

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMiy DARAJALAR BERUVCHI DSc.17/04.06.2021.T.06.02
RAQAMLI ILMiy KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
FANLAR AKADEMIYASI NAVOIY BO‘LIMI**

PARDAYEVA SHAHLO SAXIBJONOVNA

**KON KOMPRESSOR USKUNALARINI SOVUTISH TIZIMINI
TAKOMILLASHTIRISH**

04.00.16 – Konchilik mashinalari

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

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

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

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

Pardayeva Shahlo Saxibjonovna

Кон компрессор uskunalarini sovutish tizimini

takomillashtirish.....5

Пардаева Шахло Сахибжонова

Совершенствование системы охлаждения рудничных компрессорных

установок.....23

Pardayeva Shahlo Sakhibjonovna

Improvement of the cooling system of mine compressor

units.....42

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.17/04.06.2021.T.06.02
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
FANLAR AKADEMIYASI NAVOIY BO‘LIMI**

PARDAYEVA SHAHLO SAXIBJONOVNA

**KON KOMPRESSOR USKUNALARINI SOVUTISH TIZIMINI
TAKOMILLASHTIRISH**

04.00.16 – Konchilik mashinalari

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida №B2025.1.PhD/T5279 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Navoiy bo‘limida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ndki.uz) va «Ziyonet» Axborot ta’lim portaliga (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Djurayev Rustam Umarxanovich
texnika fanlari doktori (DSc), professor

Rasmiy opponentlar:

Muminov Rashid Olimovich
texnika fanlari doktori (DSc), dotsent

Yuldoshov Husniddin Ergashovich
texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

Yetakchi tashkilot:

«Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ

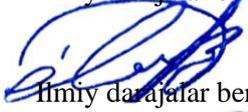
Dissertatsiya himoyasi Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti huzuridagi DSc.17/04.06.2021.T.06.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil 28-noyabr soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. Manzil: 210100, Navoiy shahri, G‘alaba Shoh ko‘chasi 76v-uy. Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti majlislar zali. Tel.: (79) 223-04-40; faks: (79) 223-49-66; e-mail: info@nsmtu.uz, nsmi@gmail.com.

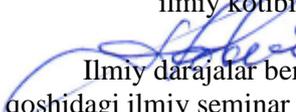
Dissertatsiya bilan Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (237-raqam bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 210100, Navoiy shahri, G‘alaba Shoh ko‘chasi, 76v -uy. Tel.: (79) 223-56-90; faks: (79) 223-00-55.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «13» noyabr kuni tarqatilgan.
(2025 yil «13» noyabr 162 raqamli reestr bayonnomasi).




I.T.Mislibayev
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
raisi, t.f.d., professor


I.P.Egamberdiyev
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
ilmiy kotibi v.b., t.f.d., professor


N.A.Abdouazizov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
goshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda foydali qazilmalarni qazib olishning texnologik jarayonlarida, siqilgan havo energiya tashuvchi funksiyasini bajarish kon mashinalarining va boshqa pnevmatik energiya iste'molchilarining ekspluatatsiya ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir qiladi. Konchilik sohasida kon kompressorlarining ekspluatatsiyasi davomida resurs va energiya sarflarini tejash orqali siqilgan havo ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Porshenli kompressorning ekspluatatsiya samaradorligining katta hissi uning sovutish tizimi ishiga bog'liq bo'lib, ularning ko'rsatkichlarini yaxshilash siqilgan havo ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Siqilgan havoning keng qo'llanilishi sanoat korxonalarida siqilgan havoni ishlab chiqarish jarayonida samarali yechimlarni ishlab chiqish va kompressor uskunalari ekspluatatsiyasining energiya samaradorligini oshirish orqali ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish alohida ahamiyat kasb etadi.

Bugungi kunda kon porshenli kompressor uskunalaridan samarali foydalanish, kompressorlar ishiga salbiy ta'sir etuvchi omillarni aniqlash, sovutish tizimi ishini kompressor samaradorligiga ta'sirini tadqiq qilish va kompressorda siqilayotgan havoni oraliq va so'nggi sovutgichlarda sovutishda energiya tejamkorligining samarali texnik yechimlarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada siqilgan havoning sovutilganlik sifatini kompressor uskunasi samaradorligiga ta'sirini o'rganish, sovutish tizimini takomillashtirish asosida kompressor uskunalarining ish samaradorligini oshirish uchun ilmiy asoslarni ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda foydali qazilmalarni qazib olish ishlarini jadallashtirish, kon kompressor uskunalarining ekspluatatsiya ko'rsatkichlarini oshiruvchi samarali usullarni tadqiq qilish, kompressorning energiya va resurs sarflarini kamaytirish bo'yicha ilg'or ilmiy asoslangan chora-tadbirlar joriy qilinib, bir qator ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmonida¹ «ishlab chiqarishni jadal rivojlantirishga qaratilgan sifat jihatidan yangi bosqichga o'tkazish orqali sanoatni yanada modernizatsiya va diversifikatsiya qilish, prinsipial jihatdan yangi texnologiya turlarini o'zlashtirish, energiya va resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishga energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish...» kabi muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalardan kelib chiqqan holda, kon kompressor uskunalarining samaradorligini oshirish va siqilgan havo ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi, 2015-yil 4-martdagi PF-4707-son «Ishlab chiqarishni strukturaviy qayta tuzish, modernizatsiyalash va diversifikatsiyalashni ta'minlash bo'yicha 2015-2019-yillarga mo'ljallangan chora-tadbirlar dasturi to'g'risida»gi Farmonlari va 2019-yil 17-yanvardagi PQ-4124-son «Kon-metallurgiya tarmog'i korxonalarini faoliyatini yanada

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida» gi Farmoni

takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika ilm-fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyasini rivojlantirishning VII. «Yer to'g'risidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xomashyolarni qayta ishlash)» ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Kompresor uskunalaridan samarali foydalanish nazariyasi va amaliyotini rivojlanishiga M.I. Frenkel, P.I. Plastinin, A.V. Dokukin, V.A. Murzin, Yu.A. Seytlin, M.V. Merkulov, R.U. Djurayev, B.S. Fotin, N.G. Kartaviy, V.A. Durov, A.P. Frolov, Yu.N. Minyayev, D.L. Garbuz, A.P. German, A.S. Ilichev, A.P. Grishko, G. Lemasson, J. Lefebvre, P. Bloch. Heinz, K. Geitner. Fred, A.G. Stapel va boshqalar katta hissa qo'shishgan, ular tomonidan kon kompressor uskunalarini samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirish bilan bog'liq katta natijalarga erishilgan. Biroq bugungi kunda sovutish tizimini takomillashtirish asosida kon kompressor uskunalarining samaradorligini oshirish, siqilgan havoning sovutilganlik darajasini kompressor uskunasi samaradorligi va energiya sarfiga ta'siri to'liq tadqiq qilinmagan.

Shu munosabat bilan konchilik sanoati uchun muhim bo'lgan kon kompressor uskunalarining sovutish tizimini o'rganish va energiya samaradorligini oshirish zaruriyati yuzaga keladi va bu yo'nalishda keyingi tadqiqotlarni davom ettirish lozim.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik instituti ilmiy-tadqiqot rejasining YoBV-Atex-2018-22-son «Skvajinalarni havo yordamida burg'ilashning samaradorligini oshirish uchun resurs tejankor texnologiyalarni ishlab chiqish» mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi sovutish tizimini takomillashtirish asosida kon kompressor uskunalarining ekspluatatsion samaradorligini oshirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

porshenli kompressor uskunalarining sovutish tizimi samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlari va holatining tahlili;

kompressor gradirnyali sovutkichining suv purkash forsunkasida sachratilayotgan suvning sovush jarayonining matematik modelini ishlab chiqish;

porshenli kompressorlarning oraliq havo sovutkichlari issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum hosil bo'lishining sovutilish samaradorligiga ta'sirining matematik modelini ishlab chiqish;

gradirnyali sovutkich samaradorligini oshiruvchi texnik yechimlarni ishlab chiqish;

kompressorlarning oraliq va so'nggi sovutkichlarida qurum hosil bo'lishini bartaraf etuvchi qurilma konstruksiyasini yaratish;

taklif etilgan texnik yechimlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligini baholash.

Tadqiqotning obykti sifatida kompressorlarning havo sovutkichlari metal yuzalarida qurum hosil bo'lishi jarayonlari va kon kompressorlarining energiya samarador ekspluatatsiyasi olingan.

Tadqiqotning predmetini kon kompressorlarining sovutish tizimi tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida kon kompressor uskunalarning sovutish tizimini takomillashtirishda nazariy va eksperimental usullar, laboratoriya va sanoat sharoitida eksperimental tadqiqotlar, kompressor uskunalarning ishchi jarayonlarini matematik modellashtirish va matematik statistika usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

kompressorning gradirnyali sovutkichida purkalanayotgan suvning sovutilish samaradorligiga ta'sir etuvchi ko'rsatkichlarni hisoblash imkonini beruvchi matematik model yaratilgan;

ishlab chiqilgan gradirnyali sovutkichning uyurmali suv purkash forsunkasining suvni samarali sovutilishi uyurmali forsunka kuraklarining joylashuv burchaklari va radiusiga bog'liqligi o'rnatilgan hamda uyurmali forsunkaning optimal konstruktiv parametrlari aniqlangan;

porshenli kompressorlarning oraliq havo sovutkichlari issiqlik almashinuvi yuzalarida hosil bo'ladigan qurum qalinligining issiqlik almashinuvi jarayoniga salbiy ta'siri kattaliklarini hisoblash imkonini beruvchi matematik modeli ishlab chiqilgan;

kompressorning oraliq va so'nggi havo sovutkichini metall quvurlari ichki yuzalaridan qurumni samarali tozalashda ultratovushli akustik qurilma hosil qiladigan tebranishlar amplitudasi chastotasi va impulslar davomiyligining optimal kattaliklari aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

kompressorni sovutuvchi aylanma suvning haroratini bazaviy forsunkaga nisbatan 6°C gacha yaxshi sovutish imkonini beruvchi uyurmali suv purkash forsunkasi ishlab chiqilgan;

kompressor havo sovutgichlarining issiqlik almashinuvi uskunalari yuzalarida qurum ko'rinishidagi ifloslovchi qatlamlarni tozalash va ularning hosil bo'lishini bartaraf etish imkonini beruvchi ultratovush qurilmasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi keng miqyosdagi laboratoriya va sanoat sharoitidagi tajribalar, kon kompressor uskunalarning ekspluatatsiyasini energiya samarador usullarini ishlab chiqishda ishning asosiy g'oyasining miqdoriy ko'rsatkichlari va qoniqarli darajada muvofiqligi, shuningdek, kon kompressor uskunalarning ekspluatatsiyasining samaradorligini oshirish maqsadida sovutish tizimining ishini takomillashtirish bo'yicha ishlab chiqilgan texnik yechimlarning eksperimental sinovlarining ijobiy natijalari bilan isbotlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati siqilgan havoning sovutilganlik darajasining kompressor uskunasi samaradorligiga ta'sirini tadqiq qilish, ko'p pog'onali porshenli kompressorlarning sovutish tizimi ishini matematik modellashtirish va sovutish tizimini takomillashtirish asosida kon kompressor uskunalarning samaradorligini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati kompressorning gradirnyali sovutgichining suv purkovchi forsunkalarining yangi konstruksiyasi hamda oraliq va so'nggi havo sovutkichlar issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum hosil bo'lishini bartaraf etuvchi ultratovush qurilmasini ishlab chiqish, kompressor uskunalari ekspluatatsiyasining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Sovutish tizimini takomillashtirish natijasida kon kompressor uskunalarning samaradorligini oshirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

Kompressor gradirnyali sovutgichining suv taqsimlash moslamasidagi suv purkash forsunkasi «Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ «Angren» kon boshqarmasi «Qizil olma» konining kompressor stansiyasida amaliyotga joriy etilgan («Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ ning 2023-yil 12-dekabrda 12-23/61-2894-son ma'lumotnomasi). Natijada suv purkash forsunkasining ishchanligi va samaradorligi oshganligi aniqlandi hamda sovutuvchi aylanma suvning haroratini bazaviy forsunkaga nisbatan 6°C gacha yaxshi sovutish imkonini bergan;

Kompressor havo sovutgichlarining issiqlik almashinuvi uskunalari yuzalarida qurum ko'rinishidagi ifloslovchi qatlamlarni tozalash va ularni hosil bo'lishini bartaraf etish imkonini beruvchi ultratovush qurilmasi «Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ «Angren» kon boshqarmasi «Qizil olma» konining kompressor stansiyasida amaliyotga joriy etilgan («Olmaliq kon-metallurgiya kombinati» AJ ning 2023-yil 12-dekabrda 12-23/61-2894-son ma'lumotnomasi). Natijada havo sovutgichlarida qurum hosil bo'lishini 95% gacha kamaytirishga hamda kompressorning kutilmagan to'xtalishlar sonini 35% gacha kamaytirishga va oraliq sovutgichda siqilgan havoning samarali sovutilishi evaziga kompressorning havo siqish uchun sarflanadigan energiya sarfini 2% gacha kamaytirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarini aprotatsiyasi. Mazkur tadqiqotning natijalari 2 ta respublika va 2 ta xalqaro ilmiy-amaliy anjumanlarda aprotatsiyadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 12 ta ilmiy ishlar chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta, jumladan, Respublika nashrlarida 4 ta va xorijiy jurnallarda 2 ta maqola nashr etilgan va EHM uchun kompyuter dasturiy mahsulotiga 2 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 116 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning ahamiyati va dolzarbligi asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obykti va predmeti aniqlangan, tadqiqot ishining Respublikada fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan hamda tadqiqotning ilmiy yangiligi, natijalarning ishonchliligi, nazariy va amaliy ahamiyati, natijalarning amaliyotga joriy etilishi, e'lon qilinganligi, ishning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Kon kompressor uskunalarning ekspluatatsiyasining xususiyatlari va zamonaviy holatining tahlili**» deb nomlangan birinchi bobida kompressor uskunalarning konchilik sanoatida qo'llanilishi, porshenli kompressor uskunalarning sovutish tizimi ishining tahlili, dissertatsiya mavzusi bo'yicha ilmiy tadqiqotlar holatining tahlili hamda porshenli kompressor uskunalarning ishini takomillashtirishning asosiy yo'nalishlarining zamonaviy holati va muammoning yuzaga kelishi sabablari keltirilgan.

Porshenli kompressor uskunalarining sovutish tizimida qo'llaniladigan gradirnyali sovutkichlar sovutuvchi aylanma suv haroratini 18-20 °C gacha pasaytirishi talab etiladi, ammo yoz mavsumida atrof-muhit haroratining keskin ortib ketishi, gradirnyali sovutkichlar konstruksiyasining eskirishi, kompressorlar ish tartiblarining o'zgarishi, kompressorga tushadigan yuklamalarning ortib ketishi natijasida gradirnyali sovutkichlar sovutuvchi suv haroratini talab darajasigacha pasaytira olmaydi va haqiqatda aylanma suvning harorati 24-26°C ni tashkil etadi, bu esa o'z navbatida, kompressor ekspluatatsiyasi davomida bir qator muammolarni keltirib chiqaradi.

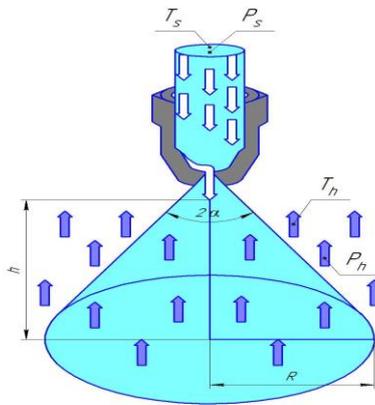
Ko'p pog'onali porshenli kompressorlarning birinchi bosqichidan ikkinchi bosqichiga uzatilayotgan siqilgan havoni oraliq sovutkichlarda haroratini yaxshi pasaytirmaslik kompressorning havo siqishga sarflaydigan energiya sarfining oshib ketishiga olib keladi. Oraliq sovutkichda havo haroratining har 6°C ga ortishi, havo siqishga sarflanadigan energiya sarfini 1% ga orttiradi. Oraliq sovutkichlarning ishining yomonlashuviga olib keluvchi asosiy sabablardan biri bu, ularning issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum hosil bo'lishi hisoblanadi.

Dissertatsiyaning «**Porshenli kompressor uskunalarining sovutish tizimi ishini matematik modellashtirish**» deb nomlangan ikkinchi bobida Kompressorning gradirnyali sovutkichining suv purkash forsunkasida sachratilayotgan suvning sovush jarayonining matematik modeli hamda porshenli kompressorlarning oraliq havo sovutkichlari issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum hosil bo'lishining sovutilish samaradorligiga ta'sirining matematik modeli ishlab chiqilgan.

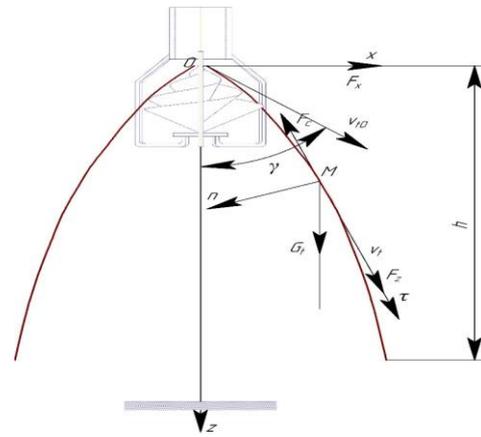
Gradirnyali sovutkichlarda aylanma suvni sovutish jarayoniga salbiy ta'sir etuvchi omillarni o'rganish va sovutish jarayonini yaxshilash imkoniyatlarini aniqlash maqsadida forsunkada sachratilayotgan suvning sovush jarayonlari matematik modellashtirildi.

Maksimal tomchi sirtini ta'minlash, suyuqlikni minimal o'lchamdagi tomchilarga bo'lish vazifasi purkovchi forsunka elementlarining geometrik parametriga bog'liq. Purkash burchagini aniqlash uchun, odatda, to'rtta muhim parametr qo'llaniladi: purkash burchagi, haqiqiy purkash sohasi, samarali purkash burchagi, nazariy purkash sohasi.

Suvning purkalish davomida ta'sir etuvchi ko'rsatkichlarni ko'rib chiqamiz, 1 va 2-rasmlarda suvni forsunkada purkash davomida sovutilish samaradorligiga ta'sir etuvchi kursatkichlar hamda suv tomchisining havo muhitidagi harakat trayektoriyasi keltirilgan. Bundan kelib chiqib, suv haroratining o'zgarishi $h, 2\alpha, R$ parametrlariga bog'liqligini o'rnatamiz, ya'ni $T = f(h, 2\alpha, R)$ funksiyalar yaratishimiz kerak.



1-rasm. Suvning purkash jarayonida sovitilishga ta'sir etuvchi ko'rsatkichlar



2- rasm. Suv tomchisining havo muhitidagi harakat trayektoriyasi

Suv tomchisining forsunka uchidan yergacha tushishda geometrik kattaliklarni dinamikaning 2-masalasi orqali ifodalaymiz.

Kuchlar sistemasi:

$$\begin{cases} \sum F_z = G_t - F_q \cdot \sin(90 - \gamma); \\ \sum F_x = -F_q \cdot \cos(90 - \gamma); \end{cases} \quad (1)$$

bu yerda G_t – suyuqlik tomchisining og'irlik kuchi, N ; F_q – havoning qarshilik kuchi, N ; γ – suyuqlikning harakat yo'nalishidagi burchagi, grad.

$$\begin{cases} \frac{mdv_z}{dt} = mg - \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \sin(90 - \gamma); \\ \frac{mdv_x}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \cos(90 - \gamma); \end{cases} \quad (2)$$

bu yerda m -suv tomchisining massasi, g ; v_z va v_x – suyuqlikning z va x o'qlaridagi tezliklar proyeksiyasi, C_x -aerodinamik qarshilik koeffitsiyenti (tomchining sferik shakli uchun $C_x = 0,5$), ρ_{havo} – havoning zichligi, kg/m^3 , v_h – havoning tezligi, m/s ; t – suv tomchisining tushish vaqti, *sek*; C_1 va C_2 – integral ozod hadlari; S_t – suv tomchisining kesim yuzasi, mm^2 .

Tomchining koordinata o'qlaridagi harakati tezliklari quyidagicha ifoda qilinadi:

$$v_x = v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot t; \quad (3)$$

$$v_z = v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot t. \quad (4)$$

bu yerda g – erkin tushishning tezlanishi, m/s^2 .

Tomchining haqiqiy tezligini $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$ hisobga olib, koordinata o'qlaridagi harakat tenglamasini quyidagicha ifoda qilamiz:

$$\begin{cases} x = t \cdot \left(v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \\ z = t \cdot \left(v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \end{cases}; \quad (5)$$

Agar $x = R$ va $z = h$ deb qarash, yuqoridagi (5) tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{cases} R = t \cdot \left(v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \\ h = t \cdot \left(v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{havo} \cdot v_h^2 \cdot S_t \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \end{cases}, \quad (6)$$

bu yerda z va x – suyuqlikning koordinatalar bo‘yicha bosib o‘tgan masofasi, m ; R – fakelning radiusi, m ; h - fakelning balandligi, m .

Forsunka tirqish diametri orqali vaqt birligida otilib chiqayotgan suv hajmi Bernulli tenglamasiga asosan:

$$\int dV_{suv} = \int \pi \cdot r^2 \cdot v \cdot dt = \pi \cdot r_t^2 \cdot v \cdot t, \quad (7)$$

bu yerda r – forsunka tirqishi diametri, m .

Havoning massasi (m_{havo}) quyidagicha ifodalanadi:

$$m_{havo} = \rho_{havo} \cdot V_{havo} = \rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r_t^2 \cdot L; \quad (8)$$

$$\tan \gamma = \frac{r_t^2}{L}. \quad (9)$$

suv tomchisining radiusini r_t (9) ifoda orqali aniqlaymiz:

$$r_t^2 = L \cdot \tan \gamma. \quad (10)$$

Suv tomchisining radiusini hisobga olib, havoning massasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$m_{havo} = \rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 \cdot L = \rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L^3 \cdot (\tan \gamma)^2; \quad (11)$$

Agar suv tomchising tushish tezligini (v) quyidagi ko‘rinishda ifodalasak,

$$v = \frac{l}{t} = \frac{\sqrt{L^2 + \left(\frac{r_t}{4}\right)^2}}{t} = \frac{\sqrt{4 \cdot L^2 + L^2 \cdot (\tan \gamma)^2}}{2 \cdot t}, \quad (12)$$

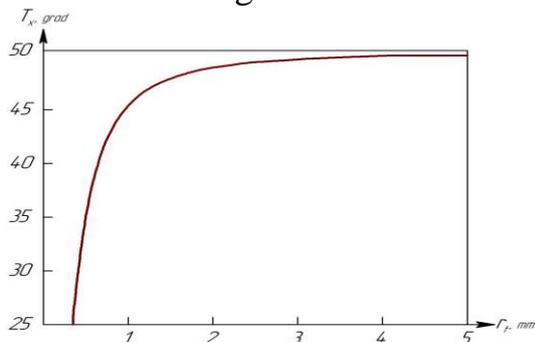
quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \rho_{suv} \cdot r_t^2 \cdot \frac{2}{\cos \gamma} \cdot T_0 + \rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 \cdot T_h = \\ = T_x \cdot \left(\rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 + \rho_{suv} \cdot r_t^2 \cdot \frac{1}{\cos \gamma} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

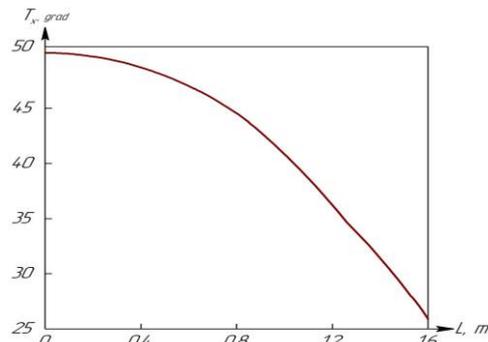
suvning sovush haroratini (T_x) (13) tenglama orqali quyidagicha ifodalaymiz:

$$T_x = \frac{\frac{1}{2} \rho_{suv} \cdot r_t^2 \cdot \frac{2}{\cos \gamma} \cdot T_0 + \rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 \cdot T_h}{\left(\rho_{havo} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 + \rho_{suv} \cdot r_t^2 \cdot \frac{1}{\cos \gamma} \right)}; \quad (14)$$

Yuqoridagi (14) ifodadan kelib chiqqan holda haroratni tomchining radiusiga $T_x(r_t)$ hamda uning bosib o‘tgan yo‘lining uzunligiga $T_x(L)$ bog‘lagan holda haroratning suv tomchisiga va suv tomchisi bosib o‘tgan yo‘lining uzunligiga bog‘liqliklarni keltirishimiz mumkin, ushbu bog‘liqliklar 3 va 4-rasmlarda grafik ko‘rinishida keltirilgan.



3-rasm. Purkanalayotgan suv haroratining tomchi radiusiga bog‘liqligi



4- rasm. Purkanalayotgan suv haroratining tomchining tushish balandligiga bog‘liqligi

Yuqoridagi (14) ifodadan va 3 va 4-rasmlarda keltirilgan grafiklardan kelib chiqib shu isbotlandiki, gradirnyada purkalanayotgan suvning sovutilish samaradorligi suv tomchisining radiusiga va tushish balandligiga, ya'ni bosib o'tgan yo'lining uzunligiga bog'liq bo'ladi.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan matematik model forsunkada sachratilayotgan suvning samarali sovutilishiga ta'sir etuvchi ko'rsatkichlarni aniqlash imkonini berdi. Gradirnyada suv sovutilishining samaradorligini oshiruvchi forsunka konstruksiyasini yaratishda, suvni purkash jarayonida suvni mayda zarralarga ajratishi, tomchilarini kichik hajmgacha parchalashi va tomchi tushish uzunligining oshishi hisobga olinishi kerak.

Kompressorning oraliq va so'nggi havo sovutkichlari suv bilan sovutiladi, suvning qattiqligi yuqoriligi va haroratining oshib ketishi issiqlik almashinuvi jarayonini yomonlashtiradi, bu esa o'z navbatida, siqilayotgan havoning sovutilishini yomonlashtiradi va kompressorning samaradorligiga salbiy ta'sir etadi.

Havo sovutkichi quvurlarida issiqlik r_1 ichki yuzadan r_2 tashqi sirtga o'tkaziladi, harorat o'q bo'ylab emas, balki radius bo'ylab o'zgarishini hisobga olish kerak. Shuning uchun silindrsimon shakl uchun issiqlik oqimining zichligini, asosan, radius orqali bog'laymiz.

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dr}. \quad (15)$$

Issiqlik uzatish tenglamasi:

$$Q = q \cdot F = -\lambda \cdot \frac{dT}{dr} \cdot F, \quad (16)$$

bu yerda F – ko'rib chiqilayotgan yuza, m^2 .

Bundan kelib chiqib, silindr sohasining yuzasi quyidagicha bo'ladi:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L, \quad (17)$$

bu yerda r – quvur radiusi, m ; L – quvur uzunligi, m .

Yuqoridagi issiqlik uzatish tenglamasini radius bo'yicha integrallasak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} -\lambda \cdot \frac{dT}{dr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot dr; \quad (18)$$

Harorat gradiyentini esa quyidagicha yozish mumkin:

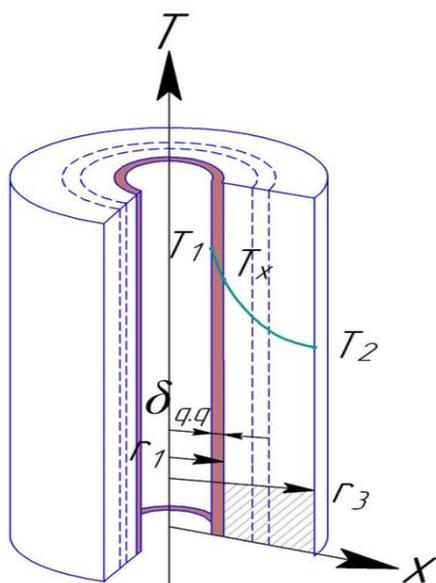
$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}. \quad (19)$$

Integrallash natijasida issiqlik uzatish tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$Q = \lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{\delta_{q,q}}{r_1}\right)}, \quad (20)$$

bu yerda T_1 – quvur ichidagi suyuqlikning harorati, °C; T_2 – quvur tashqi qismidagi siqilgan havoning harorati, °C; r_1 – quvurning ichki radiusi, m ; $\delta_{q,q}$ – quvur ichki devorlarida hosil bo'lgan qurum qatlaminin qalinligi, m .

Agar qurum quvur devorlarining ichki qismida hosil bo'lsa, u holda issiqlik almashinuvi 2 ta qatlam orqali amalga oshiriladi. Bunda birinchi navbatda, quvur materiali orqali, keyin esa quvurning ichki qismida hosil bo'lgan qurum orqali amalga oshadi. Quvur ichki devorlarida qurum hosil bo'lishining issiqlik almashinuvi jarayoniga ta'siri 5-rasmda keltirilgan.



5 – rasm. Quvur ichki devorlarida qurum hosil bo‘lganini issiqlik almashinuvi jarayoniga ta’siri

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda issiqlik uzatish tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_2)}{\left(\frac{\ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right) \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right)}{\lambda_{qurum} + \lambda_{metall}} \right)}; \quad (21)$$

bu yerda r_3 – quvurning tashqi radiusi, m;

Agar issiqlik almashinuvi qurum hamda metall quvur orqali kechadigan bo‘lsa, u holda issiqlik balansi quyidagicha bo‘ladi:

$$Q_{qurum} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_{qurum} \cdot (T_1 - T_x)}{\ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right)}; \quad (22)$$

bu yerda λ_{qurum} – qurumning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/m K; $T_1 - T_x$ – issiqlik uzatuvchi va qurumning tashqi yuzasi o‘rtasidagi haroratlar farqi.

Hosil bo‘lgan qurumning qalinligini hisobga olgan holda, quvurning issiqlik uzatish tenglamasini quyidagicha ifodalaymiz:

$$Q_{metall} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_{metall} \cdot (T_x - T_2)}{\ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right)}; \quad (23)$$

bu yerda λ_{metall} – metall quvurning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/m K; r_3 – quvurning tashqi radiusi, m; $T_x - T_2$ – quvurning ichki hamda tashqi yuzalari o‘rtasidagi haroratlar farqi.

Issiqlik uzatish tenglamasi quyidagicha:

$$Q_{qurum} = Q_{metall}; \quad (24)$$

Issiqlik balansi va quvurning issiqlik uzatish tenglamasini inobatga olib, tenglamalarni soddalashtirsak, quyidagi tenglama hosil bo‘ladi:

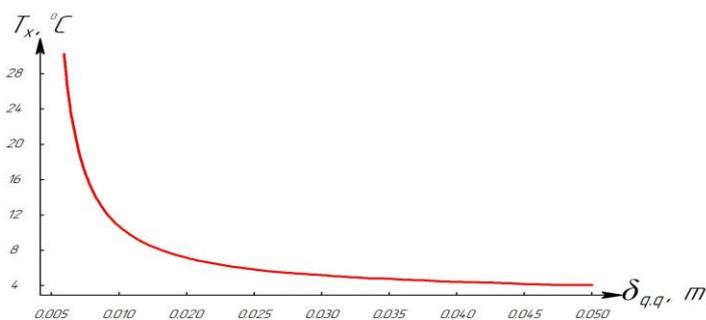
$$\begin{aligned} \lambda_{qurum} \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right) + \lambda_{metall} \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right) &= \\ = \lambda_{metall} \cdot T_x \cdot \ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right) + \lambda_{qurum} \cdot T_x \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right); \end{aligned} \quad (25)$$

Shunda, quvurda hosil bo‘lgan qurum natijasida yuzaga keladigan harorat farqini (T_x) quyidagi ifoda orqali aniqlaymiz:

$$T_x = \frac{\lambda_{qurum} \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right) + \lambda_{metall} \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right)}{\lambda_{metall} \cdot \ln\left(\frac{\delta_{q.q}}{r_1}\right) + \lambda_{qurum} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{q.q}}\right)}; \quad (26)$$

Ifoda havo sovutkich quvurlari yuzalarida qurum qatlaminin qalinligi ortishining issiqlik almashinuvi jarayoniga ta’sirini aniqlash imkonini beradi.

Quyida 6-rasmda qurum qatlami qalinligi ortishining issiqlik almashinuvi jarayonida haroratlar farqiga ta’siri (26) ifoda orqali hisoblanganda, qurum qatlami qalinligining haroratlar farqiga bog‘liqligi keltirilgan.



6-rasm. Qurum qatlami qalinligining issiqlik almashinuvi jarayonida haroratlar farqiga bog'liqligi

Oraliq va so'nggi havo sovutkich quvurlari ichki yuzalarida qurum hosil bo'lishi va ushbu qurumning qalinligi issiqlik almashinuvi jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Harorat farqining quvurning ichki devorlarida hosil bo'lgan qurum qatlami qalinligiga $T_x = f(\delta_{q.q})$ bog'liqlik grafigidan ko'rinib turibdiki, qurumning qatlami ortishi natijasida qalinlik ($\delta_{q.q}$) oshganda harorat farqi (T_x) keskin kamayadi, bu esa o'z navbatida, siqilgan havoning haroratini (T_1) oshirishga olib keladi.

Dissertatsiyaning «**Suv purkovchi forsunkalarning konstruksiyasini takomillashtirish evaziga kompressor uskunalarning gradirnyali sovutkichlarining samaradorligini oshirish**» deb nomlangan uchinchi bobida kompressor uskunalarning gradirnyali sovutkichlarining ishlashi va ularga qo'yiladigan talablar tahlili qilingan, gradirnyali sovutkich samaradorligini oshiruvchi texnik yechimlarni ishlab chiqilgan, takomillashtirilgan suv purkovchi forsunka konstruksiyasining tajriba-sinovlari va ularning natijalari keltirilgan.

Bugungi kunda gradirnyali sovutkichlarning qoniqarsiz ishiga asosiy sabablardan biri, suv purkash forsunkasida suvning yaxshi purkalmasligi hisoblanadi, ya'ni suvni purkagan vaqtida tomchilar hajmi katta yoki suv plenka hosil qilishi natijasida havo bilan kontakti kamayadi va sovush darajasi yomonlashadi, gradirnyada sovutilayotgan suvning 1% bug'ga aylanadigan bo'lsa, sovutiladigan suvning harorati 5-6°Cga pasayadi. Quyida 3-rasmda gradirnyaning suv purkash forsunkasining qoniqarsiz (a) va qoniqarli (b) ishining rasmi keltirilgan.



a



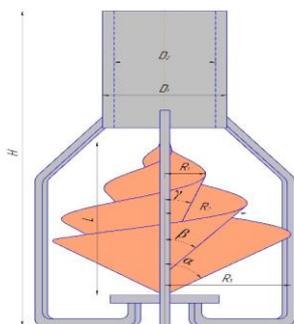
b

a-forsunkaning qoniqarsiz ishi; b-forsunkaning qoniqarli ishi.

3-rasm. Gradirnyaning suv purkash forsunkalari

Gradirnyali sovutkichlarda suvni sovutish samaradorligi, forsunkalarda sachratilayotgan suvning mash'ali kengligi, suvning mayda tomchilarga parchalanishi va havo bilan kontaktining ortishiga bog'liqligini hisobga olgan holda, suv sachratuvchi forsunkaning yangi konstruksiyasi ishlab chiqildi.

Ishlab chiqilgan gradirnyali sovutkichlarning suv sachratish forsunkasining yangi konstruksiyasi quyida 4-rasmda keltirilgan.



H – forsunkaning umumiy uzunligi (mm);
 D – forsunka ulanish quvurining diametri (mm); L – forsunka suv sachratish organining uzunligi (mm); R_1, R_2, R_3 – uyurmali suv sachratkichi kuraklarining radiusi (mm); α, β, γ – uyurmali suv sachratkichi kuraklarining joylashuv burchaklari.

4-rasm. Ishlab chiqilgan uyurmali forsunka

Taklif etilgan ushbu forsunkaning konstruksiyasi, suvning keng radiusda sachratilishini va bir paytning o'zida suv mayda tomchilarga parchalash imkonini beradi. Shuningdek, ushbu konstruksiya, suvning forsunkadan chiqishida suv plenkasini hosil qilmaydi va natijada havo va suv parchalarining issiqlik almashinuvini yaxshilaydi.

Uyurmali forsunkada suv sachratish samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy konstruktiv parametrlari kuraklarining radiusi va uyurmali suv sachratkichi kuraklarining joylashuv burchaklari bo'lganligi sababli, ushbu ko'rsatkichlarning har xil kattaliklarida forsunka yasab olindi va tajribada sinaldi, tajriba-sinovlaridan o'tkazilgan forsunkalar kuraklarining radiusi va uyurmali suv sachratkichining kuraklarining joylashuv burchaklari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan kattaliklarda olindi.

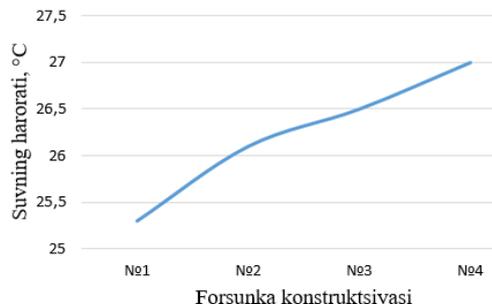
1-Jadval.

No	L (mm)	R_1 (mm)	R_2 (mm)	R_3 (mm)	α (grad)	β (grad)	γ (grad)
1	58,3	26,7	16,2	8,3	56,4	27,2	11,4
2	58,3	28,1	17,2	8,72	59,3	28,6	12,0
3	58,3	30,2	18,3	9,38	63,7	30,7	12,9
4	58,3	31,2	19,3	10,2	64	32	13,8

Suv sachratuvchi forsunkada sachratilayotgan suvning plenkasi uzunligini hamda sovush haroratini aniqlash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari quyida 5 va 6-rasmlarda grafik ko'rinishida keltirilgan.



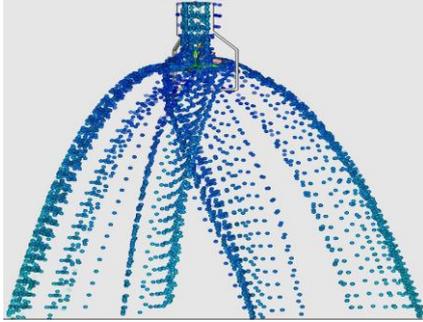
5-rasm. Forsunkada sachratilayotgan suvning plenkasi uzunligining forsunkaning konstruktiv parametrlariga bog'liqligi



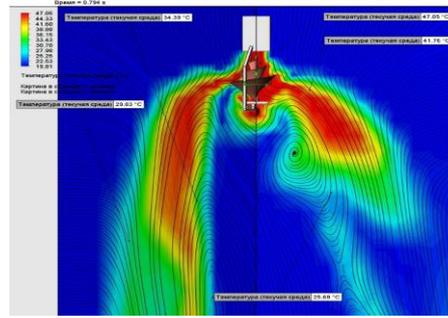
6-rasm. Sachratilayotgan suv haroratining forsunkaning konstruktiv parametrlariga bog'liqligi

Uyurmali suv sachratkichi kuraklarining joylashuv burchaklari $\alpha=56,4$; $\beta=27,2$; $\gamma=11,4$ gradus bo'lganida, sachratilayotgan suvning hosil qilgan plenkasi eng kichik uzunlikni qayd etdi va shuningdek, suvning eng yaxshi sovutilishiga ham erishildi.

Ishlab chiqilgan uyurmali forsunkada mash'al hosil bo'lishi va sachratilgan suv haroratining o'zgarishi dasturiy ta'minot orqali ham tadqiq qilindi, natijalar 7 va 8-rasmlarda keltirilgan.



7-rasm. Forsunkada mash'al hosil bo'lishi



8-rasm. Forsunkada sachratilgan suv haroratining o'zgarishi.

Uyurmali forsunkada sovutilayotgan suvning harorati taqqoslanganda, boshqa forsunkalarga nisbatan 3-4°Cga pastligi kuzatildi, yuqorida o'tkazilgan eksperimentlarning natijalari asosida shu aniqlandiki, taklif etilayotgan uyurmali forsunkaning konstruksiyasi suv sachratish jarayonida suv plenkasini hosil qilmaydi, suvni sachratish jarayonida tomchilarni mayda zarrachalarga ajratish jarayonini yaxshilaydi. Shuningdek, suv zarrachalari uyurmali harakatining evaziga tomchilar va havo kontaktini yaxshilaydi natijada esa boshqa konstruksiyadagi forsunkalarga nisbatan suvning sovutish samaradorligi yuqoriroq bo'ladi.

Shunday qilib, suv purkovchi forsunkalarning konstruksiyasini takomillashtirish evaziga kompressor uskunalarning gradirnyali sovutkichlarning samaradorligini oshirish borasida olib borilgan tadqiqotlar natijasida gradirnyali sovutkichlarda suvni sovutish jarayonida sachratilayotgan suvning mash'ali kengligi, suvning mayda tomchilarga parchalanishi va havo bilan kontaktining yaxshi ta'minlanish imkonini beruvchi, suv sachratuvchi forsunkaning yangi konstruksiyasi ishlab chiqildi va suvning samarali sovutilishi uyurmali forsunka kuraklarining joylashuv burchaklari va radiusiga bog'liqligi o'rnatilgan hamda uyurmali forsunkaning optimal konstruktiv parametrlari aniqlandi.

Dissertatsiyaning «**Porshenli kompressorlarning oraliq va so'nggi sovutkichlarining samaradorligini oshirish**» deb nomlangan to'rtinchi bobida kompressor uskunalarning oraliq va so'nggi havo sovutishda yuzaga keladigan muammolar va ularning samaradorlikka ta'siri o'rganilgan, kompressorlarning oraliq va so'nggi sovutkichlarida qurum hosil bo'lishini bartaraf etuvchi qurilma konstruksiyasi yaratilgan va ularning tajriba-sinovlari o'tkazilgan, shuningdek, taklif etilgan texnik yechimlarni qo'llashning iqtisodiy samaradorligi baholangan.

Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarda havoni siqish, bosqichlarda ketma-ket amalga oshirilganligi sababli, bundan tashqari, havo siqish jarayoni silindrda hajmning o'zgarishi natijasida amalga oshirilishi sababli, kompressorda siqilayotgan havoning harorati keskin ortib ketadi. Bunday holatlarda siqilayotgan havoni bosqichlar orasida sovutish va iste'molchiga uzatishdan avval sovutish maxsus havo sovutkichlarda amalga oshiriladi.

Porshenli kompressorning birinchi bosqichidan chiqayotgan siqilgan havoning bosimi o'rtacha 0,3-0,35 MPa, harorati esa 110-130°C atrofida bo'ladi, bunda birinchi

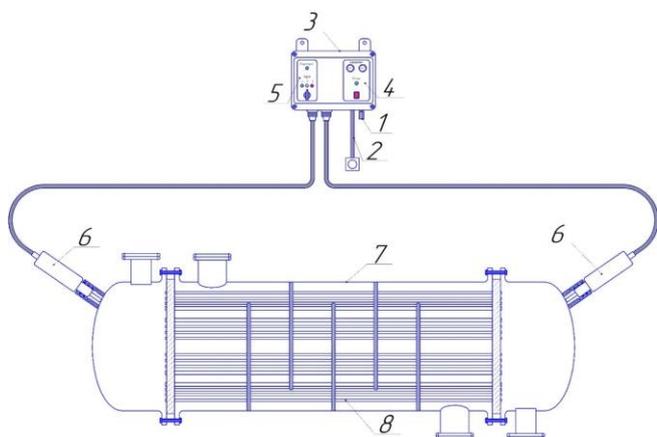
bosqich silindridan ikkinchi bosqichga o'tkazilayotgan havoning haroratini o'rtacha 65°Cga pasaytirish talab etiladi. Agarda birinchi bosqich silindridan ikkinchi bosqich silindriga uzatilayotgan havoning harorati talab darajasida sovutilmasa, avariya holatlarini keltirib chiqaradi, bundan tashqari, oraliq sovutkichda havoning harorati har 6-8°Cga yomon sovutilishi, havo siqishga sarflanayotgan energiya sarfining 1% ga ortishiga sabab bo'ladi.

Siqilgan havoning birinchi bosqichdan ikkinchi bosqichga o'tishida oraliq sovutkichining ishi, sovutish samaradorligini belgilaydi, oraliq sovutkichining ishini pasaytiruvchi asosiy sabablardan biri bu, uning issiqlik almashinuv yuzalarida qurum hosil bo'lishi hisoblanadi.

Oraliq sovutkichning issiqlik almashinuvi yuzasida 1 mm qalinlikda qurum hosil bo'lishi sovutiladigan havo haroratining 8°C ga yomon sovutilishiga sabab bo'ladi. Xuddi shuningdek, qurum qalinligining ortishi natijasida sovutiluvchi havoning sovutish samaradorligi pasayib borishi kuzatiladi.

Oraliq sovutkichning issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum qalinligining har 1 mm. ga ortishi, ikkinchi bosqich silindriga uzatilayotgan havo haroratining o'rtacha 5% gacha ortishiga sabab bo'ladi.

Ko'p pog'onali porshenli kompressor uskunalarining oraliq va so'nggi havo sovutkichlarining issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum hosil bo'lishini bartaraf etish uchun, ultratovushli akustik qurilmani qo'llashni taklif etamiz, quyida 9-rasmda ushbu qurilmaning oraliq sovutkichiga ulanishi ko'rsatilgan.



1-zaminlash; 2-tarmoqqa ulanish qismi; 3-qobiq; 4-saqlagichlar va indikator; 5-boshqarish paneli; 6-impuls uzatuvchi datchiklar; 7-oraliq sovutkichi qobig'I; 8-quvurlar.

9-rasm. Qurumga qarshi ultratovush akustik qurilmaning oraliq sovutkichga ulanishi

Qurumga qarshi ultratovush akustik qurilmani trubkali issiqlik almashtirgichda qo'llashda yuzaga keladigan muammo shundan iboratki, ushbu uskunani ochiq yuzalar uchun qo'llaganda ultratovush tebranishlari ochiq yuzaga to'liq yetib boradi va ta'sir etadi. Quvur ichini tozalashda esa, ultratovush tebranishlari quvur ichiga to'liq yetib bormaydi, tebranishlar ta'siri past bo'lganligi sababli quvurning ichki yuzalari qurumdan yaxshi tozalanmaydi.

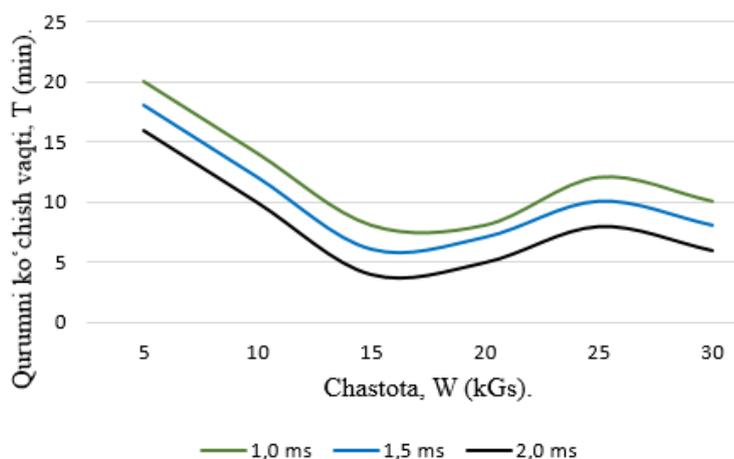
Shu sababli, porshenli kompressorning oraliq havo sovutkichini qurumdan samarali tozalash uchun taklif etilayotgan akustik qurilmada tebranishlar chastotasi va impuls davomiyligining optimal ko'rsatkichlarini aniqlab olish talab etiladi.

Ishlab chiqilgan akustik qurilmamizda impuls davomiyligini va tebranishlar chastotasini o'zgartirish imkoniyati mavjud va u quyida 2-jadvalda keltirilgan texnik parametrlarga ega.

Iste'mol quvvati, Vt	Akustik quvvati, Vt	Tebranishlar chastotasi, kGs	Impulslar davomiyligi, ms	Ta'sir etish yuzasi, m ²	Datchiklar soni, dona
300	120	5-30	0,5-3	150	2

Oraliq havo sovutkichini qurumdan samarali tozalash uchun akustik qurilmada tebranishlar chastotasi va impulslar davomiyligining optimal ko'rsatkichlarini aniqlab olish bo'yicha tajriba-sinovi o'tkazildi, dastlab impuls davomiyligi va tebranishlar amplitudasi chastotasining har xil kattaliklarida qurumning sinalayotgan yuzadan ko'chish vaqti aniqlab olindi.

Bunda, qurumning bir xil qalinlikka ega bo'lgan metall namunalarga akustik ta'sir etildi. Ultratovushli akustik qurilmada tebranishlar chastotasi 5 kGs dan 30 kGs gacha har 5 kGs miqdor kattaligida oshirib borildi va impulslar davomiyligining har 1; 1,5 va 2 ms kattaliklarida namuna yuzasidan qurumning to'liq ko'chish vaqti aniqlandi. Olingan natijalar quyida 10-rasmda grafik ko'rinishida keltirilgan.

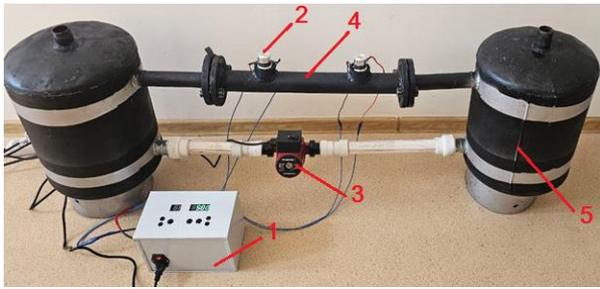


10-rasm. Qurum ko'chish vaqtining, akustik qurilma hosil qiladigan tebranishlar chastotasining va impulslar davomiyligiga bog'liqligi

O'tkazilgan tajribalar natijasida shu aniqlandiki, taklif etilayotgan qurumga qarshi ultratovush akustik qurilmani qo'llaganda, metall yuzalardan qurumni samarali va tez ko'chishi tebranishlar amplitudasi chastotasining 15-20 kGs kattaliklarida va impulslar davomiyligining 2 ms qiymatlarida erishiladi.

Qurumga qarshi akustik qurilmalarni uzunligi 500 mm. dan uzun bo'lgan quvurlarning ichki yuzalarini tozalashda qo'llash, biroz texnik qiyinchilik tug'diradi. Buning asosiy sababi ultratovush tebranishlarini quvur ichiga to'liq yetib borishi qiyinligi va quvurning uzunligi bo'yicha tebranishlar impulsining davomiyligini pasayib borishi hisoblanadi. Shu sababli, uzun quvurlarning ichki yuzalarini qurumdan tozalashda akustik qurilmani samarali qo'llash uchun, qurilma hosil qiladigan tebranishlar amplitudasi chastotasini va impulslari davomiyligini, quvur uzunligi bo'ylab samarali ta'sir etish imkonini beruvchi optimal kattaligini aniqlab olish talab etiladi.

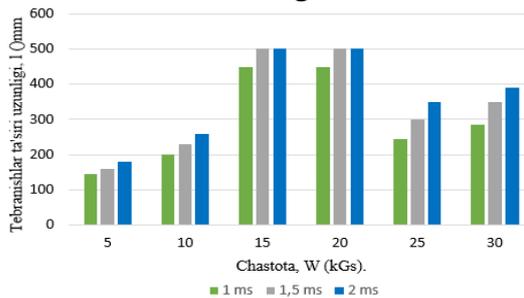
Quvurlarning ichki yuzalarini qurumdan akustik tozalashda tebranishlar amplitudasi chastotasi va impulslari davomiyligining optimal kattaligini aniqlash maqsadida tajriba-sinovi o'tkazildi, eksperimental uskunaning umumiy ko'rinishi 11-rasmda keltirilgan.



1-ultratovush qurilmasi; 2- ultratovush uzatish datchiklari; 3-nasos; 4-quvur; 5- suv idishi.

11-rasm. Quvur ichki yuzasidan qurumni ultratovushli akustik tozalashni tadqiq qilish bo'yicha tajriba uskunasi

Tajriba-sinovlarini o'tkazish davomida, diametri 32 mm, uzunligi 1000 mm. ni tashkil qilgan metal quvurga qurumga qarshi ultratovush akustik qurilma o'rnatildi hamda tebranishlar amplitudasi chastotasi va impulslari davomiyligining har xil kattaliklarida ta'sir ettirilib, qurum parchalanishi samaradorligi aniqlandi. Bunda, hosil qilingan tebranishlar chastotasi quvur uzunligi bo'yicha qancha masofagacha qurumni parchalash imkonini berishi aniqlandi. Tajriba-sinovlarining natijalari 12-rasmda grafik ko'rinishida keltirilgan.



12-rasm. Tebranishlar amplitudasi chastotasi va impulslar davomiyligining quvur bo'ylab ta'sir uzunligiga bog'liqligi

Quvurlarning ichki yuzalarini qurumdan tozalashda akustik qurilmani samarali qo'llash bo'yicha o'tkazilgan tajriba-sinovlari natijasi tahlili asosida shuni xulosa qilish mumkinki, uzunligi 500 mm va undan yuqori bo'lgan quvurlarning ichki yuzalarini taklif etilayotgan ultratovushli akustik qurilma yordamida qurumdan tozalashda tebranishlar amplitudasi chastotasining 15-20 kGs, impulslar davomiyligining 1,5-2 ms kattaliklarida yuqori samaradorlikka erishiladi.

Kompressorning oraliq sovutkichining metall quvurlar ichki yuzalaridan qurumni samarali tozalashda ultratovushli akustik qurilma hosil qiladigan tebranishlar amplitudasining chastotasi va impulslar davomiyligining optimal kattaliklari aniqlandi.

Taklif etilgan ishlanmalarni ishlab chiqarish amaliyotiga joriy etish ijobiy natija ko'rsatdi, bunda kompressorni gradirnyali sovutkichining suv taqsimlash moslamasidagi suv purkash forsunkasining yangi konstruksiyasi sovutuvchi aylanma suvning haroratini bazaviy forsunkaga nisbatan 6°C gacha yaxshi sovutishga, kompressor havo sovutkichlarining issiqlik almashinuvi uskunalar yuzalarida qurum ko'rinishidagi ifloslovchi qatlamlarni tozalash va ularning hosil bo'lishini bartaraf etish imkonini beruvchi ultratovush qurilmasi havo sovutgichlarida qurum hosil bo'lishini 95 % gacha kamaytirishga hamda kompressorning kutilmagan to'xtalishlar sonini 35% gacha kamaytirishga va oraliq sovutkichda siqilgan havoning samarali sovutilishi evaziga kompressorning havo siqish uchun sarflanadigan energiya sarfini 2% gacha kamaytirishga erishish imkoniyatini berdi. Kompressor uskunasi sovutish tizimini takomillashtirish natijasida, bir dona 4VM10-120/9 markali kompressor uskunasi yillik ekspluatatsiyasi uchun 129 600 000 so'm iqtisodiy samaradorlikka erishiladi.

XULOSA

«Kon kompressor uskunalarini sovutish tizimini takomillashtirish» mavzusidagi texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga asoslangan holda, nazariy va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Ko'p pog'onali porshenli kompressorlarning bosqichlari orasida uzatilayotgan siqilgan havoni oraliq sovutkichlarda haroratini har 6°C ga pasaytirish orqali, havo siqishga sarflanadigan energiya sarfini 1% ga kamaytirishga erishiladi.

2. Gradirnyada purkalanayotgan suvning sovutilish samaradorligi suvni mayda tomchilarga ajralishi, tomchining hajmi va uning tushish balandligiga bog'liq bo'ladi. Suv tomchisining hajmini kamaytirish va uning tushish balandligini orttirish orqali sovutilish yaxshilanishiga erishiladi.

3. Kompressorning havo sovutkichlari issiqlik almashinuvi yuzalarida hosil bo'ladigan qurum qalinligining issiqlik almashinuvi jarayoniga salbiy ta'sirining kattaliklarini hisoblash imkonini beruvchi matematik modeli ishlab chiqilgan;

4. Kompressor stansiyalarini gradirnyali sovutkichlarining suv sachratish forsunkalarida sachratilayotgan suvni mayda tomchilarga ajralishi va ikkilamchi parchalanishini ta'minlash orqali sachrayotgan suv plenkasining hosil bo'lmasligiga va suvni sovutish samaradorligiga erishiladi.

5. Gradirnyali sovutkichlarda suvni sovutish jarayonida sachratilayotgan suvning mash'ali kengligi, suvning mayda tomchilarga parchalanishi va havo bilan kontaktining yaxshi ta'minlanish imkonini beruvchi, suv sachratuvchi forsunkaning yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan.

6. Ishlab chiqilgan gradirnyali sovutkichning uyurmali suv purkash forsunkasining, suvni samarali sovutilishi, uyurmali forsunka kuraklarining joylashuv burchaklari va radiusiga bog'liqligi o'rnatilgan hamda uyurmali forsunkaning optimal konstruktiv parametrlari aniqlangan.

7. Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarning oraliq havo sovutkichining issiqlik almashinuvi yuzalarida qurum qalinligining har 1 mm. ga ortishi, keyingi bosqich silindriga uzatilayotgan havo haroratining o'rtacha 5% gacha ortishiga olib keladi.

8. Ko'p bosqichli porshenli kompressorlarning oraliq havo sovutkichi issiqlik almashinuvi yuzalarida hosil bo'lgan qurumni samarali tozalash imkonini beruvchi ultratovushli akustik qurilma ishlab chiqilgan, ushbu qurilmani amaliyotda qo'llash natijasida havo sovutkichlarida qurum hosil bo'lishini 95 % ga hamda havo siqish uchun sarflanadigan energiya sarfini 2% ga kamaytirishga erishilgan.

9. Metall quvurlar ichki yuzalaridan qurumni samarali tozalashda ultratovushli akustik qurilma hosil qiladigan tebranishlar amplitudasi chastotasi va impulslar davomiyligining optimal kattaliklari aniqlangan.

10. Kompressor uskunalarining sovutish tizimini takomillashtirish bo'yicha ishlab chiqilgan texnik yechimlarni amaliyotga joriy qilish natijasida yillik 129 600 000 so'm samaradorlikka erishildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.17/04.06.2021.Т.06.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**НАВОЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ПАРДАЕВА ШАХЛО САХИБЖОНОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РУДНИЧНЫХ
КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК**

04.00.16 – Горные машины

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Навои – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2025.1.PhD/T5279.

Диссертация выполнена в Навоийском отделении Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.ndki.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель: **Джурраев Рустам Умарханович**
доктор технических наук (DSc), профессор

Официальные оппоненты: **Муминов Рашид Олимович**
доктор технических наук (DSc), доцент

Юлдошов Хусниддин Эргашович
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Ведущая организация: **АО «Навоийский горно-металлургический комбинат»**

Защита диссертации состоится 28 ноября 2025 года в 14 часов на заседании Научного совета DSc.17/04.06.2021.T.06.02. Адрес: 210100 г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Зал заседаний Навоийского государственного горно-технологического университета. Тел.: (79) 223-04-40; факс: (79) 223-49-66. E-mail: info@nsmtu.uz, nsmi@gmail.com

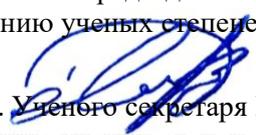
С докторской диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горно-технологического университета (зарегистрирован за № 237). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 76в. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66.

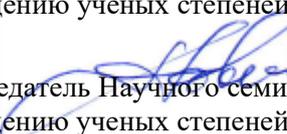
Автореферат диссертации разослан «13» ноября 2025 г.

(реестр протокола рассылки № 162 от «13» ноября 2025 г.).




И.Т.Мислибаев
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор


И.П.Эгамбердиев
И.о. Ученого секретаря Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор


Н.А.Абдуазизов
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в технологических процессах добычи полезных ископаемых сжатый воздух выполняет функцию энергоносителя, существенно влияя на эксплуатационные показатели горных машин и других потребителей пневматической энергии. В горнодобывающей отрасли одним из актуальных проблем является снижение себестоимости производства сжатого воздуха за счёт энерго- и ресурсосбережения в процессе эксплуатации рудничных компрессоров. Значительная часть эффективности работы поршневого компрессора зависит от производительности его системы охлаждения, а улучшение ее производительности значительно повышает эффективность производства сжатого воздуха. Широкое использование сжатого воздуха на промышленных предприятиях делает особенно актуальной разработку эффективных решений в процессе производства сжатого воздуха и снижения эксплуатационных затрат за счет повышения энергоэффективности компрессорного оборудования.

На сегодняшний день в мире ведутся научные исследования по эффективному применению поршневых компрессоров, выявлению факторов, отрицательно влияющих на работу компрессоров, исследованию влияния работы системы охлаждения на эффективность компрессора и разработке эффективных технических решений по энергосбережению при охлаждении сжатого воздуха в промежуточных и конечных охладителях компрессора. В связи с этим особое внимание уделяется изучению влияния качества охлаждения сжатого воздуха на эффективность работы компрессорных установок, разработке научных основ повышения эффективности работы компрессора на основе совершенствования системы охлаждения.

В Республике реализуются передовые научно обоснованные мероприятия по ускорению добычи полезных ископаемых, изыскиваются эффективные методы повышения эксплуатационных показателей рудничных компрессорных установок, снижения энерго- и ресурсоемкости компрессоров, достигается ряд научных и практических результатов. В Указе Президента Республики Узбекистан¹ определены важные задачи по: «дальнейшей модернизации и диверсификации промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленных на опережающее развитие высокотехнологичных отраслей, освоению принципиально новых видов технологий, сокращению энергоемкости и ресурсоемкости, широкому внедрению в производство энергосберегающих технологий ...». В связи с этим, большое научное и практическое значение имеет повышение эффективности рудничных компрессорных установок и снижение себестоимости производства сжатого воздуха.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 г. «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 г. «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», №УП-4707 от 4 марта 2015 г. «О программе мер по обеспечению структурных преобразований, модернизации и диверсификации производства в 2015-2019 гг». и Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики: VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

Степень изученности проблемы. Большой вклад в развитие теории и практики эффективной эксплуатации компрессорных установок внесли М.И. Френкель, П.И. Пластинин, А.В. Докукин, В.А. Мурзин, Ю.А. Цейтлин, М.В. Меркулов, Р.У. Джураев, Б.С. Фотин, Н.Г. Картавый, В.А. Дуров, А.П. Фролов, Ю.Н. Миняев, Д.Л. Гарбуз, А.П. Герман, А.С. Ильичев, А.П. Гришко, G. Lemasson, J. Lefebvre, P. Bloch Heinz, F.K. Geitner, A.G. Stapel и другие, которыми получены значительные результаты по повышению эффективности и снижению энергетических затрат рудничных компрессорных установок. Однако, до настоящего времени не в полной мере изучены вопросы повышения эффективности работы рудничных компрессорных установок на основе совершенствования их системы охлаждения, не полностью исследовано влияние качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность и энергетические затраты компрессорной установки.

В связи с этим возникла необходимость в исследовании системы охлаждения и повышении энергетической эффективности рудничных компрессорных установок, имеющих важное значение для горнодобывающей отрасли и требующих продолжения дальнейших исследований в этом направлении.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института на тему: ЁБВ-Атех-2018-22 – «Разработка ресурсосберегающих технологий для повышения эффективности бурения скважин с продувкой воздухом».

Целью исследования является повышение эксплуатационной эффективности рудничных компрессорных установок на основе совершенствования системы охлаждения.

Задачи исследования:

анализ основных направлений и состояния повышения эффективности системы охлаждения поршневых компрессорных установок;

разработка математической модели процесса охлаждения воды,

распыляемой в водораспылительной форсунке градирнявого охладителя компрессора;

разработка математической модели влияния образования накипи на теплообменных поверхностях промежуточных охладителей поршневых компрессоров на эффективность их охлаждения;

разработка технических решений для повышения эффективности градирневых охладителей;

разработка конструкции устройства для предотвращения образования накипи в промежуточных и концевых охладителях компрессоров;

оценка технико-экономических показателей эффективности применения предлагаемых технических решений.

Объектом исследований является процессы образования накипи на металлических поверхностях охладителей воздуха компрессоров, а также энергоэффективная эксплуатация рудничных компрессоров.

Предметом исследований являются система охлаждения рудничных компрессорных установок.

Методы исследования. В процессе исследований при совершенствовании системы охлаждения рудничных компрессорных установок использованы теоретические и экспериментальные методы, экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях, методы математического моделирования рабочих процессов компрессорных установок с применением методов математической статистики.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать параметры, влияющие на эффективность охлаждения распыляемой воды в градирнявом охладителе компрессора;

установлена зависимость эффективности охлаждения распыляемой воды в разработанной вихревой водораспылительной форсунки градирни от угла и радиуса лопаток форсунки, а также определены оптимальные конструктивные параметры вихревой форсунки;

разработана математическая модель, позволяющая рассчитать величину отрицательного влияния на процесс теплообмена толщины накипи на теплообменных поверхностях промежуточных охладителей поршневых компрессоров;

Определены оптимальные значения амплитуды, частоты и длительности импульсов колебаний, генерируемых ультразвуковым акустическим устройством, для эффективной очистки от накипи внутренних поверхностей металлических труб промежуточного и концевого охладителей компрессора.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Разработана водораспылительная вихревая форсунка, позволяющая охладить циркулирующую воду компрессора на 6°C ниже по сравнению с базовой форсункой;

Разработано ультразвуковое устройство, позволяющее производит эффективную очистку и предотвратить образования накипи на теплообменных поверхностях воздухоохладителей компрессоров.

Достоверность результатов исследования доказана значительным объемом лабораторных и промышленных экспериментов, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по разработки энерго эффективных методов эксплуатации рудничных компрессорных установок, а также положительными результатами экспериментальных испытаний разработанных технических решений по совершенствованию работы системы охлаждения с целью повышения эффективности эксплуатации рудничных компрессорных установок.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обосновывается обширными экспериментами в лабораторных и промышленных условиях, а также количественными показателями и удовлетворительной сходимостью основной идеи работы по разработке энергоэффективных методов эксплуатации рудничных компрессорных установок, а также положительными результатами экспериментальных испытаний разработанных технических решений по совершенствованию работы системы охлаждения рудничных компрессорных установок.

Практическая значимость результатов исследования характеризуется разработкой новой конструкции водораспылительной вихревой форсунки градирневого охладителя и ультразвукового устройства, предотвращающее образование накипи на теплообменных поверхностях промежуточных и концевых охладителей, способствующих повышению эффективности эксплуатации рудничных компрессорных установок.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по повышению эффективности рудничных компрессоров за счет совершенствования системы охлаждения:

водораспылительная вихревая форсунка градирневого охладителя компрессорной установки внедрено в компрессорной станции рудника «Кизил Олма» Ангреновского рудоуправления АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» № 12-23/61-2894 от 12-декабря 2021-г.). В результате достигнуто повышение работоспособности и эффективности распылительной форсунки, что обеспечило снижение температуры охлаждающей воды на 6°С ниже по сравнению с базовой форсункой;

ультразвуковое устройство, позволяющее производить эффективную очистку и предотвратить образования накипи на теплообменных поверхностях воздухоохладителей компрессоров внедрено в компрессорной станции рудника «Кизил Олма» Ангреновского рудоуправления АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» № 12-23/61-2894 от 12-декабря 2021-г.). В результате достигнуто снижение образования накипи в воздухоохладителях до 95%, сокращение количество непредвиденных остановок компрессора до 35%, а также уменьшение энергопотребления компрессора на сжатие воздуха до 2% за счет эффективного охлаждения сжатого воздуха в промежуточном охладителе.

Апробация результатов исследования. Апробация результатов данного исследования проведена на 2 республиканских и 2 международных научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 12 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 4 из которых в республиканских и 2 в зарубежных журналах, получены 2 свидетельства на программное обеспечение для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и значимость исследования, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, указано соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике, а также приведены сведения о научной новизне исследования, достоверности результатов, их теоретической и практической значимости, внедрении в практику, опубликованности и структуре работы.

В первой главе диссертации «Анализ особенностей эксплуатации и современного состояния рудничных компрессорных установок», приведён обзор применения компрессорного оборудования в горнодобывающей промышленности, анализ работы системы охлаждения поршневых компрессорных установок, рассмотрено состояние научных исследований по теме диссертации, а также представлены современные направления совершенствования работы поршневых компрессоров и причины возникновения существующих проблем.

В системе охлаждения поршневых компрессорных установок, где используются градирняные охладители, требуется снижение температуры циркулирующей воды до 18-20°C. Однако в летний период, из-за резкого повышения температуры окружающей среды, устаревания конструкции градирняных охладителей, изменения режимов работы компрессоров и увеличения нагрузок на компрессор, градирняные охладители не могут снизить температуру охлаждающей воды до требуемого уровня, и фактически температура циркулирующей воды достигает 24-26°C, что, в свою очередь, вызывает ряд проблем в процессе эксплуатации компрессора.

Неэффективное снижение температуры сжатого воздуха на промежуточных охладителях при передаче его с первого этапа на второй в многоступенчатых поршневых компрессорах приводит к увеличению энергии, затрачиваемой на сжатие воздуха компрессором. Каждое повышение температуры воздуха на 6°C на промежуточном охладителе увеличивает расход энергии, затрачиваемой на сжатие воздуха, на 1%. Одной из основных причин

ухудшения работы промежуточных охладителей является образование накипи на их поверхностях теплообменников.

Во второй главе диссертации «**Математическое моделирование работы системы охлаждения поршневых компрессорных установок**», разработана математическая модель процесса охлаждения воды, распыляемой форсункой градирного охладителя компрессора, а также математическая модель влияния образования накипи на поверхности теплообменников промежуточных охладителей поршневых компрессоров на эффективность их охлаждения.

С целью изучения факторов, негативно влияющих на процесс охлаждения оборотной воды в градирных охладителях, и выявления возможностей для улучшения процесса охлаждения, были математически смоделированы процессы охлаждения воды, распыляемой форсункой.

Обеспечение максимальной поверхности капли зависит от геометрических параметров элементов распыляющей форсунки, которые выполняют задачу разделения жидкости на капли минимального размера. Для определения угла распыления обычно используются четыре важных параметра: угол распыления, фактическая зона распыления, эффективный угол распыления, теоретическая зона распыления.

Рассмотрим параметры, влияющие на процесс распыления воды. На рисунках 1 и 2 представлены показатели, определяющие эффективность охлаждения при распылении воды через форсунку, а также траектория движения капли воды в воздушной среде. Исходя из этого, устанавливаем зависимость изменения температуры воды от параметров $h, 2\alpha, R$, то есть необходимо сформировать функцию в виде $T = f(h, 2\alpha, R)$.

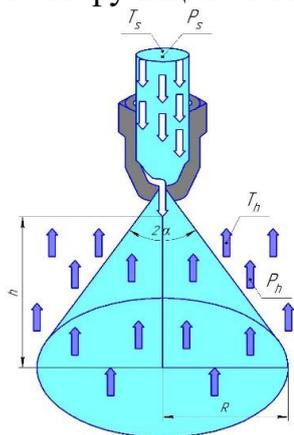


Рисунок 1. Показатели, влияющие на охлаждение в процессе распыления воды

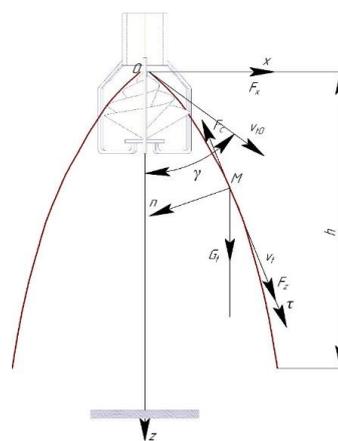


Рисунок 2. Траектория движения капли воды в воздушной среде

Геометрические параметры движения капли воды от выхода форсунки до поверхности земли выражаются через вторую задачу динамики.

Система сил:

$$\begin{cases} \sum F_z = G_k - F_{соп} \cdot \sin(90 - \gamma); \\ \sum F_x = -F_{соп} \cdot \cos(90 - \gamma); \end{cases} \quad (1)$$

где: G_k — сила тяжести капли жидкости, Н; $F_{соп}$ — сила сопротивления воздуха, Н; γ — угол направления движения жидкости, градусы.

$$\begin{cases} \frac{mdv_z}{dt} = mg - \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \sin(90 - \gamma); \\ \frac{mdv_x}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \cos(90 - \gamma); \end{cases} \quad (2)$$

где: m – масса капли воды, г; v_z и v_x – проекции скорости жидкости на оси z и x ; C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления (для сферической формы капли $C_x = 0,5$); $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, кг/м³; $v_{\text{возд}}$ – скорость воздуха, м/с; t – время падения капли воды, с; C_1 и C_2 – интегральные постоянные (свободные члены); S_k – площадь поперечного сечения капли воды, мм².

Скорости движения капли по координатным осям выражаются следующим образом:

$$v_x = v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot t; \quad (3)$$

$$v_z = v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot t. \quad (4)$$

где: g – ускорение свободного падения, м/с².

Учитывая фактическую скорость капли $v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2}$, уравнения движения по координатным осям можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} x = t \cdot \left(v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \\ z = t \cdot \left(v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right); \end{cases} \quad (5)$$

Если принять $x = R$ и $z = h$, то вышеуказанное уравнение (5) принимает следующий вид:

$$\begin{cases} R = t \cdot \left(v_0 \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \cos(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right) \\ h = t \cdot \left(v_0 \cdot \cos \gamma + g - \frac{1}{2m} \cdot C_x \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}}^2 \cdot S_k \cdot \sin(90 - \gamma) \cdot \frac{t}{2} \right); \end{cases} \quad (6)$$

где: z и x – расстояния, пройденные жидкостью по соответствующим координатам, м; R – радиус факела, м; h – высота факела, м.

Объём воды, вытекающий через щелевой диаметр форсунки за единицу времени, определяется на основе уравнения Бернулли следующим образом:

$$\int dV_{\text{вода}} = \int \pi \cdot r^2 \cdot v \cdot dt = \pi \cdot r_k^2 \cdot v \cdot t, \quad (7)$$

где: r – диаметр щели форсунки, м.

Масса воздуха ($m_{\text{возд}}$) выражается следующим образом:

$$m_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot V_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r_k^2 \cdot L; \quad (8)$$

$$\tan \gamma = \frac{r_k^2}{L}. \quad (9)$$

Радиус капли воды r_k определяется через выражение (9):

$$r_k^2 = L \cdot \tan \gamma. \quad (10)$$

С учетом радиуса капли воды масса воздуха примет следующий вид:

$$m_{\text{возд}} = \rho_{\text{возд}} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 \cdot L = \rho_{\text{возд}} \cdot \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot L^3 \cdot (\tan \gamma)^2; \quad (11)$$

Если скорость падения капли воды (v) выразить в следующем виде:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{\sqrt{L^2 + \left(\frac{r_k}{4}\right)^2}}{t} = \frac{\sqrt{4 \cdot L^2 + L^2 \cdot (\tan \gamma)^2}}{2 \cdot t}, \quad (12)$$

Возникает следующая зависимость:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{вода}} \cdot r_{\text{к}}^2 \cdot \frac{2}{\cos \gamma} \cdot T_0 + \rho_{\text{возд}} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 \cdot T_{\text{возд}} = \\ & = T_x \cdot \left(\rho_{\text{возд}} \cdot \frac{1}{3} \cdot L^2 \cdot (\tan \gamma)^2 + \rho_{\text{вода}} \cdot r_{\text{к}}^2 \cdot \frac{1}{\cos \gamma} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Температуру охлаждения воды (T_x) выражаем следующим образом через уравнение (13):

$$T_x = \frac{\frac{1}{2} \rho_{\text{вода}} r_{\text{к}}^2 \frac{2}{\cos \gamma} T_0 + \rho_{\text{возд}} \frac{1}{3} L^2 (\tan \gamma)^2 T_{\text{возд}}}{\left(\rho_{\text{возд}} \frac{1}{3} L^2 (\tan \gamma)^2 + \rho_{\text{вода}} r_{\text{к}}^2 \frac{1}{\cos \gamma} \right)}; \quad (14)$$

Исходя из выражения (14), можно установить зависимость температуры как от радиуса капли $T_x(r_{\text{к}})$, так и от длины пройденного ею пути $T_x(L)$. Эти зависимости представлены в графической форме на рисунках 3 и 4.

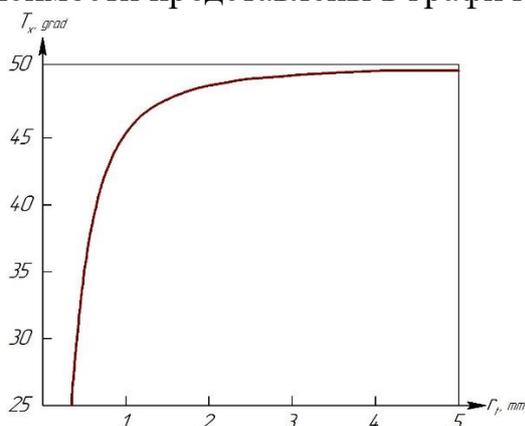


Рисунок 3. Зависимость температуры распыляемой воды от радиуса капли

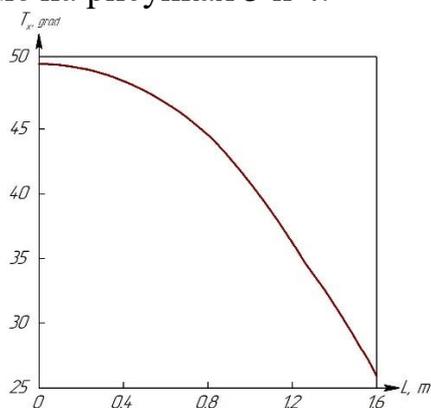


Рисунок 4. Зависимость температуры распыляемой воды от высоты падения капли

Исходя из выражения (14), а также графиков, приведённых на рисунках 3 и 4, установлено, что эффективность охлаждения распыляемой воды в градирне зависит от радиуса водяной капли и высоты её падения, то есть от длины пройденного ею пути.

Таким образом, разработанная математическая модель позволила определить параметры, влияющие на эффективное охлаждение воды, распыляемой в форсунке. При создании конструкции форсунки, повышающей эффективность охлаждения воды в градирне, необходимо учитывать процесс распыления воды, который включает её разделение на мелкие частицы, раздробление капель до малых объёмов и увеличение длины падения капель.

Промежуточные и конечные воздушные охладители компрессора охлаждаются водой. Высокая жёсткость воды и её повышение температуры ухудшают процесс теплообмена, что, в свою очередь, снижает эффективность охлаждения сжимаемого воздуха и негативно сказывается на эффективности работы компрессора.

В теплообменниках воздушного охладителя тепло передаётся от внутренней поверхности r_1 к внешней поверхности r_2 . При этом необходимо учитывать, что температура изменяется не вдоль оси, а радиально. Поэтому для цилиндрической формы плотность теплового потока в основном связывается с радиусом.

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dr}. \quad (15)$$

Уравнение теплопередачи:

$$Q = q \cdot F = -\lambda \cdot \frac{dT}{dr} \cdot F, \quad (16)$$

где: F – рассматриваемая поверхность, m^2 .

Исходя из этого, поверхность цилиндрической области будет следующей:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L, \quad (17)$$

где: r – радиус трубы, m ; L – длина трубы, m .

Если интегрировать вышеуказанное уравнение теплопередачи по радиусу, получится следующее уравнение:

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} -\lambda \cdot \frac{dT}{dr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot dr; \quad (18)$$

Градиент температуры можно записать следующим образом:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}. \quad (19)$$

В результате интегрирования уравнение теплопередачи будет следующим:

$$Q = \lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}, \quad (20)$$

где: T_1 – температура жидкости внутри трубы, $^{\circ}C$; T_2 – температура сжатого воздуха на внешней поверхности трубы, $^{\circ}C$; r_1 – внутренний радиус трубы, m ; r_2 – внешний радиус трубы, изменённый за счет образования накипных слоёв, m .

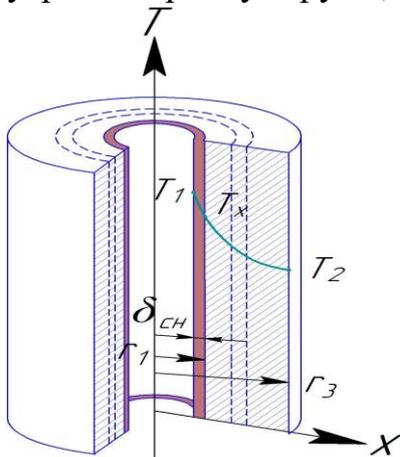


Рисунок 5. Влияние образования накипи на внутренней поверхности трубы на процесс теплообмена

Если накипь образуется на внутренней поверхности стенок трубы, то теплообмен происходит через два слоя. При этом теплообмен сначала происходит через материал трубы, а затем через накипь, образующуюся на внутренней поверхности трубы. Влияние образования накипи на внутренней поверхности трубы на процесс теплообмена представлено на рисунке 5.

С учётом вышеизложенного, уравнение теплопередачи будет следующим:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_2)}{\left(\frac{\ln\left(\frac{\delta_{\text{СН}}}{r_1}\right)}{\lambda_{\text{накип}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{СН}}}\right)}{\lambda_{\text{метал}}} \right)}; \quad (21)$$

где: r_3 – внешний радиус трубы, m ;

Если теплообмен происходит через накипь и металлическую трубу, то тепловой баланс будет следующим:

$$Q_{\text{накип}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_{\text{накип}} \cdot (T_1 - T_x)}{\ln\left(\frac{\delta_{\text{СН}}}{r_1}\right)}; \quad (22)$$

где: $\lambda_{\text{накип}}$ – коэффициент теплопроводности накипи, $Вт/м \cdot К$; $T_1 - T_x$ – разница температур между теплообменной поверхностью и внешней поверхностью накипи.

С учётом толщины образовавшегося осадка уравнение теплопередачи для трубы можно выразить следующим образом:

$$Q_{\text{метал}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_{\text{метал}} \cdot (T_x - T_2)}{\ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{сн}}}\right)}; \quad (23)$$

где $\lambda_{\text{метал}}$ – коэффициент теплопроводности металлической трубы, Вт/м·К; r_3 – внешний радиус трубы, м; $T_x - T_2$ – разница температур между внутренней и внешней поверхностями трубы.

Уравнение теплопередачи имеет следующий вид:

$$Q_{\text{накип}} = Q_{\text{метал}}; \quad (24)$$

Учитывая тепловой баланс и уравнение теплопередачи для трубы, после упрощения уравнений получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{накип}} \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{сн}}}\right) + \lambda_{\text{метал}} \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{r_1}\right) = \\ = \lambda_{\text{метал}} \cdot T_x \cdot \ln\left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{r_1}\right) + \lambda_{\text{накип}} \cdot T_x \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{сн}}}\right); \end{aligned} \quad (25)$$

Тогда температурную разницу T_x , возникающую в результате образования накипи в трубе, можно определить следующим выражением:

$$T_x = \frac{\lambda_{\text{накип}} \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{сн}}}\right) + \lambda_{\text{метал}} \cdot T_2 \cdot \ln\left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{r_1}\right)}{\lambda_{\text{метал}} \cdot \ln\left(\frac{\delta_{\text{сн}}}{r_1}\right) + \lambda_{\text{накип}} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{\delta_{\text{сн}}}\right)}; \quad (26)$$

Данное выражение позволяет определить влияние увеличения толщины слоя накипи на поверхности труб охладителя на процесс теплообмена.

На рисунке 6 приведена зависимость разности температур в процессе теплообмена от толщины слоя накипи, рассчитанная на основе выражения (26), отражающая влияние увеличения толщины накипи на температурную разницу.

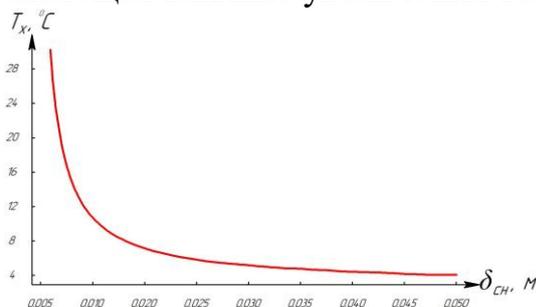


Рисунок 6. Зависимость разности температур в процессе теплообмена от толщины слоя накипи

Образование накипи на внутренних поверхностях труб промежуточного и конечного охладителей, а также увеличение его толщины, оказывает отрицательное влияние на процесс теплообмена.

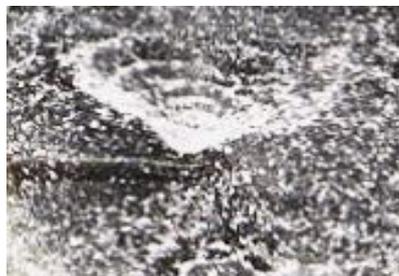
Из графика зависимости температуры $T_x = f(\delta_{\text{сн}})$, отражающего взаимосвязь между температурным перепадом и толщиной слоя накипи, образовавшегося на внутренних стенках трубы, при увеличении толщины слоя накипи ($\delta_{\text{сн}}$) температурный перепад (T_x) резко уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к повышению температуры сжатого воздуха (T_1).

В третьей главе диссертации «Повышение эффективности градирен компрессорного оборудования за счёт совершенствования конструкции водораспыливающих форсунок», проведён анализ работы градиренных охладителей компрессорных установок и требований, предъявляемых к ним. Разработаны технические решения, направленные на повышение эффективности градирен, представлены результаты экспериментальных испытаний усовершенствованной конструкции водораспыливающей форсунки.

На сегодняшний день одной из основных причин неудовлетворительной работы градиренных охладителей является неэффективное распыление воды форсунками. В частности, при распылении образуются крупные капли либо водяная плёнка, что снижает площадь контакта с воздухом и, соответственно, ухудшает процесс охлаждения. При этом установлено, что испарение всего лишь 1% охлаждаемой воды в градирне приводит к снижению её температуры на 5–6 °С. На рисунке 3 ниже приведены изображения работы форсунки для распыления воды в градирне при неудовлетворительном (а) и удовлетворительном (б) режимах.



а



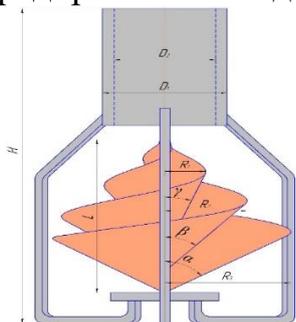
б

а - неудовлетворительная работа форсунки; б - удовлетворительная работа форсунки.

Рисунок 3. Форсунки для распыления воды в градирне

С учётом того, что эффективность охлаждения воды в градиренных охладителях зависит от ширины факела распыляемой воды, степени её дробления на мелкие капли и увеличения площади контакта с воздухом, была разработана новая конструкция водораспыливающей форсунки.

Разработанная новая конструкция форсунки для распыления воды в градиренных охладителях представлена на рисунке 4.



H - общая длина форсунки (мм); D - диаметр соединительного трубопровода форсунки (мм); L - длина элемента форсунки, распыляющего воду (мм); R_1, R_2, R_3 - радиусы лапотачных частей распыливающего элемента форсунки (мм); α, β, γ - углы размещения лапотачных частей распыливающего элемента форсунки.

Рисунок 4. Разработанная вихревая форсунка

Конструкция предложенной форсунки позволяет распылять воду на большой радиус и одновременно дробления воду на мелкие капли. Также данная конструкция исключает образование водяной плёнки при выходе воды из форсунки, что, в свою очередь, улучшает теплообмен между воздухом и водными частицами.

В вихревой форсунке основными конструктивными параметрами, влияющими на эффективность распыления воды, являются радиусы лапотачных частей и углы их расположения. Поэтому были изготовлены форсунки разных размеров с различными значениями этих показателей, которые затем были испытаны в экспериментальных условиях. Радиусы лапотачных частей форсунки и углы их расположения, использованные в экспериментальных испытаниях, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№	L (мм)	R ₁ (мм)	R ₂ (мм)	R ₃ (мм)	α (град)	β (град)	γ (град)
1	58,3	26,7	16,2	8,3	56,4	27,2	11,4
2	58,3	28,1	17,2	8,72	59,3	28,6	12,0
3	58,3	30,2	18,3	9,38	63,7	30,7	12,9
4	58,3	31,2	19,3	10,2	64	32	13,8

Результаты исследований по определению длины водяной плёнки при распылении воды в форсунке, а также температуры охлаждения представлены в виде графиков на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5. Зависимость длины водяной плёнки при распылении в форсунке от конструктивных параметров форсунки

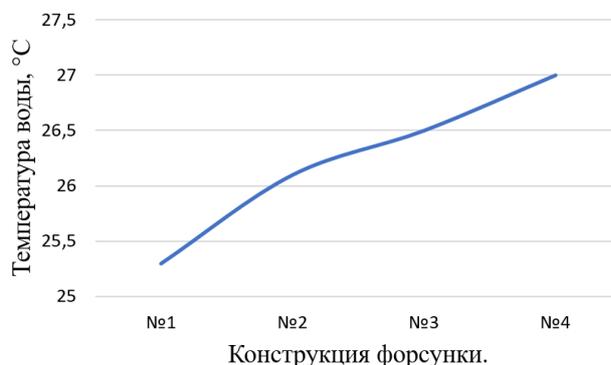


Рисунок 6. Зависимость температуры распыляемой воды от конструктивных параметров форсунки

При углах расположения лопаток вихревого распылителя воды $\alpha=56,4^\circ$, $\beta=27,2^\circ$, $\gamma=11,4^\circ$ была зафиксирована наименьшая длина образуемой водяной плёнки, а также достигнуто наилучшее охлаждение воды.

Образование факела в разработанной вихревой форсунке и изменение температуры распыляемой воды были также исследованы с использованием программного обеспечения. Полученные результаты представлены на рисунках 7 и 8.

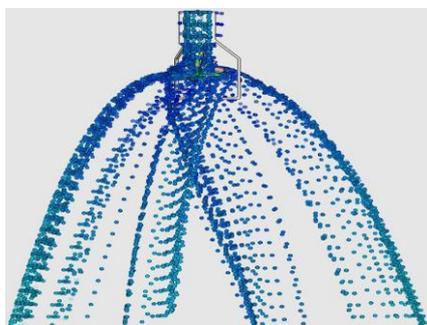


Рисунок 7. Образование факела в форсунке

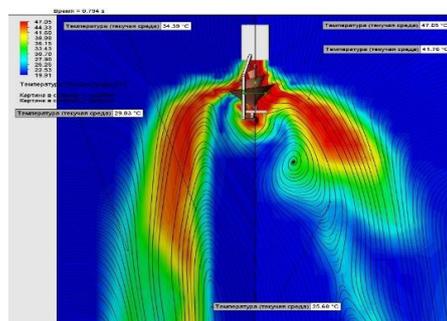


Рисунок 8. Изменение температуры распылённой воды в форсунке

При сравнении температуры охлаждаемой воды в завихрённой форсунке было установлено, что она на 3-4°C ниже по сравнению с другими типами форсунок. На основании проведённых выше экспериментов установлено, что конструкция предлагаемой завихрённой форсунки не образует водяной плёнки в процессе распыления и способствует более эффективному дроблению капель воды на мелкие частицы. Кроме того, за счёт вихревого движения водяных частиц улучшается контакт капель с воздухом, в результате чего эффективность

охлаждения воды оказывается выше по сравнению с форсунками других конструкций.

Таким образом, в результате проведённых исследований, направленных на совершенствование конструкции форсунок для распыления воды, была разработана новая конструкция форсунки, которая обеспечивает более эффективное охлаждение воды в градирнях. Эта конструкция способствует улучшению распыления воды, её разбиению на мелкие капли и обеспечению хорошего контакта с воздухом. Также была установлена зависимость эффективного охлаждения воды от углов расположения лопаток завихрённой форсунки и радиуса, а также определены оптимальные конструктивные параметры завихрённой форсунки.

В четвёртой главе диссертации «Повышение эффективности промежуточных и конечных охладителей поршневых компрессоров», исследованы проблемы, возникающие при охлаждении компрессорных установок, и их влияние на эффективность. Разработана конструкция устройства, устраняющая образование накипи в промежуточных и конечных охладителях компрессоров, проведены её экспериментальные испытания, а также оценена экономическая эффективность применения предложенных технических решений.

В многоступенчатых поршневых компрессорах процесс сжатия воздуха осуществляется последовательно на разных ступенях, а также, поскольку процесс сжатия воздуха в цилиндре происходит с изменением объёма, температура сжимаемого воздуха в компрессоре резко повышается. В таких случаях охлаждение сжимаемого воздуха между ступенями сжатия и перед подачей потребителю осуществляется в специальных холодильниках.

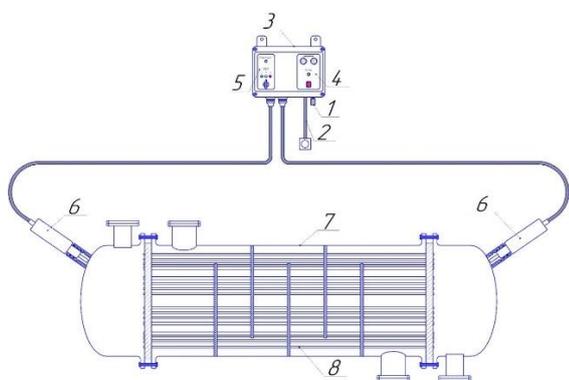
Давление сжатого воздуха, выходящего из первого этапа поршневого компрессора, составляет в среднем 0,3-0,35 МПа, а температура – около 110-130°C. При этом для передачи воздуха от первого этапа ко второму необходимо снизить его температуру в среднем до 65°C. Если температура воздуха, передаваемого от первого цилиндра к цилиндру второго этапа, не будет снижена до требуемого уровня, это может привести к аварийным ситуациям. Кроме того, неэффективное охлаждение воздуха на промежуточном холодильниках, приводящее к повышению температуры на 6-8°C, вызывает увеличение потребляемой энергии на 1% для сжатия воздуха.

Работа промежуточного холодильника при переходе сжатого воздуха с первого этапа на второй определяет эффективность охлаждения. Одной из основных причин снижения эффективности работы промежуточного холодильника является образование накипи на его теплообменных поверхностях.

Образование накипи толщиной 1 мм на теплообменной поверхности промежуточного холодильника приводит к ухудшению охлаждения воздуха на 8°C. Аналогично, с увеличением толщины накипи наблюдается снижение эффективности охлаждения воздуха.

Каждое увеличение толщины накипи на 1 мм на теплообменных поверхностях промежуточного холодильника приводит к повышению температуры воздуха, передаваемого во второй цилиндр, в среднем на 5%.

Для устранения образования накипи на теплообменных поверхностях промежуточных и конечных холодильников многоступенчатых поршневых компрессорных установок предлагается использование ультразвукового акустического устройства. На рисунке 9 приведена схема подключения данного устройства к промежуточному холодильнику.



1 — заземление; 2 — узел подключения к сети; 3 — корпус; 4 — предохранители и индикатор; 5 — панель управления; 6 — датчики передачи импульсов; 7 — корпус промежуточного холодильника; 8 — трубопроводы.

Рисунок 9. Схема подключения ультразвукового акустического устройства против образования накипи к промежуточному холодильнику

При применении ультразвукового акустического устройства против образования накипи в трубчатом теплообменнике возникает следующая проблема: при использовании данного устройства для открытых поверхностей ультразвуковые колебания полностью достигают открытой поверхности и эффективно воздействуют на неё. Однако при очистке внутренней поверхности трубы ультразвуковые колебания не полностью проникают внутрь, и из-за недостаточной интенсивности колебаний внутренняя поверхность трубы очищается от накипи недостаточно эффективно.

Поэтому для эффективной очистки промежуточного холодильника поршневого компрессора от нагара в предлагаемом акустическом устройстве необходимо определить оптимальные значения частоты колебаний и длительности импульсов.

В разработанном нами акустическом устройстве предусмотрена возможность изменения длительности импульсов и частоты колебаний, при этом оно обладает техническими параметрами, приведёнными в таблице 2.

Таблицы 2.

Потребляемая мощность, Вт	Акустическая мощность, Вт	Частота колебаний, кГц	Длительность импульсов, мс	Площадь воздействия, м ²	Количество датчиков, шт.
300	120	5-30	0,5-3	150	2

Для эффективной очистки промежуточного холодильника от накипи были проведены экспериментальные испытания по определению оптимальных параметров частоты колебаний и продолжительности импульсов в акустическом устройстве. На начальном этапе опытов определялось время отслаивания накипи

с испытываемой поверхностью при различных значениях продолжительности импульсов и амплитудно-частотных характеристик колебаний.

При этом акустическое воздействие было оказано на металлические образцы с равной толщиной слоя накипи. В ультразвуковом акустическом устройстве частота колебаний постепенно увеличивалась от 5 кГц до 30 кГц с шагом 5 кГц, а продолжительность импульсов варьировалась на уровнях 1, 1,5 и 2 мс, при этом определялось время полного удаления накипи с поверхности образца. Полученные результаты представлены в виде графика на рисунке 10.

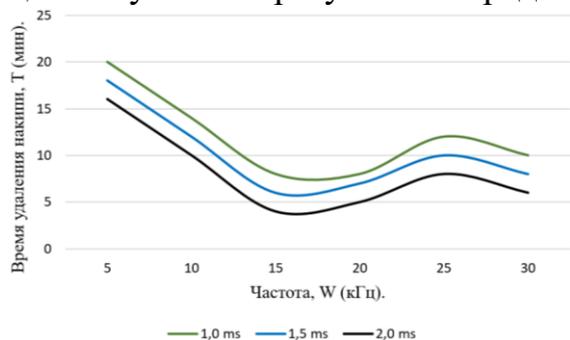
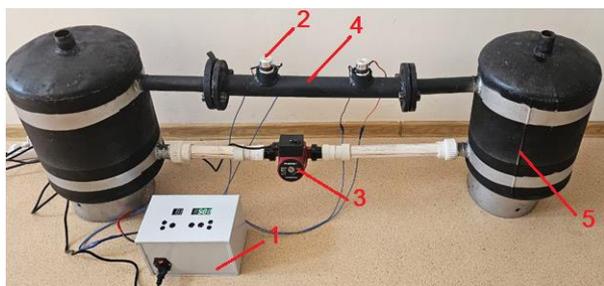


Рисунок 10. Зависимость времени удаления накипи от частоты колебаний и продолжительности импульсов, создаваемых акустическим устройством

В результате проведенных экспериментов было установлено, что при использовании предложенного ультразвукового акустического устройства против накипи, эффективное и быстрое перемещение накипи с металлических поверхностей достигается при амплитуде колебаний частотой 15-20 кГц и продолжительности импульсов 2 мс.

Использование акустических устройств против накипи для очистки внутренних поверхностей труб длиной более 500 мм вызывает некоторые технические трудности. Основная причина этого заключается в том, что ультразвуковые колебания трудно полностью достигают внутренней части трубы, а также в снижении продолжительности импульсов колебаний с увеличением длины трубы. Поэтому для эффективного использования акустического устройства при очистке внутренних поверхностей длинных труб от накипи необходимо определить оптимальные значения амплитуды колебаний, частоты и продолжительности импульсов, которые обеспечивают эффективное воздействие по всей длине трубы.

Для определения оптимальных значений амплитуды колебаний, частоты и продолжительности импульсов при акустической очистке внутренних поверхностей труб от накипи были проведены экспериментальные испытания. Общий вид экспериментального оборудования представлен на рисунке 11.



1 — ультразвуковое устройство; 2 — ультразвуковые передающие датчики; 3 — насос; 4 — труба; 5 — резервуар для воды.

11-Рисунок. Экспериментальное оборудование для исследования ультразвуковой акустической очистки внутренних поверхностей труб от накипи

Во время проведения экспериментов ультразвуковое акустическое устройство было установлено на металлическую трубу диаметром 32 мм и длиной 1000 мм, после чего воздействие ультразвуковых колебаний с различной амплитудой, частотой и длительностью импульсов позволило определить эффективность разрушения накипи. В этом случае было определено, на какое расстояние вдоль длины трубы частота создаваемых колебаний позволяет разрушать накипь. Результаты экспериментальных испытаний представлены в графическом виде на рисунке 12.

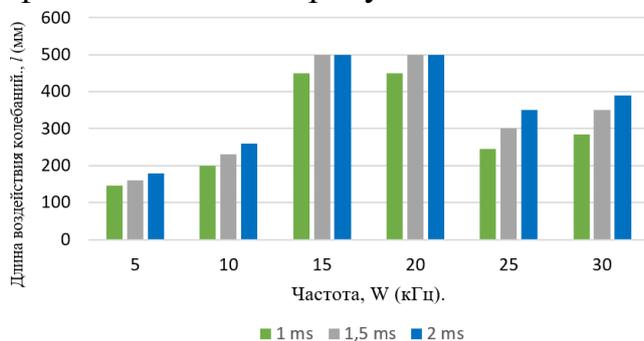


Рисунок 12. Зависимость воздействия амплитуды колебаний, частоты колебаний и длительности импульсов от длины трубы

Анализ результатов экспериментов, проведенных по эффективному применению акустического устройства для очистки внутренних поверхностей труб от накипи, позволяет сделать вывод, что для труб длиной 500 мм и более, при их очистке с использованием предложенного ультразвукового акустического устройства, амплитуда колебаний должна быть в пределах 15-20 кГц, а длительность импульсов – 1,5-2 мс для достижения высокой эффективности.

В процессе эффективной очистки внутренних поверхностей металлических трубок промежуточного холодильника компрессора от накипи, были определены оптимальные значения амплитуды колебаний, частоты и длительности импульсов, генерируемых ультразвуковым акустическим устройством.

Внедрение предложенных разработок в производственную практику показало положительные результаты. Так, новая конструкция форсунки для распыления воды в системе градирни компрессора позволила эффективно охлаждать циркулирующую воду, снижая её температуру на 6 °С по сравнению с базовой форсункой. Ультразвуковое устройство, предназначенное для очистки теплообменных поверхностей холодильников компрессора от накипи, позволяет уменьшить образование накипи на 95% и предотвратить её образование. Это также привело к снижению числа непредвиденных остановок компрессора на 35%, а также сократило расход энергии на сжатие воздуха в компрессоре на 2%, благодаря более эффективному охлаждению сжатого воздуха в промежуточном холодильнике. В результате совершенствования системы охлаждения компрессорного оборудования, экономическая эффективность эксплуатации одного компрессора марки 4BM10-120/9 за год составит 129 600 000 сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему: «Совершенствование системы охлаждения рудничных компрессорных установок» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. Снижение температуры сжимаемого воздуха на промежуточных холодильниках на каждые 6°C между ступенями многоступенчатых поршневых компрессоров, позволяет снизить затраты электроэнергии на сжатие воздуха, на 1%.

2. Эффективность охлаждения воды, распыляемой в градирне, зависит от распыления воды на мелкие капли, объема капли и высоты её падения. Уменьшение объема капли воды и увеличение высоты её падения способствуют улучшению процесса охлаждения.

3. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать величину отрицательного влияния толщины накипи на теплообменных поверхностях воздухоохладителей компрессора на процесс теплообмена;

4. За счет обеспечения разделения распыляемой воды на мелкие капли и вторичного дробления в водораспылительных форсунках градирен компрессорных станций достигается предотвращение образования пленки распыляемой воды и повышения эффективности охлаждения воды.

5. Разработана новая конструкция форсунки для распыления воды, которая обеспечивает широкий угол распыла, разделение воды на мелкие капли и хорошее контактирование воды с воздухом, что способствует улучшению процесса охлаждения воды в градиренных охладителях.

6. Установлена зависимость эффективности охлаждения распыляемой воды в разработанной вихревой водораспылительной форсунки градирни от угла и радиуса лопаток форсунки, а также определены оптимальные конструктивные параметры вихревой форсунки;

7. Каждое увеличение толщины накипи на теплообменных поверхностях промежуточного охладителя многоступенчатых поршневых компрессоров на 1 мм приводит к повышению температуры воздуха, подаваемого в цилиндр следующей ступени, в среднем до 5%.

8. Разработано ультразвуковое акустическое устройство, позволяющее эффективно очищать от накипи теплообменные поверхности промежуточного охладителя многоступенчатых поршневых компрессоров. Практическое применение данного устройства привело к снижению образования накипи в воздухоохладителях на 95% и снижению расхода энергии на сжатие воздуха на 2%.

9. Определены оптимальные значения амплитуды, частоты и длительности импульса колебаний, генерируемых ультразвуковым акустическим устройством, для эффективной очистки от накипи внутренних поверхностей металлических труб.

10. В результате внедрения разработанных технических решений по совершенствованию системы охлаждения рудничных компрессорных установок достигнута годовая экономическая эффективность в размере 129 600 000 сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.17/04.06.2021.T.06.02 AT THE NAVOI STATE UNIVERSITY OF
MINING AND TECHNOLOGY**

**ACADEMY OF SCIENCES REPUBLIC OF UZBEKISTAN
NAVOI BRANCH**

PARDAYEVA SHAHLO SAKHIBJONOVNA

**IMPROVEMENT OF THE COOLING SYSTEM OF MINE COMPRESSOR
UNITS**

04.00.16 – Mining machines

**DISSERTATION ABSTRACT
FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) OF TECHNICAL SCIENCES**

Navoi – 2025

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) was registered at the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under №B2025.1.PhD/T5279. Republic of Uzbekistan.

The dissertation was carried out at the Navoi Branch of the Academy of Sciences

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) on the website of the Scientific Council (www.ndki.uz) and on the information and educational portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Djurayev Rustam Umarxanovich
doctor of sciences (DSc), professor

Official opponents:

Muminov Rashid Olimovich
doctor of sciences (DSc), Associate Professor

Yuldoshov Khusniddin Ergashovich
Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD)

Leading organization:

JSC «Navoi Mining and Metallurgical Combine»

The defense of the dissertation will be held on 28 November 2025 y. at 14⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council of scientific degrees DSc.17/04.06.2021.T.06.02. Address: 210100 Navoi city, st. G'alaba Shoh, 76v. Meeting room of the Navoi State Mining and Technology University. Tel.: (79) 223-04-40; fax: (79) 223-49-66. E-mail: info@nsmtu.uz, nsmi@gmail.com.

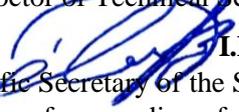
The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Center of the Navoi State Mining and Technology University (registered under No. 237). Address: 210100, Navoi city, st. Galaba Shokh, 76v. Tel.: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66.

The abstract of the dissertation is distributed on «13» November 2025 y.

(Protocol at the register No 162 dated «13» November 2025 y.).




I.T. Mislibayev
Chairman of the Scientific Council
for awarding the scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor


I.P. Egamberdiyev
Acting Scientific Secretary of the Scientific Council
for awarding of scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor


N.A. Abduazizov
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific
Council for the award of academic degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

INTRODUCTION (annotation of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the study is to increase the operational efficiency of mine compressor units by improving the cooling system.

The research object is the processes of scale formation on the metal surfaces of compressor air coolers, as well as the energy-efficient operation of mine compressors.

The scientific novelty of the research is as follows:

a mathematical model has been developed that allows calculating the parameters that affect the efficiency of cooling the sprayed water in the compressor cooling tower cooler;

the dependence of the efficiency of cooling the sprayed water in the developed vortex water spray nozzle of the cooling tower on the angle and radius of the nozzle blades has been established, and the optimal design parameters of the vortex nozzle have been determined;

a mathematical model has been developed that allows calculating the magnitude of the negative impact of scale thickness on the heat exchange surfaces of intermediate coolers of piston compressors on the heat exchange process;

optimal values of the amplitude, frequency and duration of oscillation pulses generated by an ultrasonic acoustic device have been determined for effective cleaning of scale from the internal surfaces of metal tubes of intermediate and final compressor coolers.

Implementation of the research results. Based on the obtained scientific results on increasing the efficiency of mine compressors by improving the cooling system:

a water-spraying vortex nozzle of the cooling tower cooler of the compressor unit was introduced in the compressor station of the Kizil Olma mine of the Angren mine administration of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Plant (certificate of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Plant No. 12-23 / 61-2894 dated December 12, 2021). As a result, an increase in the performance and efficiency of the spray nozzle was achieved, which ensured a decrease in the temperature of the cooling water by 6 °C lower compared to the base nozzle; An ultrasonic device that allows for effective cleaning and prevents scale formation on the heat exchange surfaces of compressor air coolers has been implemented at the compressor station of the Kizil Olma mine of the Angren mine administration of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Plant (reference of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Plant No. 12-23 / 61-2894 dated December 12, 2021). As a result, scale formation in air coolers has been reduced by up to 95%, the number of unforeseen compressor stops has been reduced by up to 35%, and the compressor's energy consumption for air compression has been reduced by up to 2% due to effective cooling of compressed air in the intermediate cooler.

The structure and content of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 116 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Djurayev R.U., Pardayeva Sh.S., Kayumov U.E. «Improving the design of water spray nozzles in cooling towers» // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. – Vol 9, № 1. – 2024. – Pp 139-145. (05.00.00; №33)

2. Djurayev R.U., Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S. «Sovutish gradirnyalaridagi suv purkovchi forsunkalar konstruksiyasini takomillashtirish» // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. – Buxoro, 2024. – №2. –9-14 b. (05.00.00; №24)

3. Yuldashev E.U., Pardayeva Sh.S., Xatamova D.N. «Porshenli kompressorlarga so'riluvchi havoni samarali sovutishning texnik yechimlarini ishlab chiqish» // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. – Buxoro, 2024. – №1. –23-28 b. (05.00.00; №24)

4. Djurayev R.U., Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S. «Kon kompressor qurilmalarining issiqlik energiyasidan foydalanishi» // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. – Buxoro, 2024. – №3. –166-171 b. (05.00.00; №24)

5. Djuraev R.U., Kayumov U.E., Pardaeva Sh.S. «Use of thermal energy of mining compressor units» // Innovatsion texnologiyalar. – Qarshi, 2023. – Maxsus son. – 17-22 b. (04.00.00; №11)

6. Kayumov U.E., Pardaeva Sh.S., Adizov D. Sh «Разработка метода оценки эффективности водоразбрызгивающих форсунок охладительной системы стационарной компрессорной установки горного предприятия» // Universum: технические науки. Выпуск: 2(131). - Февраль 2025. – 61-66 b. (02.00.00; №1)

II bo'lim (II часть; part II)

7. Djurayev R.U., Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S., Istamov M.F. «Kompressorning havo sovutkichlari issiqlik almashinuvi yuzalarida hosil bo'ladigan qurum qalinligini issiqlik almashinuvi jarayoniga ta'sirini hisoblash» // № DGU 51166 guvohnoma, elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur, 20.05.2025 yil.

8. Djurayev R.U., Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S. «Gradirnyali sovutgichning suv purkash forsunkasida suvni sovutish samaradorligiga ta'sir etuvchi omillarni hisoblash» // № DGU 50571 guvohnoma, elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur, 08.05.2025 yil.

9. Pardayeva Sh.S., Kayumov U.E. «Suvni sovutish gradirnyalarida ishlatiladigan forsunkalarning samaradorligini oshirish» // «Fan va texnika taraqqiyotida yoshlar» 2-Respublika ilmiy-amaliy anjumani to'plami. – Navoiy, 2023. – 121-124 b.

10. Pardayeva Sh.S., Kayumov U.E. «Kompressor qurilmalarining samaradorligini oshirish usullari» // «Fan va texnika taraqqiyotida yoshlar» 2-Respublika ilmiy-amaliy anjumani to'plami. – Navoiy, 2023. – 118-121 b.

11. Djuraev R.U., Kayumov U.E., Pardaeva Sh.S. «Разработка метода оценки эффективности водоразбрызгивающих форсунок охладительной системы

стационарной компрессорной установки горного предприятия» // Материалы международной научно-практической конференции: «Механика и машиностроение. Наука и практика». – Санкт-Петербург, 2024. – С.112-115.

12. Djuraev R.U., Xatamova D.N., Pardayeva Sh.S. «Increasing the operating efficiency of mining compressor installations on the basis of improving the cooling, lubrication and air suction system» // III International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources (GEOTECH-2023). – Navoi, 2023, pp. 1-12.

Avtoreferat «O‘zbekiston konchilik xabarnomasi» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.