение потерь воды на тепловых электростанциях.

В мире активно развиваются методы водосбережения, направленные на рациональное использование водных ресурсов, и проводятся научные исследования, ориентированные на разработку методов, средств и алгоритмов, обеспечивающих снижение водопотребления. В данном направлении многими учёными выполняются исследования с применением различных подходов, в том числе направленные на сокращение потерь оборотной воды в водоохлаждающих башнях тепловых электростанций.

В частности, приоритетными считаются исследования, направленные на снижение потребности в воде за счёт уменьшения объёма воды, сбрасываемой в отходы, путём её очистки от растворённых солей и взвешенных веществ. Кроме того, проводятся исследования, посвящённые снижению количества воды, теряемой в результате испарения. Несмотря на достигнутые результаты, проблема дефицита пресной воды на планете по-прежнему остаётся актуальной.

В нашей республике в целях снижения энергоёмкости отраслей экономики к 2030 году в полтора раза осуществляются широкомасштабные меры по созданию, совершенствованию и внедрению новых технологических решений. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы, в частности, определены задачи по «обеспечению бесперебойного снабжения экономики электрической энергией, активному внедрению технологий “зелёной экономики” во все сферы, а также повышению энергоэффективности экономики на 20 %». В реализации данных задач, в частности, важное значение имеет проведение научно-исследовательских работ, направленных на решение таких вопросов, как экономия не менее 7 миллиардов кубических метров воды за счёт эффективного использования водных ресурсов, снижение потребления электрической энергии на объектах водного хозяйства, а также управление объектами водного хозяйства на основе принципов государственно-частного партнёрства.

Данное диссертационное исследование служит в определенной степени

реализации задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы», в Законе Республики Узбекистан №ЗРУ-940 от 7 августа 2024 года «Закон об энергии, её рациональном использовании и повышении энергоэффективности», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года №ПП-57 «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», а также в других нормативных правовых документах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II — «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Технические водоохладительные башни широко применяются не только на тепловых электростанциях, но и в различных отраслях промышленности и производственной сферы. В связи с этим научные исследования, направленные на совершенствование конструкций и повышение эффективности технических водоохладительных башен, а также на их широкое внедрение, проводятся в ведущих научно-исследовательских центрах мира, в том числе в Российском институте теплотехники, Российском научно-исследовательском институте водоснабжения, Казахстанском научно-исследовательском институте энергетики, Российском энергетическом институте, Ташкентском государственном техническом университете и других научных организациях.

Значительный вклад в решение задач, связанных с исследованием водосберегающих устройств, совершенствованием процессов охлаждения и разработкой новых технических решений, внесли известные зарубежные учёные, в том числе А.Ф. Володин, В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев, В.Б. Андрианов, Л.Д. Берман, А.Г. Лаптев, Р.И. Нигматуллин и другие исследователи.

Научные работы известных учёных Республики Узбекистан посвящены решению актуальных научных задач, связанных со снижением потерь воды на тепловых электростанциях и повышением эффективности функционирования градирен. Существенный вклад в развитие данного научного направления внесли отечественные учёные, в том числе Н.Р. Юсупбеков, Ж.Н. Мухиддинов, С.М. Турабджанов, К.М. Муртазаев. В результате проведённых ими научных исследований были достигнуты значительные результаты в решении задач повышения эффективности работы градирен.

Вместе с тем, несмотря на имеющиеся достижения, научные проблемы, связанные с потерями воды в градирнях, в частности, за счёт испарения, остаются недостаточно изученными и требуют дальнейших исследований. В данной диссертационной работе предложены способ и алгоритм конденсации

теряемого водяного пара, направленные на снижение потерь воды в градирнях.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентский государственный технический университет в рамках научного направления кафедры «Атомные электрические станции и тепловая энергетика» по теме «Повышение эффективности использования тепловой энергии и топлива на промышленных предприятиях».

Цель исследования целью диссертационного исследования является сокращение потерь оборотной воды в градирнях современных парогазотурбинных тепловых электростанций за счёт конденсации испаряющегося водяного пара.

Задачи исследования: анализ современного состояния научно-технических работ по системам водоподготовки и повышению эффективности градирен на теплоэлектростанциях с парогазовыми установками;

разработка экспериментального образца установки с использованием охлаждающих агентов в процессах конденсации на теплоэлектростанциях;

математическое моделирование геометрических и динамических параметров установки конденсации водяного пара;

проведение экспериментальных испытаний установки конденсации водяного пара и определение её технико-экономической эффективности.

Объект исследования градирни парогазовых тепловых электростанций.

Предмет исследования процессы и принципы снижения потерь оборотной воды в градирнях за счёт конденсации испаряющейся влаги, а также методы их технического совершенствования и адаптации к климатическим условиям эксплуатации.

Методы исследования. В процессе выполнения диссертационной работы использовались метод Меркеля для проведения тепломассообменных и математических расчётов, а также методы экспериментальных исследований, включающие наблюдение, измерение и сравнительный анализ полученных результатов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован теплообменный аппарат, обеспечивающий снижение потерь воды в вентиляторных градирнях, с учётом коэффициента оребрения $\psi = 9$, определённого на основе закона оребрения;

на основе уравнения Меркеля–Льюиса разработан эффективный метод расчёта коэффициента конденсации ($\kappa > 0$), учитывающий поток конденсации и описывающий изменение энергии по высоте при конденсации водяного пара в вентиляторных градирнях;

усовершенствована математическая модель определения поверхности с максимальным выходом конденсата и минимальным гидравлическим

сопротивлением на основе динамики распределения тепловых и массовых потоков в теплообменном аппарате с учётом изменения энергии и энтальпии; на основе закона изменения агрегатного состояния вещества под воздействием температуры определён эффективный режим конденсации водяного пара в парогазовой установке с учётом требования минимального гидравлического сопротивления.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Обеспечено снижение потерь водяного пара в объёме $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ в градирне с производительностью по охлаждаемой воде $35\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 10% за счёт конденсации в водяном теплообменнике при температуре $16\text{ }^\circ\text{C}$, что позволяет дополнительно экономить до $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ оборотной воды.

Разработано и рекомендовано к практическому применению программное обеспечение (№ DGU 13044 от 16.11.2021 г.), предназначенное для расчёта и снижения потерь технической воды в водоохладительных башнях современных тепловых электростанций.

Достоверность результатов исследования.

Обеспечивается использованием высокоточных измерительных приборов, проведением многократных экспериментальных измерений, применением апробированных методов математического моделирования, а также подтверждается результатами опытно-промышленного внедрения.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Заключается в разработке нового подхода к математическому моделированию процесса снижения потерь воды в градирнях за счёт конденсации водяного пара, что позволяет минимизировать потребность тепловых электростанций в подпиточной (свежей) воде. Кроме того, в работе сформулированы научно обоснованные принципы эксплуатации и обслуживания пароконденсирующего теплообменного устройства, устанавливаемого на градирнях.

Практическая значимость результатов исследования определяется возможностью их применения на действующих тепловых электростанциях для эффективного снижения потерь воды без необходимости внесения существенных изменений в существующую технологическую и инфраструктурную схему станции.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по совершенствованию устройства, снижающего потери оборотной воды в градирнях парогазовых установок:

Теплообменное устройство, обеспечивающее снижение потерь оборотной воды в градирнях, внедрено на АО «ТЭС» Туракурганская ТЭС (справка № 02-1711 от 10 октября 2025 года). В результате за счёт снижения потерь оборотной воды в градирне достигается экономия $525\,600 \text{ м}^3$ воды в год, что обеспечивает ожидаемый экономический эффект в размере $756\,864\,000$ сумов;

Математическая модель определения поверхности с максимальным выходом конденсата и минимальным гидравлическим сопротивлением внедрена в градирнях теплоэлектростанции (справка № 02-1711 от 10 октября

2025 года АО «Тепловые электрические станции»). В результате за счёт конденсации водяного пара достигается снижение потерь воды на 10 %, что создаёт возможность повышения экономической эффективности.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 6 республиканских научно-практических конференциях и семинарах.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе подана 1 заявка на патент на полезную модель, которая в настоящее время находится на стадии экспертизы. В научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), опубликовано 7 статей, из них 4 — в республиканских и 3 — в зарубежных научных журналах. Кроме того, опубликована 1 статья в сборнике, индексируемом в базе данных Scopus, а также получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 107 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость проведенного исследования, описаны цель и задачи исследования, его объект и предмет, изложены научная новизна и практические результаты исследования, освещены научно-практическая значимость и достоверность полученных результатов, внедрение результатов исследования в практику, результаты апробации работы, приведены сведения об опубликованных работах, структуре и объёме диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Анализ литературы, научных работ, формирование и изучение проблемы»** рассмотрены технологии охлаждения воды на тепловых электростанциях, гидро-аэродинамика жидкостей и газов в охладительных установках, процессы тепло и массообмена, состояние работ по повышению эффективности градирен парогазовых тепловых электростанций. Анализ существующих технологий показывает, что устройства и технологии (водоудерживающие, конденсационные, воздушного охлаждения) имеют существенные недостатки и ограничения (высокое энергопотребление, низкая эффективность, отсутствие испытаний на конкретном производственном предприятии). Поэтому на основе этих недостатков были определены цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации под названием **«Исследование и анализ потерь воды в градирне Туракурганской тепловой электростанции как объекте исследования»** рассмотрены система водоподготовки Туракурганской тепловой электростанции, использование технической

оборотной воды, конструкция градирни, а также определены основные критерии водосбережения.

Система водоподготовки Туракурганской ТЭС обеспечивает очистку двух видов воды. Первый вид - рабочая вода, используемая в котельной установке для получения водяного пара; второй - охлаждающая обратная вода, предназначенная для охлаждения станции. Эти два вида воды различаются по своему назначению и степени очистки. В градирне охлаждается именно обратная вода, используемая для охлаждения станции. Она отводит тепло от конденсатора станции, охладителей системы смазки и всех устройств с водяным охлаждением, после чего нагретая вода направляется в градирню для охлаждения. Именно в процессе охлаждения оборудования станции, с целью недопущения негативного воздействия обратной воды на рабочие процессы оборудования, трубопроводов и водоиспользующих элементов, обратная вода подвергается постоянной очистке, а её химический состав находится под непрерывным контролем.

Система водоподготовки. Подготовка технической воды для собственных нужд тепловых электростанций включает в себя ряд достаточно сложных технологических процессов. Это обусловлено тем, что в составе технической воды не должны присутствовать щелочные вещества, соли и другие компоненты, вызывающие коррозию и эрозию оборудования станции. В связи с этим вода предварительно очищается, подвергается химической обработке и обессоливанию, после чего направляется на повторное использование. Все перечисленные процессы последовательно реализуются в цехе химической водоочистки.

В линейный трубопровод диаметром 400 мм, по которому от насосной станции поступает вода, после запорной арматуры через вспомогательный трубопровод меньшего диаметра дозируются соляная кислота концентрацией 30 % и гипохлорит концентрацией 12 %. Гипохлорит применяется для дезинфекции воды.

Вода по трубопроводу диаметром 400 мм поступает в коагуляционную зону. Коагуляционная зона разделена на две секции, объём каждой из которых составляет 13,5 т. В коагуляционную зону дозируется 40 % раствор хлорида железа, применяемый для осаждения взвешенных и мутных частиц. После ввода хлорида железа вода перемешивается с помощью мешалок; в каждой секции установлена одна мешалка.

Далее вода направляется во флокуляционную зону. Данная зона разделена на четыре секции объёмом по 70 т каждая, общий объём составляет 280 т. В каждой секции установлена одна мешалка, всего — четыре мешалки. Во флокуляционную зону дозируется 5 % анионный полиэлектролит, представляющий собой вязкое химическое соединение, предназначенное для укрупнения и объединения хлопьев взвешенных частиц. Вода с добавленным анионным полиэлектролитом тщательно перемешивается мешалками и затем подаётся в зону отстаивания.

Между флокуляционной зоной и зоной отстаивания расположена бетонная перегородка общей высотой 6 м, в нижней части которой

предусмотрено открытое пространство высотой около 1,5 м. Вода, поступающая из флокуляционной зоны, подаётся в зону отстаивания именно через нижний проём данной бетонной перегородки. В случае подачи воды через верхнюю часть перегородки возможно поступление неотстоянной воды напрямую в резервуар, откуда она может быть направлена к механическим насосам без надлежащей очистки. В связи с этим подача воды из флокуляционной зоны осуществляется через нижнюю часть бетонного ограждения.

В нижней части зоны отстаивания вода распределяется на ламельные элементы, установленные под углом 60° к горизонту. Ламели предназначены для снижения скорости потока воды; при этом взвешенные частицы осаждаются и накапливаются под ламелями, а осветлённая вода поднимается вверх, что способствует повышению степени её прозрачности.

Объём зоны отстаивания составляет 560 м³. В нижней части зоны отстаивания установлен скрепер (очистное устройство), который собирает осадок и направляет его к насосному оборудованию. Насос осуществляет удаление осадка из системы.

Осветлённая в зоне отстаивания вода поступает в резервуар объёмом 70 м³, расположенный под зоной отстаивания.

Механические баки-насосы подают осветлённую воду из данного резервуара в механические баки. Всего установлено четыре насосных агрегата, один из которых находится в резерве. Количество механических баков составляет шесть единиц, каждый из которых обеспечивает очистку воды производительностью 150 м³/ч, удаляя взвешенные вещества и мелкодисперсные частицы.

После очистки в механических баках вода направляется в промбак. Вода, поступающая в промбак, относится к категории осветлённой воды.

В тепловых электростанциях вода является одним из ключевых факторов технологического процесса, поскольку она участвует практически в работе каждого оборудования. На Туракурганской тепловой электростанции оборотная вода, как и на других ТЭС, используется для охлаждения оборудования станции и для конденсации пара в конденсаторе. Конденсатор осуществляет конденсацию отработанного в паровой турбине пара и возвращает его в систему для повторного испарения.

В данном процессе функцию снижения температуры пара выполняет оборотная вода. При подаче воды стандартной температуры 16 °С в трубки конденсатора отработанный пар, выходящий из турбины, соприкасается с наружной поверхностью трубок, в результате чего происходит процесс теплообмена: температура пара понижается, и он практически мгновенно конденсируется. При этом температура оборотной воды повышается. Нагретая оборотная вода направляется в градирню для последующего охлаждения (рис. 1).

Для эффективной работы паровой турбины важное значение имеет система смазки, которая является одним из ключевых технологических узлов. Она обеспечивает охлаждение трущихся поверхностей вала турбины,

подачу масла, снижение ударных нагрузок и гарантирует безопасную эксплуатацию оборудования. На Туракурганской тепловой электростанции данная система организована в виде высокопроизводительного автоматизированного комплекса, функционирующего совместно с резервными системами.

В процессе выполнения указанных функций температура масла также повышается и требует охлаждения. Данная задача осуществляется с помощью маслоохладителей, в которых используется обратная вода.

Анализ мирового опыта показывает, что в системах охлаждения технической воды применяются различные методы: открытые бассейны, бассейны с распылением и градирни. Среди указанных способов наиболее экономически и экологически оптимальным является применение градирен, поскольку, в отличие от других методов, они не требуют значительных площадей, обеспечивают высокую производительность по охлаждению воды и характеризуются высокой эксплуатационной эффективностью.

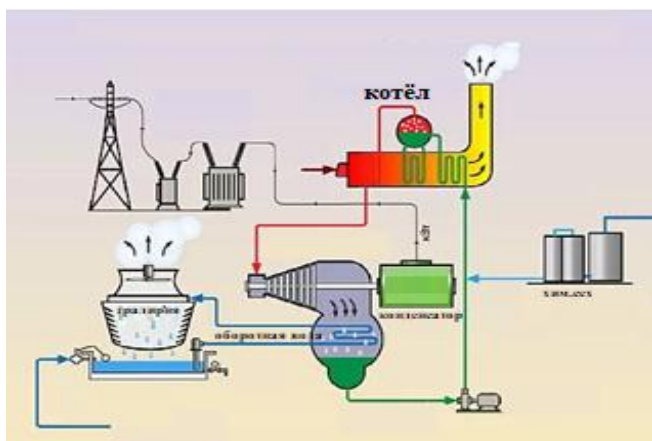


Рис. 1. Обратная вода в конденсационной тепловой электростанции



Рис. 2. Водяная охлаждающая башня (градирня)

Основная маслосистема паровой турбины и охлаждающие устройства.

В связи с этим в последние годы в большинстве стран мира применяется преимущественно способ охлаждения с использованием градирен. Далее рассмотрим основные технические характеристики вентиляционной градирни. В качестве примера будет проанализирована градирня, построенная на Туракурганской тепловой электростанции (рис. 2).

В верхней части блока градирни расположены воздухозаборные отверстия круговой формы с вентиляционными лопастями, которые обеспечивают вытягивание горячего воздуха снизу вверх. Для двух парогазовых энергоблоков мощностью 450 МВт каждый предусмотрено по 11 таких отверстий, всего - 22 воздухозаборных отверстия. Потери воды в градирне в летний период. Значения полученных результатов также представлены в виде сезонной диаграммы. Ниже приведена соответствующая диаграмма, на которой в столбчатой форме показано

распределение потерь воды на станции в летний и зимний периоды, а также потребность в подпиточной (новой) воде. Данные представлены в форме, удобной для сравнительного анализа.



Рис. 3 Потери воды в градирне в зимний период

В летний период в градирню подаётся $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ подпиточной воды, из которых $400 \text{ м}^3/\text{ч}$ сбрасывается, а оставшиеся $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ испаряются в атмосферу через вентиляционные устройства. В течение суток это соответствует подаче $26\,400 \text{ м}^3$ воды, сбросу $9\,600 \text{ м}^3$ и испарению $16\,800 \text{ м}^3$ воды. Приведённые данные наглядно демонстрируют резкое усиление процессов испарения в условиях жаркого летнего климата (рис. 3).

В третьей главе диссертации под названием **«Математическая модель гидроаэродинамических, тепловых и технологических процессов по снижению потерь оборотной технической воды в градирне Туракурганской тепловой электростанции»** рассмотрены вопросы математического моделирования гидроаэродинамических, тепловых и технологических процессов, направленных на сокращение потерь оборотной технической воды в градирне тепловой электростанции.

Исходные положения, модель и расчёты.

1. Основные принципы и уравнения.

Энергетический и материальный баланс градирни (подход Меркеля):
Теплота, отводимая от воды:

Применяются формулы. На основе данных формул были определены необходимые значения и с использованием программного обеспечения *Maple* построены графики изменения параметров Nu , k , 1 и 2 в ходе процесса (рис.4).

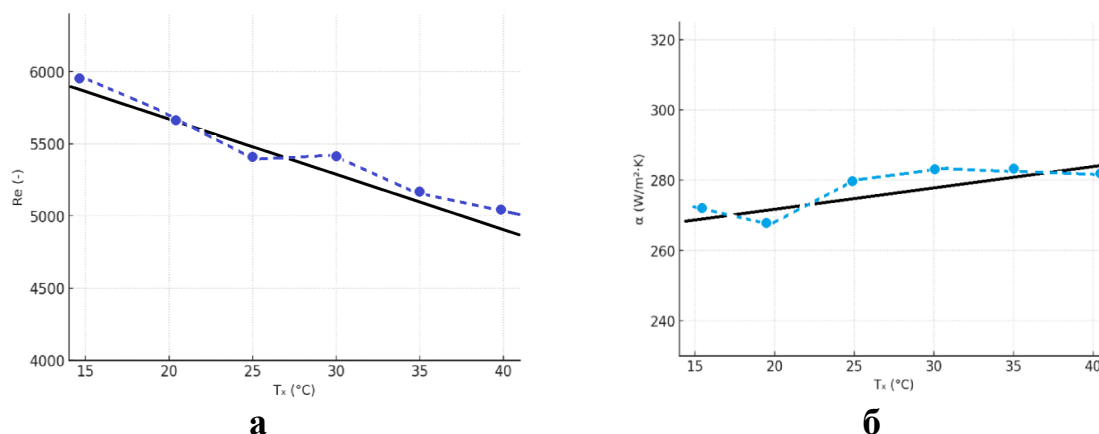


Рис. 4. Сравнительный график влияния температуры наружного воздуха на число Рейнольдса (а) и коэффициент теплоотдачи (б) по экспериментальным данным и теоретическим расчётным значениям.

Результаты экспериментов и теоретические расчёты показывают, что установленный в воздушном тракте градирни теплообменный аппарат создаёт определённое сопротивление потоку воздушно-паровой смеси. С учётом этого поверхность теплообменного аппарата должна быть выбрана в оптимальных размерах таким образом, чтобы оказывать минимальное сопротивление воздушному потоку и одновременно обеспечивать максимальную теплоотдачу для эффективного процесса конденсации. Данное условие может быть проверено путём измерения разности давлений между зоной перед теплообменным аппаратом и областью над вентилятором (рис. 5)

Таблица 1
Разность давлений в созданной экспериментальной установке без установки теплообменного аппарата

ΔP Теоретическое давление без ТОА (Pa)	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69
ΔP Экспериментальное давление без ТОА (Па)	0,756	0,705	0,725	0,725	0,68
t_x (°C)	20	25	30	35	40
Разность, %	1,4 %	2,8 %	2,7 %	2,5 %	1,12 %

Ещё одним важным фактором, влияющим на эффективность процесса конденсации, является расход воды, подаваемой в трубы теплообменного аппарата. В свою очередь, данный параметр зависит от коэффициента внутренней теплоотдачи, что наглядно представлено на (рис. 6). Кроме того, влияние количества теплоты, поглощаемой водой в трубах, на коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи (α ; κ) представлено на графиках, приведённых на (рис. 7–8).

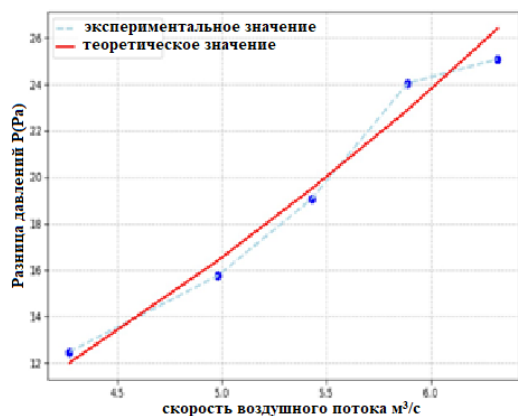


Рис.5. Разность давлений в созданной экспериментальной установке после установки теплообменного аппарата

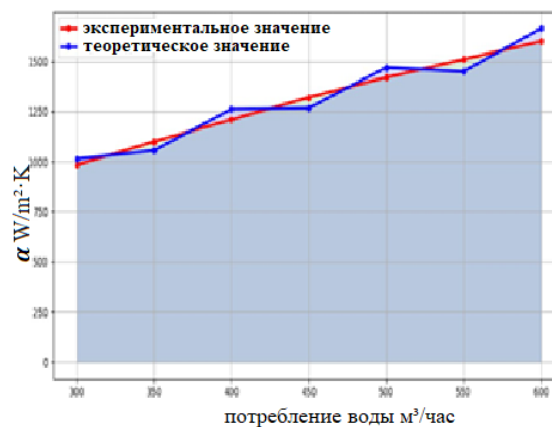


Рис.6. Влияние расхода воды на внутренний коэффициент теплоотдачи α_2 в созданной экспериментальной установке

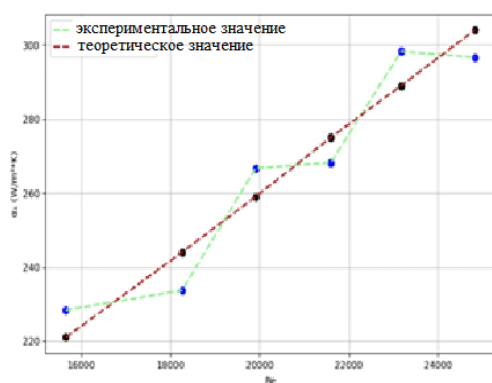


Рис.7. График экспериментальных значений влияния числа Рейнольдса на коэффициент теплоотдачи (α_1)

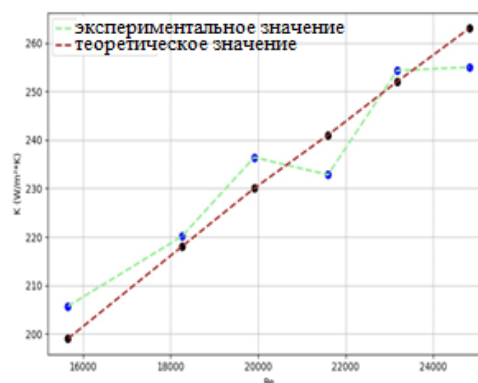


Рис.8. График экспериментальных значений влияния числа Рейнольдса на общий коэффициент теплопередачи (k)

Математическая модель теплообменного аппарата при условиях минимального аэродинамического сопротивления и максимальной конденсации (дифференциальная основа, метод Рунге–Кутты).

1. Физическая основа и цель

В ТА процессы конденсации водяного пара и гидравлического сопротивления воздушного потока протекают во взаимно противоположных направлениях. С увеличением площади поверхности теплообмена эффективность конденсации возрастает, однако одновременно увеличивается и аэродинамическое сопротивление воздуха. Цель математического моделирования заключается в определении оптимального баланса между этими двумя процессами.

На основе дифференциального моделирования и интегрирования методом Рунге–Кутты было определено оптимальное состояние, при

котором при минимальном аэродинамическом сопротивлении достигается максимальная конденсация. В результате теплообменный аппарат теплообменный аппарат обеспечивает конденсацию приблизительно 10 % водяного пара, что соответствует оптимальному значению, установленному в ходе экспериментальных исследований.

2. Математическое моделирование конденсации водяного пара в градирне

Этап 1. Определение температуры паровоздушной смеси ($t_{смесь}$)

Входящий поток представляет собой не сухой воздух, а паровоздушную смесь, обладающую определённой температурой ($t_{смесь}$) и влажностью ($d_{смесь}$). Энтальпия данной смеси определяется соответствующими термодинамическими соотношениями.

$$h_{смес} = C_{p,h} \cdot t_{смес} \cdot d_{смес} \cdot (r + C_{p\vartheta} \cdot t_{смесь}) \quad (1)$$

Здесь $t_{смесь}$ — температура паровоздушной смеси, поступающей в установку. Данный параметр определяет движущую силу теплопередачи вдоль длины труб теплообменного аппарата.

Этап 2. Новая модифицированная формула Меркеля–Льюиса

В традиционную формулу Меркеля вводится дополнительный член, учитывающий поток конденсации. В результате для рассматриваемой установки получена новая расчетная зависимость:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\alpha \cdot \sigma}{G_h \cdot C_{p,h}} [(h_s - h_a) + \kappa \cdot r \cdot (p_{смес} - p_s)] \text{ кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{м}) \quad (2)$$

Здесь: κ — коэффициент модификации.

При $\kappa > 0$ — учитывается конденсация водяного пара.

При $\kappa = 0$ — формула переходит в классическую формулу Меркеля.

$p_{смесь}$ — парциальное давление входящей паровоздушной смеси.

p_s — давление насыщенного водяного пара на поверхности водяной плёнки.

Этап 3. Поэтапное построение полной математической модели

1. Дифференциальная часть (по длине x)

Изменение температуры и влажности вдоль длины трубопровода описывается следующими дифференциальными зависимостями:

$$\frac{d t_s}{dx} = \frac{G_h}{G_s \cdot C_{p,s}} \cdot \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

$$\frac{d m_{кond}}{dx} = \kappa \cdot \beta \cdot (\rho_{смесь} - \rho_s) \cdot \sigma \quad (4)$$

Оптимизация (приравнивание производной к нулю)

Целевая функция для точки максимальной конденсации и минимального сопротивления:

$$f(Re, t_{смесь}) = \frac{\alpha(Re) \cdot \kappa \cdot (t_{смесь} - t_s)}{\Delta P(Re)} \quad (5)$$

Для определения оптимальной точки берётся частная производная по числу Рейнольдса (Re).

$$\frac{\partial f}{\partial Re} = 0 \rightarrow Re_{оптималь}^* \quad (6)$$

Интегральная часть (определение итоговой поверхности)

Полная площадь поверхности (F) определяется из следующего интегрального выражения:

$$F = G_h \cdot \int_{h_{внут}}^{h_{наруж}} \frac{dh}{\frac{\alpha}{c_p} [(h_s - h_a) + k \cdot r \cdot \Delta p]} \quad (7)$$

Этап 4. Условие минимального сопротивления и максимальной конденсации

Решение в виде системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha(Re) = 3,0679 t_s + 0,8807 t_{смесь} + 0,0199 Re + 102,5 \\ \Delta P = \xi \cdot \frac{L}{d_h} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \\ Q_{конд} = \int_0^L k \cdot r \cdot \Delta p dF = 0.10 \cdot Q_{пар} \\ \frac{d}{dRe} \left(\frac{k \cdot \alpha}{\Delta P} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (8)$$

Новая формула

$$h_{eff} = \Delta h_{Merkeli} + k \cdot \psi(t_{смесь})$$

В установке при повышенном значении $t_{смесь}$ соответствующий $k \cdot \psi(t_{смесь})$ член уравнения принимает большее значение.

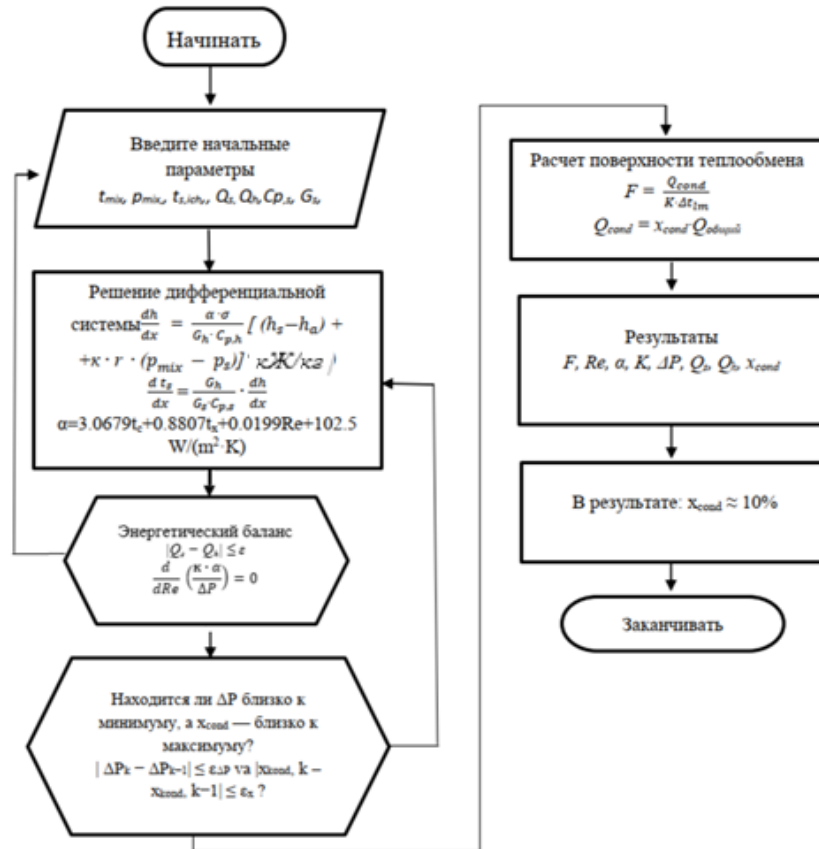


Рис.9. Алгоритм вычисления

$$F = 6905 \text{ м}^2$$

$$K = \frac{Q_{кон}}{Q_{сумма}} \quad (9)$$

$$\int_0^L k \cdot \beta \cdot (p_{смесь} - p_s) dx = 0.10 \cdot m_{пар} \quad (10)$$

Итоговый результат: на основе системы дифференциальных уравнений, решённых методом Рунге–Кутты, и эмпирических зависимостей

определяется оптимальный режим работы установки теплообменный аппарат. В модели показано, что снижение аэродинамического сопротивления позволяет сохранить максимальную поверхность теплообмена и обеспечивает конденсацию до 10 % водяного пара. Полученный результат формирует оптимальную физико-математическую основу повышения эффективности установки теплообменный аппарат (рис.9).

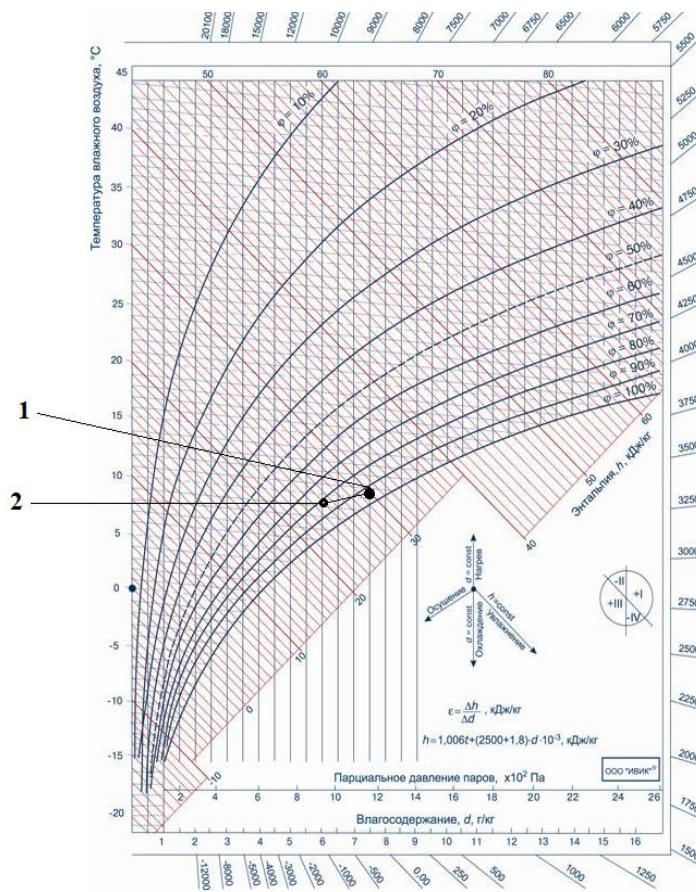


Рис. 10. Различия влажности воздуха на *i-d* диаграмме

В исследовании массово-влажностные характеристики воздуха на выходе из градирни были определены в виде психрометрических точек. До установки теплообменный аппарат выходящий воздух имел температуру 27 °С и относительную влажность 95 %. В данном случае парциальное давление водяного пара в воздухе является достаточно высоким, и после смешивания с атмосферным воздухом значительное количество влаги (пара) выбрасывается в окружающую среду (рис. 10).

Точка 1: Количество влаги в воздухе, выходящем из градирни без теплообменного аппарата.

$$t_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_1 = 95 \%, d_1 = 25,77 \text{ г/кг}, h_1 = 96,03 \text{ кЖ/кг}$$

2-я точка: Количество влаги в воздухе, выходящем из градирни после установки теплообменного аппарата.

$$t_2 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}, \varphi_2 = 82,5 \%, d_2 = 16,47 \text{ г/кг}, h_2 = 67,08 \text{ кЖ/кг}$$

В четвёртой главе диссертации, озаглавленной «**Внедрение устройства в практику и показатели эффективности**», рассмотрены вопросы

внедрения и эксплуатации предлагаемого устройства в градирнях ТЭС, а также оценены его энергетические и экономические показатели.

В градирнях Туракурганская ТЭС разработано инновационное устройство для снижения испарения воды. Устройство технологически устанавливается в верхней части градирни и обеспечивает конденсацию водяного пара в увлажнённом воздухе, выходящем в атмосферу, с последующим возвратом сконденсированной влаги в систему оборотного водоснабжения. Таким образом, значительно уменьшаются естественные потери воды и повышается эффективность работы градирни (рис.11-12).

Этапы изготовления и внедрения устройства включают:

- проектирование и изготовление элементов устройства;
- выполнение монтажных и наладочных работ;
- интеграцию в существующую систему градирни;
- проведение испытаний и ввод в эксплуатацию.

В ходе этого процесса был изучен и адаптирован международный опыт, включая технологические подходы, применяемые Министерством энергетики США и на немецких теплоэлектростанциях.

Результаты экспериментальных испытаний конденсационного модуля в условиях Туракурганской ТЭС показали, что установка позволяет добиться значительных положительных изменений в сокращении потерь циркуляционной воды. Расчеты показывают, что с помощью этого устройства можно сэкономить 525 600 м³ технической воды в год. Такой показатель имеет неопределимое практическое значение, особенно в Ферганской долине и близлежащих районах, где наблюдается усиливающийся дефицит водных ресурсов.

Результаты энергоэффективности

В ходе экспериментальных процессов при включении установки в режим работы градирни наблюдался ряд важных энергетических преимуществ:

- Гидравлическая нагрузка насосных агрегатов сократилась в среднем на 5-7 %, что увеличивает срок эксплуатации насосов и снижает потребление электроэнергии.

- Процесс конденсации пара в конденсаторах стал более стабильным, что привело к уменьшению колебаний в процессе конденсации и повышению эффективности теплообмена.

- Установлено, что коэффициент теплообмена градирни увеличился в среднем на 8-10 %, что привело к повышению общей эффективности системы охлаждения.

- Общий КПД станции улучшился на 0,5-0,7 %, что является существенным показателем для крупных объектов, таких как тепловые электростанции.

Результаты оценки экономической эффективности

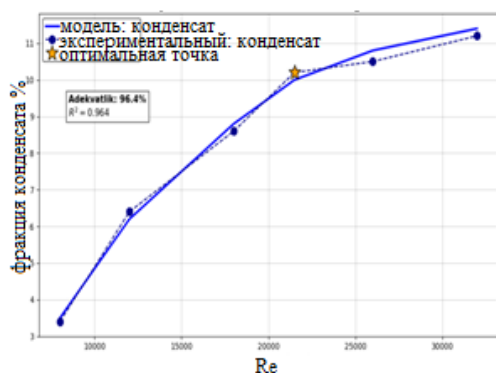


Рис.11. График адекватности экспериментальных и теоретических расчётов

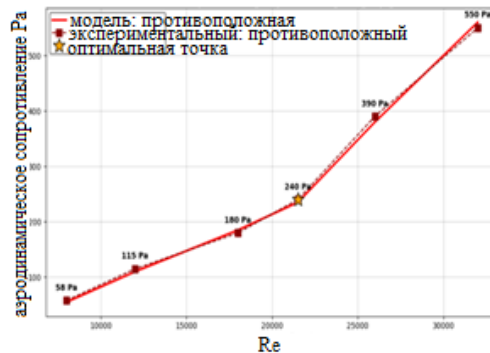


Рис.12. График адекватности экспериментальных и теоретических расчётов

Согласно выполненным расчётам, внедрение рассматриваемого устройства позволяет обеспечить экономию денежных средств в размере 756,8 млн сумов в год. Данная экономия формируется за счёт следующих факторов: при этом капитальные вложения, затраченные на изготовление и монтаж устройства, полностью окупаются в течение 5–7 лет. Таким образом, экономическая эффективность устройства подтверждается не только с практической точки зрения, но и с позиции инвестиционной целесообразности. Для сравнения потерь воды при наличии и отсутствии установленного устройства ниже приведён график зависимости потерь от температуры воздуха (рис. 13).

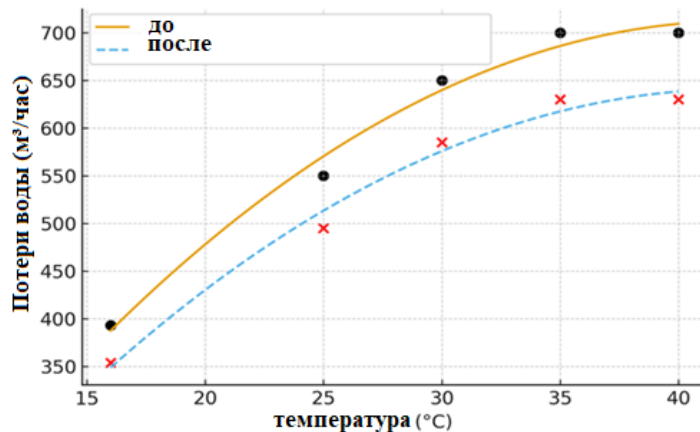


Рис.13. Потеря воды в зависимости от температуры до и после установки устройства

Сравнение с результатами, представленными в зарубежной научной литературе, показывает, что показатели, достигнутые на Туракурганкой ТЭС, характеризуются высоким уровнем эффективности. Так, объёмы конденсации воды, приведённые в работах Zhu и соавт. (2020), а также теоретические подходы, опубликованные в журнале Frontiers in Water (2024), не в полной мере соответствуют уровню практических результатов, полученных на Туракурганкой ТЭС. Это свидетельствует об

инновационности разработанной технологии и её высокой эффективности в условиях местной эксплуатации.

Таблица 2

Структура затрат на подготовку 1 м³ технической воды

Структура затрат	Цена (сумма/м ³)	Примечание
Оплата коммунальных услуг водоснабжения	203	Налог на использование природных ресурсов
Электроэнергия (насосы)	480	Для перекачки и циркуляции воды
Химические реагенты	757	Противопенные свойства, защита от коррозии и отложений солей.
Стоимость очистки воды	1 440	Общая стоимость

Таблица 3

Таблица стоимости проекта

№	Наименование показателя	Количество / Ед. изм.	Цена за единицу	Общая стоимость (USD)	Общая стоимость (UZS)
1	Материал (Анодированный алюминий)	6905 м ²	25 \$	172,625\$	2,2268 млрд
2	Установка и монтаж (10 %)	-	-	17,262 \$	222,7 млн
3	Наладка и испытательные работы (5 %)	-	-	8,631 \$	111,3 млн
4	Транспорт и логистика	-	-	4,315 \$	55,7 млн

Годовой экономический эффект: 756,8 миллионов сум

Срок окупаемости: $\frac{2\,616\,500\,000}{756\,800\,000} = 3,4$ год.

Таблица 4

Показатели эффективности

Показатели	Градирия без прибора	Градирия с прибором	Изменения (%)
Годовые потери воды (м ³)	5 250 000	4 724 400	10
Объем сэкономленной воды (м ³)	—	525 600	10
Нагрузка насоса	100 %	93–95 %	5-7
КПД (коэффициент полезного действия)	38,5 %	39,2 %	0,7
Годовой экономический эффект (сум)	—	756,8 mln	—

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение предложенного конденсационного модуля обеспечивает не только техническую и экономическую эффективность, но и способствует снижению экологической нагрузки, а также стабилизации режимов работы станции. Практическая реализация устройства полностью соответствует задачам по повышению энергетической эффективности и рациональному использованию ресурсов, определённым в нормативных документах Президента Республики Узбекистан — РП-4422, УП-60 и ЗРУ-940.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, выполненных в рамках диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) на тему «Снижение потерь циркуляционной воды в градирнях парогазовых установок», сформулированы следующие выводы:

1. Теплообменное устройство, позволяющее снизить потери воды в вентиляторных градирнях, было усовершенствовано на основе закона оребрения с учётом коэффициента оребрения $\psi = 9$. В результате обеспечено повышение интенсивности процесса теплообмена на 25–35 %.

2. На основе уравнения Merkel–Lewis equation разработан эффективный метод расчёта коэффициента конденсации ($\kappa > 0$), учитывающий изменение энергии по высоте и поток конденсации при конденсации водяного пара в градирнях. В результате получены теоретические зависимости, определяющие изменение параметров паровоздушной смеси.

3. На основе динамики распределения тепловых и массообменных потоков в теплообменном устройстве усовершенствована математическая модель определения поверхности, обеспечивающей максимальное образование конденсата и минимальное гидравлическое сопротивление, с учётом изменения энергии и энтальпии. В результате рассчитана эффективная поверхность теплообмена при гидравлическом сопротивлении 244 Па.

4. На основе закона изменения агрегатного состояния вещества под воздействием температуры, с учётом требований минимального гидравлического сопротивления в парогазовой установке, определён эффективный режим конденсации водяного пара. В результате обеспечена возможность достижения доли конденсации 10 % при минимальном гидравлическом сопротивлении.

5. Результаты исследования внедрены на Туракурганская ТЭС, где в результате применения специального теплообменного устройства в градирне достигнуто снижение потерь воды на 7–10 %. В ходе трёхмесячного мониторинга установлена возможность экономии воды в объёме 60 м³/ч, а также годовой экономический эффект в размере 756 800 000 (семьсот пятьдесят шесть миллионов восемьсот тысяч) сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC
DEGREES DSc.03/2025.28.11.T.02.01 AT
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

DADABOYEV QOBILBEK QOSIMJON OGLI

**REDUCTION OF CIRCULATING WATER LOSSES IN COOLING
TOWERS OF THE COMBINED CYCLE POWER PLANT**

05.05.04 –Industrial Thermal Energy Engineering

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF
PHILOSOPHY (PHD) IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2026

The topic of the dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences has been registered with the number No B2023.3.PhD/T3946 in the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations.

The dissertation was conducted at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is published in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the "ZiyoNet" Informational and Educational Portal (www.ziyo.net).

Academic leader:	Yunusov Bakhtiyar Xadjakbarovich Candidate of technical sciences, Professor
Official opponents:	Klichev Shavkat Isakovich Doctor of Technical Sciences, Professor Isaxodjayev Xayrulla Sunnatillayevich Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor
Leading organization:	"Thermal power project" JST


The defense of the dissertation will take place at the meeting of the Scientific Council with the number DSc.03/2025.28.11.T.02.01 at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov on the year 2026, on the "18" day of 05 at 10:30 o'clock. (Address: 100095, Tashkent city, Universitet Street, 2. Tel./fax: (99871) 207-07-37; fax: (99871) 207-14-62; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

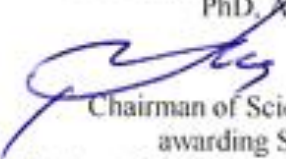
The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (registered under number 107). Address: 100095, Tashkent city, Universitet street, 2. Telephone: (99871) 207-14-70.

The abstract of the dissertation was distributed on the "02" of 05, 2026 year.
(The registry statement number dated "5" of 01.05, 2026 year).




K.R. Allayev
Chairman of Scientific Council on
awarding Scientific Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Academic


N.N. Niyozov
Scientific Secretary of the Scientific Council
for the award of Scientific Degrees,
PhD, Associate Professor


Yo.S. Abbasov
Chairman of Scientific Seminar on
awarding Scientific Degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences)

The relevance and necessity of the dissertation topic. In the world, taking into account global climate change and the problem of fresh water shortage, the need for water-saving devices in industrial enterprises and other industries that work with water is increasing. Therefore, scientists around the world are paying special attention to the issues of energy saving and reducing water waste. Currently, a lot of research is being conducted on such technologies in developed countries. Thermal power plants, as large water consumers, also consume a large amount of water, and the circulating water in the water cooling towers in them is released into the atmosphere by evaporation during cooling. This evaporated amount makes up 2 % of the cooled water. For this reason, in recent years, special attention has been paid to the development of devices aimed at reducing water waste at power plants.

The aim of the research is to reduce circulating water losses in the cooling towers of a combined-cycle gas turbine plant by condensing the circulating water vapor.

The objectives of the research are as follows:

- scientific and technical analysis of efforts to improve the efficiency of water treatment systems and cooling towers at combined-cycle thermal power plants;
- study of basic concepts of water treatment systems at thermal power plants;
- review of information on water treatment systems at thermal power plants;
- examination of general information on the design and operating principle of cooling towers;
- conceptual diagram of the water vapor capture system;
- evaluation of optimal parameters and economic, environmental characteristics in the operational mode of additional devices used in cooling towers.

The object of the research is the water cooling tower of thermal power plants with a combined-cycle power unit.

The subject of the research is the principles of reducing losses through condensation of evaporating water in the water cooling tower, as well as its technical improvement and adaptation to climatic conditions.

The methods of the research the Merkel method for mathematical calculations, as well as methods of experimental observation, measurement, and comparative analysis.

The scientific novelty of the research is as follows:

An improved heat exchange device has been developed to reduce water loss in fan-driven cooling towers by up to 10 %, taking into account a finning coefficient of $\psi = 9$ based on the law of finning;

Based on the Merkel–Lewis equation, an effective method for calculating the condensation coefficient has been developed, expressing the energy change of water vapor along the height of fan-driven cooling towers and accounting for the condensation flux ($\kappa > 0$);

Based on the dynamics of heat and mass flow distribution in the heat exchanger, a mathematical model has been enhanced to determine the surface for

maximum condensate and minimum hydraulic resistance, incorporating energy and enthalpy changes;

Based on the law of phase transition under temperature influence, an optimal water vapor condensation regime has been identified for combined-cycle plants, considering the requirement for minimum hydraulic resistance.

The practical results of the research are as follows:

Reduction of water vapor losses by 10 % in a cooling tower with a water cooling capacity of 35 000 $m^3/hour$, where the initial loss was 600 $m^3/hour$. This is achieved through condensation in a heat exchanger with water at 16°C, resulting in water savings of 60 $m^3/hour$.

Software has been developed and recommended for reducing technical water losses in cooling towers of modern thermal power plants (No. DGU 13044 dated 16.11.2021).

Reliability of the research results. The reliability of the research results is ensured by the use of high-precision measuring instruments, multiple measurements, and is further confirmed by implementation in production.

Scientific and practical significance of the research results. The scientific and practical significance of the research results lies in proposing a new approach to mathematical modeling of the process of reducing water losses through condensation in the water cooling tower and minimizing the station's need for new water. Additionally, principles for maintaining the steam condensing heat exchanger installed in the cooling tower have been formulated.

The practical significance of the research results is demonstrated by the potential application of a station cooling tower that provides an effective solution to the problem of water loss at the station without altering the existing infrastructure.

Publication of research results. A total of 16 scientific works have been published on the topic of the dissertation, A patent application for one utility model has been submitted and is currently under substantive examination, 7 articles in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing the main scientific results of doctoral (PhD) dissertations, of which 4 are in national and 3 in foreign scientific journals, as well as 1 in collections indexed in the Scopus database. Additionally, 1 certificate of registration for a computer program has been obtained.

Volume and Structure of the Dissertation. The dissertation comprises an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation amounts to 107 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I chast, part I)

1. Yunusov B.X., Dadaboyev Q.Q. Bug' – gaz qurilmasi gradirnyalarida aylanma suv isrofini kamaytirish // Research focus, 2023. № 9. pp. 17- 23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8377608>
2. Yunusov B.X., Dadaboyev Q.Q. Hydro-aerodynamic, thermal and technological processes to reduce circular technical water waste in the heating power plant // IJARSET, 2025. № 8. pp. 23767-23772. (05.00.00; №8).
3. Yunusov B.X., Dadaboyev Q.Q., Bug'-gaz qurilmali issiqlik elektr stansiyasi gradirnyasida aylanma texnik suv isrofini kamaytirish va issiqlik jarayonlarini o'rganish uchun mo'ljallangan tadqiqot qurilmasi // Research focus, 2025. № 9. pp. 87-96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17320451>
4. Yunusov B.X., Dadaboyev Q.Q. Reduction of circulating water waste in steam – gas plant coolers // Scientific – Technical journal of FerPI, 2024. Tom 28. № 6. pp. 224 – 227. (05.00.00; №20).
5. Yunusov B.X., Dadaboyev Q.Q., Tursunov M.Ch. Bug' – gaz qurilmali issiqlik elektr stansiyalari va ularda suvning ahamiyati // FarPI Ilmiy – texnika jurnali, 2025 T.29, №. 4 pp. 77-80. (05.00.00; №20).
6. Kuchqarov B.X., Dadaboyev Q.Q. Zamonaviy issiqlik elektr stansiyalarida texnik suv bilan ta'minlash // Monografiya. UO'K: 621.311.22, KBK: 31.37, Q-88, D-19, ISBN: 978-9943-7895-1-7, 2021. “Usmon Nosir media” nashriyoti.
7. Yunusov B.X., Dadaboev Q.Q., Kurbanbaeva M.Sh., Justification of the principal diagram of a heat exchange device used in a cooling tower module of a thermal power plant // Science and Education in Karakalpakstan, 2025. №3/2. ISSN 2181-9203, Pp. 268-271(05.00.00; №27).
8. Yunusov B.X., Agzamov Sh.K., Dadaboyev Q.Q., Issiqlik elektr stansiyalarida suvdan foydalanish va suvni qayta ishlash // O'zbekgidroenergetika ilmiy jurnali, 2025. №3/27, ISSN 3060-4672, pp. 144-148 (05.00.00). <https://oak.uz/pages/4802>

II bo'lim (II chast, part II)

1. Dadaboyev Q.Q., Yunusov B.X., Steam gas plant reducing circulating water waste in water cooling towers // Proceedings of the 11th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAiIT), November 2023. Pp. 149-153. https://icaiit.org/paper.php?paper=11th_ICAIIT_2/5_5
2. Dadaboyev Q.Q. Zamonaviy issiqlik elektr stansiyalaridagi sovituvchi minorani rekonstruksiya qilish orqali texnik suv isrofini kamaytirishning dasturiy ta'minoti // O'zbekiston Respublikasi Adliya Vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU13044. 16.11.2021 yil.

3. Dadaboyev Q.Q., Yunusov B.X., Bug‘ – gaz qurilmali gradirnyalarida aylanma suv isrofini kamaytirish // “Informatsion texnologiyalar va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirishda nanofizika va fotoenergetika sohalarining zamonaviy muammolari va yechimlari” xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami, 25-26- oktabr Namangan 2023. 7-11.

4. Дадабоев Қ.Қ., Рахмоналиев Б.Ш., Холодильник в современных тепловых станциях технические воды при реконструкции башня снижение // «Материалы международной научно-практической конференции на тему “Перспективы энергетики и современные решения проблем”», 28–29 октября, Наманган, Узбекистан, 2022 г., с. 252–254.

5. Юнусов Б.Х., Дадабоев К.К., Снижение потерь оборотной воды в градирнях парогазовой установки // Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве», Ташкент – 2024. с. 381–382.

6. Dadaboyev Q.Q., Bug‘-gaz qurilmasi gradirnyalaridagi aylanma suv isrofini kamaytirish // “Yangi O‘zbekistonning umidli yoshlari” 2022 yil 28 fevral. 15-21 b.

7. Dadaboyev Q.Q., Issiqlik elektr stansiyalarida texnik suv isrofini barataraf etish // Central Asian research journal for interdisciplinary studies (carjis) volume 2 | issue 1 | 2021. p.41-47.

8. Dadaboyev Q.Q., Refrigerator in modern heating power stationstechnical water waste through reconstruction of the towerreduction // International journal of philosophical studies and social sciences. Vol 1, Issue 3 2021. p. 96-101.