

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/04.06.2021.Т.06.02  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ХАТАМОВА ДИЛШОДА НАРМУРАТОВНА**

**СОВУТИШ ТИЗИМИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ АСОСИДА КОН  
КОМПРЕССОР УСКУНАЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ  
ОШИРИШ**

**04.00.16 – «Кончилик машиналари»**

**техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Навоий – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

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

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

**Хатамова Дилшода Нармуратовна**

Совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор  
ускуналарининг самарадорлигини ошириш.....3

**Хатамова Дилшода Нармуратовна**

Повышение эффективности работы рудничных компрессорных установок  
на основе совершенствования их системы охлаждения.....21

**Khatamova Dilshoda Narmuratovna**

Improving the efficiency of mine compressor units based on the  
improvement of their cooling system .....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....43

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/04.06.2021.Т.06.02  
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ХАТАМОВА ДИЛШОДА НАРМУРАТОВНА**

**СОВУТИШ ТИЗИМИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ АСОСИДА КОН  
КОМПРЕССОР УСКУНАЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ  
ОШИРИШ**

**04.00.16 – «Кончилик машиналари»**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Навоий – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/Т2074 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Навоий давлат кончилик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.ndki.uz](http://www.ndki.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Абдуазизов Набижон Азаматович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Тошов Жавохир Буриевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Райханова Галия Елеубаевна**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**


**«Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ**


Диссертация химояси Навоий давлат кончилик институти ҳузуридаги DSc.17/04.06.2021.Т.06.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил 29 октябр соат 15<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Махмуд Таробий кўчаси, 72-уй. Навоий давлат кончилик институтининг мажлислар зали. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz)).

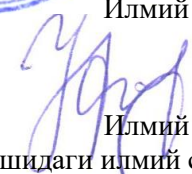
Диссертация билан Навоий давлат кончилик институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (76 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Махмуд Таробий кўчаси, 72-уй, Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66.

Диссертация автореферати 2021 йил 13 октябр куни тарқатилди.  
(2021 йил 13 октябрдаги 37 рақамли реестр баённомаси)



  
**И.Т.Мислибаев**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш  
раиси, т.ф.д., профессор

  
**Ш.Ш. Заïров**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш  
илмий котиби, т.ф.д., профессор

  
**Ф.Я. Умаров**  
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш  
қошидаги илмий семинар раиси в.в.б., т.ф.д., доцент

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда кончилик соҳасида кон компрессорларининг эксплуатацияси ресурсларни тежашни талаб қилувчи жараёнлардан биридир. Кончилик корхоналари балансида сиқилган ҳавони пневматик энергия сифатида ишлаб чиқарувчи компрессор ускуналарининг улуши 20-35% ни ташкил этади ва уни янада такомиллаштириш кейинги технологик жараёнларнинг кўрсаткичларига таъсир қилади. Сиқилган ҳавонинг кенг қўлланилиши саноат корхоналарида сиқилган ҳавони ишлаб чиқариш жараёнида самарали ечимларни ишлаб чиқиш ва компрессор ускуналарини эксплуатациясининг энергия самарадорлигини ошириш орқали эксплуатация харажатларини камайтириш алоҳида аҳамият касб этади.

Дунёда кон компрессор ускуналаридан фойдаланиш, совутиш тизимининг ишлаш принципи билан боғлиқ бўлган камчиликларни аниқлаш, сиқилган ҳавони совутилганлик сифатини компрессор ускунаси самарадорлигига таъсирини тадқиқ қилиш ва компрессор сўрувчи ҳавони совутишнинг самарали техник ечимларини ишлаб чиқиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада сиқилган ҳавонинг совутилганлик сифатини компрессор ускунасининг самарадорлигига таъсирини ўрганиш, совутиш тизимини такомиллаштириш асосида компрессор ускуналарининг иш самарадорлигини ошириш учун илмий асосларни ишлаб чиқиш, қўшимча сувни юмшатиш учун қурилма, компрессор сўрувчи ҳавони совутиш учун ускуна ва градирнянинг сув пуркагичини конструкциясини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамызда кончилик корхоналарида кон компрессор ускуналаридан фойдаланишда энергия сарфини камайтириш ва самарадорлигини ошириш, компрессор ускуналарининг конструкциясини такомиллаштириш орқали сиқилган ҳавонинг сифатини ошириш, компрессор ускуналарини совутиш тизимини, сиқилган ҳаво совутгичларининг конструкциялари ва параметрларини, сув совутиш қурилмасини, сиқилган ҳаво поғоналар орасидаги ва сўнгги совутгичларни, сиқилган ҳавони тозалаш ва қуриштириш усулларини ишлаб чиқиш бўйича инновацион технологияларни жорий этиш бўйича илғор илмий чора-тадбирларни жорий қилиб, бир қатор илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг фармонида<sup>1</sup> «ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш, принципиал жиҳатдан янги технология турларини ўзлаштириш, энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш...» каби муҳим вазифалар белгиланган. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда, сиқилган ҳавони совутилганлик сифатини компрессор ускунаси самарадорлигига таъсирини тадқиқ қилиш, компрессор сўрувчи ҳавонинг совутишнинг самарали

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси» тўғрисида Фармони.

техник ечимларини ишлаб чиқиш, компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувига электромагнит ишлов бериш ускунасини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш, стационар компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувини юмшатиш учун қурилма ишлаб чиқишга қаратилган тадқиқотлар катта илмий ва амалий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги ва 2015 йил 4 мартдаги ПФ-4707-сон «Ишлаб чиқаришни структуравий қайта тузиш, модернизациялаш ва диверсификациялашни таъминлаш бўйича 2015-2019 йилларга мўлжалланган чора-тадбирлар дастури» тўғрисидаги Фармонлари ва 2019 йил 17 январдаги ПҚ-4124-сон «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика илм-фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиясини ривожлантиришнинг VII. «Ер тўғрисидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хомашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Компрессор ускуналаридан самарали фойдаланиш назарияси ва амалиётини ривожланишига Френкель М.И., Пластинин П.И., Докукин А.В., Мурзин В.А., Цейтлин Ю.А., Меркулов М.В., Джураев Р.У., Фотин Б.С., Картавий Н.Г., Дуров В.А., Фролов А.П., Миняев Ю.Н., Гарбуз Д.Л., Герман А.П., Ильичев А.С., Гришко А.П., Lemasson G., Lefebvre J., Heinz P. Bloch., Fred K. Geitner., Stapel A.G ва бошқалар катта ҳисса қўшишган, улар томонидан кон компрессор ускуналарини самарадорлигини ошириш ва энергия сарфини камайтириш билан боғлиқ катта натижаларга эришилган. Бироқ, бугунги кунда совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор ускуналарининг самарадорлигини ошириш, сиқилган ҳавони совутилганлик даражасини компрессор ускунасининг самарадорлиги ва энергия сарфига таъсири тўлиқ ўрганилмаган.

Шу муносабат билан кончилик саноати учун муҳим бўлган кон компрессор ускуналарининг совутиш тизимини ўрганиш ва энергия самарадорлигини ошириш зарурияти юзага келади ва бу йўналишда кейинги тадқиқотларни давом эттириш лозим.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилик институти илмий-тадқиқот режасининг ЁБВ-Атех-2018-22-сон «Скважиналарни ҳаво ёрдамида бурғилашнинг самарадорлигини ошириш учун ресурстежамкор технологияларни ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор ускуналарининг эксплуатацион самарадорлигини оширишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

компрессор ускуналари самарадорлигини оширишнинг асосий йўналишлари ва ҳолати таҳлили;

сиқилган ҳавони совутилганлик сифатини компрессор ускунаси самарадорлигига таъсирини тадқиқ қилиш;

компрессор сўрувчи ҳавони совутишнинг самарали техник ечимларини ишлаб чиқиш;

компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувига электромагнит ишлов бериш ускунасини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш;

стационар компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувини юмшатиш учун қурилма ишлаб чиқиш ва экспериментал тадқиқ қилиш;

ишлаб чиқилган ечимларни қўллаш самарадорлигини техник – иқтисодий баҳолаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида кон компрессорларининг энергия самарадор эксплуатацияси олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** кон компрессорларининг совутиш тизими ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида кон компрессор ускуналарини совутиш тизимини такомиллаштиришда назарий ва экспериментал усуллар, лаборатория ва саноат шароитида экспериментал тадқиқотлар, компрессор ускуналарининг ишчи жараёнларини математик моделлаштириш ва математик статистика усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

компрессорнинг кейинги поғонасига кирувчи ҳавонинг совутилиш самарадорлигини пасайиш даражасини аниқлашга имкон берувчи кўп поғонали компрессорнинг оралиқ совутгичидан чиқувчи сиқилган ҳаво ҳароратининг қурум қалинлиги ва совутувчи сув ҳароратига боғлиқлиги аниқланган;

сўрувчи ҳавонинг совутиш ускунасини қўллаганда ускунасининг фойдали иш коэффициентини ва ҳақиқий унумдорлигини аниқлаш имконини берувчи поршенли компрессорнинг ишчи жараёнларини математик модели ишлаб чиқилган;

сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси қўлланилганда ва қўлланилмаганда сувнинг турли ҳароратларида оралиқ ва сўнгги совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумнинг қалинлигини эксплуатация давомийлигига нисбатан ўзгаришининг боғлиқлиги аниқланган;

оралиқ ва сўнгги совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумнинг ҳосил бўлишини камайтирувчи компрессор қурилмаларининг совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун қурилма ишлаб чиқилган;

компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувини юмшатиш қурилмасида сувнинг умумий қаттиқлигининг ўзгариши унинг ҳароратига боғлиқлиги аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

компрессорга кирувчи ҳаво ҳароратини пасайтириш асосида компрессор қурилмаларини самарадорлиги ва иш унумдорлигини оширувчи, сўриб оладиган ҳавони совутиш учун ускуна ишлаб чиқилган;

сув томчиларини иккиламчи парчаланиши натижасида уларни пуркалиш тезлигини 40% га оширувчи градирияларни сув пуркагичларининг конструкцияси ишлаб чиқилган;

айланма сувга электромагнит ишлов бериш қурилмаси поршенли компрессор қурилмасининг оралиқ ва сўнгги совутгичларининг иссиқлик алмашинуви юзаларида қуримнинг ҳосил булишини камайтирувчи ускуна ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** кенг миқёсдаги лаборатория ва саноат шароитидаги тажрибалар, кон компрессор ускуналарининг эксплуатациясини энергия самарадор усулларини ишлаб чиқишда ишнинг асосий ғоясининг миқдорий кўрсаткичлари ва қоникарли даражада мувофиқлиги, шунингдек, кон компрессор ускуналарининг эксплуатациясини самарадорлигини оширувчи совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун қурилманинг ва айланма сувга электромагнит ишлов берувчи ускунанинг экспериментал синовларининг ижобий натижалари билан исботланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти сиқилган ҳавонинг совутилганлик даражасини компрессор ускунасининг самарадорлигига таъсирини тадқиқ қилиш, сўрувчи ҳавонинг совутиш ускунасини қўллаганда поршенли компрессорнинг ишлаб чиқариш жараёнларини математик моделини ишлаб чиқиш ва совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор ускуналарини самарадорлигини ошириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти компрессорга кирувчи ҳавони совутиш ускунаси, компрессор ускуналарининг совутиш тизимини қўшимча сувини юмшатиш учун қурилма ва сув пуркагичларнинг конструкцияси яратилганлиги кон компрессор ускуналарини эксплуатациясининг самарадорлигини оширишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Совутиш тизимини такомиллаштириш натижасида кон компрессор ускуналарининг самарадорлигини ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

кон компрессор ускуналарини совутувчи сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК «1-сон ГМЗ» кон бошқармаси «Қорақутан» конининг компрессор станциясида амалиётга жорий этилган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 7 июлдаги 02-06-07/7026-сон маълумотномаси). Натижада, компрессор ускуналарининг оралиқ ва сўнгги совутгичларининг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурум ҳосил бўлишини 80% га камайтириш имконини берган;

компрессорга кирувчи ҳавонинг ҳароратини сунъий совутиш ускунаси «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК «1-сон ГМЗ» кон бошқармаси «Қорақутан» конининг компрессор станциясида амалиётга жорий этилган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 7 июлдаги 02-06-



07/7026-сон маълумотномаси). Натижада, компрессорга кирувчи ҳавонинг ҳарорати 8°C га пасайган ва компрессор ускунасининг фойдали иш коэффициентини ошириш имконини берган;

компрессор қурилмасининг совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун ишлаб чиқилган қурилма «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК «1-сон ГМЗ» кон бошқармаси «Қорақутан» конининг компрессор станциясида амалиётга жорий этилган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 7 июлдаги 02-06-07/7026-сон маълумотномаси). Натижада, сувнинг қаттиқлиги 92% пасайтирилган ҳамда оралиқ ва сўнгги совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурум ҳосил бўлишини камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларини апробацияси.** Мазкур тадқиқотнинг натижалари 2 та республика ва 5 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий ишлар чоп этилган, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 6 та, жумладан Республика нашрларида 3 та ва хорижий журналларда 3 та мақола нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 118 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида тадқиқотнинг аҳамияти ва долзарблигини асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети аниқланган, тадқиқот ишининг Республикада фан ва технологияларни ривожлантиришнинг муҳим йўналишларига мослиги кўрсатилган ҳамда тадқиқотнинг илмий янгилиги, натижаларнинг ишончлилиги, назарий ва амалий аҳамияти, натижаларнинг амалиётга жорий этилиши, эълон қилинганлиги, ишнинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Компрессор ускуналари самарадорлигини оширишнинг асосий йўналишлари ва ҳолати таҳлили»** деб номланган биринчи бобида қончилик соҳасида сиқилган ҳаво қўлланилиши ўрганилган, поршенли компрессорларни эксплуатация қилишда энергия сарфи кўриб чиқилган, кон компрессор ускуналарининг эксплуатацияси самарадорлигини ошириш бўйича илмий тадқиқотлар ҳолатининг таҳлили ўтказилган, кон компрессор ускуналарини такомиллаштириш ва энергия самарадорлигини оширишнинг асосий йўналишлари кўриб чиқилган.

Ўтказилган таҳлил натижасида технологик маҳсулотни ишлаб чиқариш учун умумий электроэнергиянинг сарфидан тахминан 20%, баъзи ҳолларда 90% гача улиши сиқилган ҳавони ишлаб чиқариш учун сарфланиши аниқланган. Сиқилган ҳавони ишлаб чиқариш учун гидрометаллургия заводларида

тахминан 5-10%, машинасозлик корхоналарида – 20% гача, кон корхоналарида эса – 30% гача электр энергияси сарфланади.

Кон компрессор ускуналарининг иш унумдорлигини пасайиши ва энергия сарфини ошишига компрессорнинг совутиш тизими кўпроқ даражада таъсир қилади, шу сабабдан поршенли компрессорларнинг самарадорлигини совутиш тизимини такомиллаштириш асосида ошириш мумкин, чунки поршенли компрессорларда сиқилган ҳавонинг етарли даражада совутилмаганлиги сабабли йўқотилишлар 20% ни ташкил қилади.

Компрессор ускуналарининг мавжуд совутиш тизими уларни эксплуатациясининг ўзига хос хусусиятлари туфайли бир қатор муҳим камчиликларга эга. Совутиш учун қўлланиладиган сув таркибида юқори туз миқдори ва турли аралашмалар мавжуд бўлиб, улар оралиқ ва сўнгги совутгичларнинг ишлаш сифатини пасайтиради.

Иқлим шароитлари компрессор ускуналарини совутиш тизимининг ишлашига таъсир қилувчи муҳим омил ҳисобланади. Йилнинг иссиқ кунларида ҳаво ҳарорати 40-45°C га етади, бу эса компрессорга кирувчи ҳаво ҳароратининг ошишига олиб келади, натижада усқунанинг самарадорлиги пасаяди. Бундан ташқари, иссиқ мавсумда ишлайдиган градирнялар айланма сувни керакли даражада совутмайди, бу эса компрессор қурилмасининг эксплуатацион самарадорлигини пасайтиради.

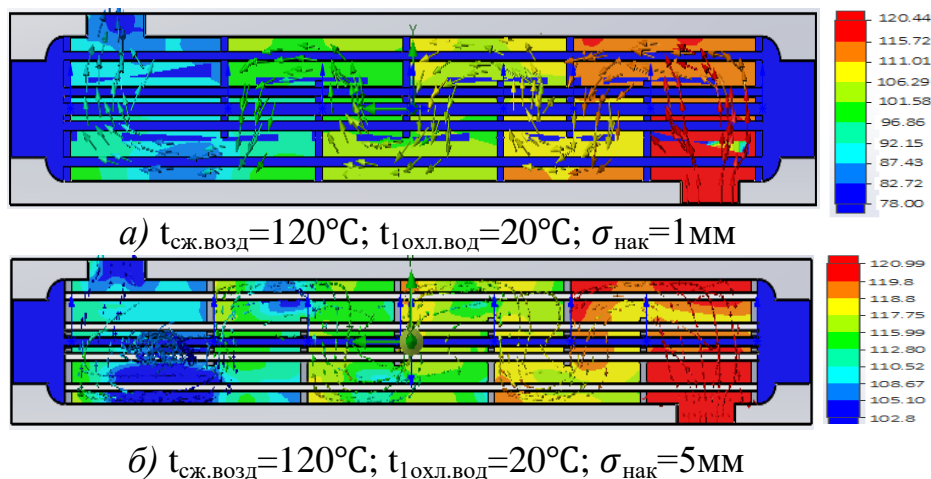
Диссертациянинг «**Сиқилган ҳавони совутиш сифатини компрессор усқунаси самарадорлигига таъсирини тадқиқ қилиш**» деб номланган иккинчи бобида компрессор усқуналарини совутиш тизимининг ишлаши таҳлил қилинган, компрессор томонидан сўрилувчи ҳаво ҳарорати усқунанинг самарали ишига таъсири, компрессорни совутиш самарадорлигига оралиқ ва сўнгги совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларидаги қатламларнинг таъсири тадқиқ қиланган ҳамда градирняли совутгичларнинг ишлаши баҳоланган ва уларнинг компрессор усқунасининг самарадорлигига таъсири тадқиқ қилинган.

Компрессор усқунасининг самарали ишлаши ва иш унумдорлигига таъсир қилувчи муҳим омиллардан бири сўриш жараёнида ҳавонинг ҳароратини ошиши (сўрувчи ҳаво ҳароратининг (яъни сиқилиш бошланадиган ҳарорати) 1°C га ошиши 1 кг ҳавони сиқиш учун сарфланадиган ишнинг тахминан 0,16% га, сўрилувчи ҳаво ҳарорати 6°C га ошганда эса сарфланган иш 1% га ошиши) ва оралиқ совутгичларда ҳавонинг етарли даражада совутилмаганлиги (оралиқ совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратининг ҳар 6-8°C га ошиши энергия сарфини 1% га ошириши ва усқунанинг иш унумдорлигини 5% гача камайтириши) кабилар эканлиги аниқланди.

Ҳавонинг етарли даражада совумаслигининг асосий сабабларидан бири бу совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумлар ва ифлосланишларни юзага келтирувчи сифатсиз сув ҳисобланади. SolidWorks Flow Simulation замонавий компьютер дастурида қурум қатламининг катталиги поршенли компрессорнинг оралиқ совутгичида ҳавони самарали совутишга таъсирини аниқлаш мақсадида тадқиқот ишлари олиб борилди. Тадқиқот ишлари цилиндрдан чиқаётган сиқилган ҳаво ҳарорати  $t_{\text{сж.в03}}$  100, 110, 120, 130

ва 140°C да олиб борилди. Совутувчи сув ҳарорати  $t_{1\text{охл.вод}}$  совутгичга киришда 15, 20 ва 25°C учун олиб борилди, қурум қатлами  $\sigma_{\text{нак}}$  1 мм дан 5 мм гача бўлган ораликда 1 мм дан оширилиб борилди. Тадқиқот ишлари цилиндрдан чиқувчи сиқилган ҳаво ҳароратининг  $t_{\text{сж.воз}}$  ҳар бир қиймати учун совутувчи сувни турли ҳароратларда  $t_{\text{охл.вод}}$  ва қурум қатламини қалинлигининг  $\sigma_{\text{нак}}$  турли қийматлари учун такрорланди.

1-расмда SolidWorks Flow Simulation дастурида олинган қурум қатламини қалинлигини совутиш самарадорлигига таъсирини аниқлаш бўйича синов натижалари келтирилган.



### 1-расм. SolidWorks Flow Simulation дастурида олинган қурум қатламини қалинлигини совутиш самарадорлигига таъсирини аниқлаш бўйича синов натижалари

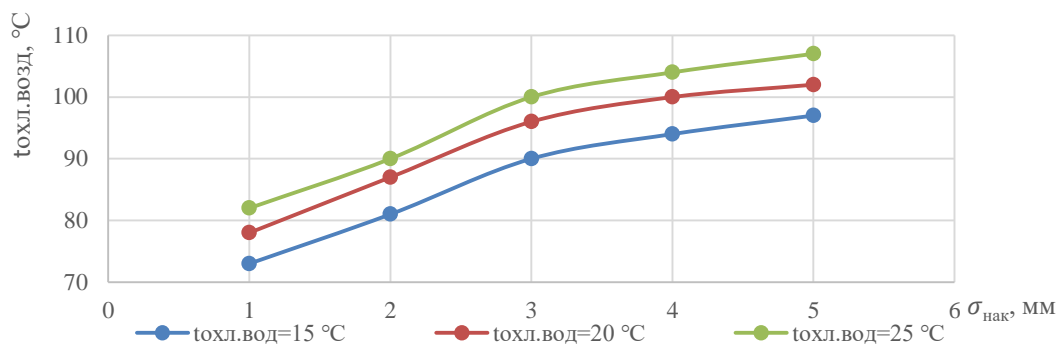
Қурум қатламини қалинлигини совутиш самарадорлигига таъсирини аниқлаш бўйича тадқиқотлар натижасига асосан совутувчи сувни ҳароратининг турли қийматларида оралик совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратини ўзгаришининг қурум қатламини қалинлигига боғлиқлиги аниқланди.

2-расмда совутувчи сувни ҳарорати  $t_{1\text{охл.вод}}$  15, 20 ва 25°C, оралик совутгичга кирувчи ҳаво ҳарорати  $t_{\text{возд}}=120^{\circ}\text{C}$  бўлганда, оралик совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратини қурум қатламини қалинлигига  $\sigma_{\text{нак}}$  боғлиқлиги келтирилган.

Қурум қатламининг қалинлигини  $\sigma_{\text{нак}}$  ҳар 1 мм ошиши совутгичдан чиқувчи совутилган ҳаво ҳароратини  $t_{\text{охл.возд}}$  ўртача 5% га ошишига олиб келади. Шунингдек, совутувчи сувнинг  $t_{1\text{охл.вод}}$  ҳарорати оралик совутгичдаги сиқилган ҳавонинг совутилишига таъсир қилади, совутувчи сув  $t_{1\text{охл.вод}}$  ҳароратининг ҳар 5°C га ошиши оралик совутгичда сиқилган ҳавонинг ҳароратини 4-5°C га ошишига олиб келади.

Ёзги даврда атмосфера ҳарорати юқори бўлганлиги сабабли, градирняларнинг самарадорлиги анча пасаяди, йилнинг иссиқ кунларида градирнялар айланма сувни белгиланган қийматгача совутиб бера олмайди. Юқори ҳароратларда сиқилган ҳаво ҳажми кенгайиши, фойдали иш

унумдорлиги тушиши натижасида компрессор ускунасининг умумий самарадорлиги пасаяди.



**2-расм. Совутувчи сувнинг ҳароратлари  $t_{\text{охл.вод}}$  15, 20 ва 25°C, оралик совутгичга кирувчи ҳаво ҳарорати  $t_{\text{возд}}=120^\circ\text{C}$  бўлганда, оралик совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратини ўзгариши қурум қатлами қалинлигига  $\sigma_{\text{нак}}$  боғлиқлиги**

Совутувчи градирнялар ишини тадқиқоти шуни кўрсатадики, совутиш самарадорлигини пасайишни асосий сабаби сув пуркагич мосламаларининг қоникарсиз ишлашидир. Шундай қилиб, сув пуркагичларнинг конструкциясини такомиллаштириш асосида совутиш градирняларини замонавийлаштириш зарурияти юзага келади.

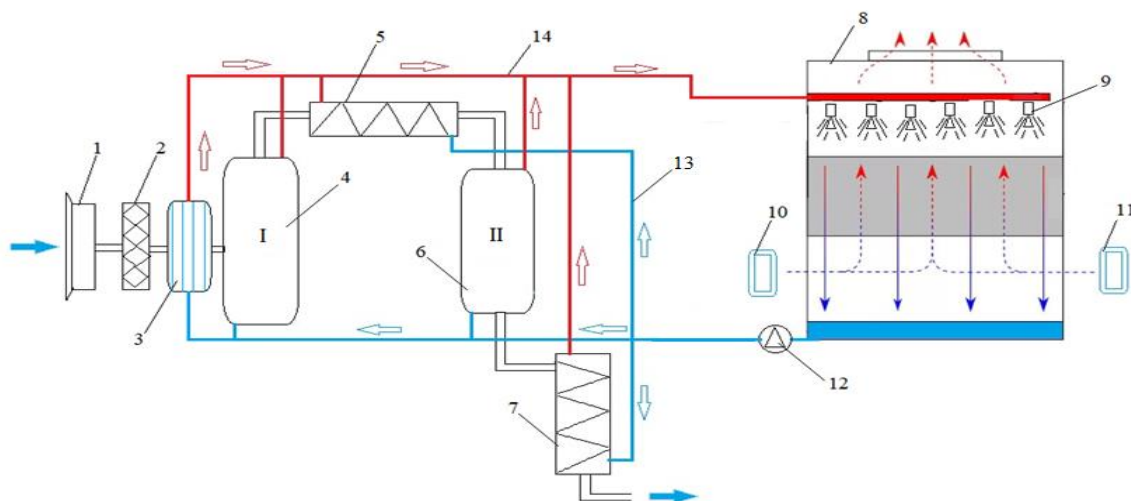
Диссертациянинг «Компрессор сўрувчи ҳавонинг совутишнинг самарали техник ечимларини ишлаб чиқиш» деб номланган учинчи бобида компрессорга кирувчи ҳавони совутиш учун ускуна ишлаб чиқилган ва ушбу ускунанинг экспериментал синов натижалари келтирилган, компрессорга кирувчи ҳавони совутиш учун ускунани қўллаганда поршенли компрессорни ишчи жараёнларининг математик модели ишлаб чиқилган, шунингдек совутувчи градирняларнинг сув пуркагичларини конструкцияси такомиллаштирилган.

Шубҳасиз, сўрилувчи ҳаво ҳароратини пасайиши компрессор ускунаси юритмасининг қувватини оширмасдан унинг иш унумдорлигини оширади.

Градирнядан чиқувчи совутилган сув ёрдамида оддий ва арзон иссиқлик алмашинуви ускунасида компрессор сўрувчи ҳаво ҳароратини тушуриш мумкин, ушбу ҳолатда сўрилувчи ҳавони совутиш ускунаси ҳаво филтри ва компрессорнинг биринчи поғонаси оралиғида ўрнатилади. Компрессордан олдин совутгични ўрнатиш қўшимча гидравлик қаршиликларни юзага келтиради, бу эса ўз навбатида қурилма юритмасининг энергия сарфини оширади. Таклиф қилинаётган совутгичнинг конструкциясида совутувчи сув айланувчи қувурлар орасидаги масофа шундай танланганки, юзага келадиган гидравлик қаршиликлар сезиларли бўлмайди.

3-расмда компрессор сўрувчи ҳавони сунбый равишда совутиш учун совутгич қўлланилгандаги икки поғонали поршенли компрессорни очик совутиш тизимининг схемаси келтирилган.

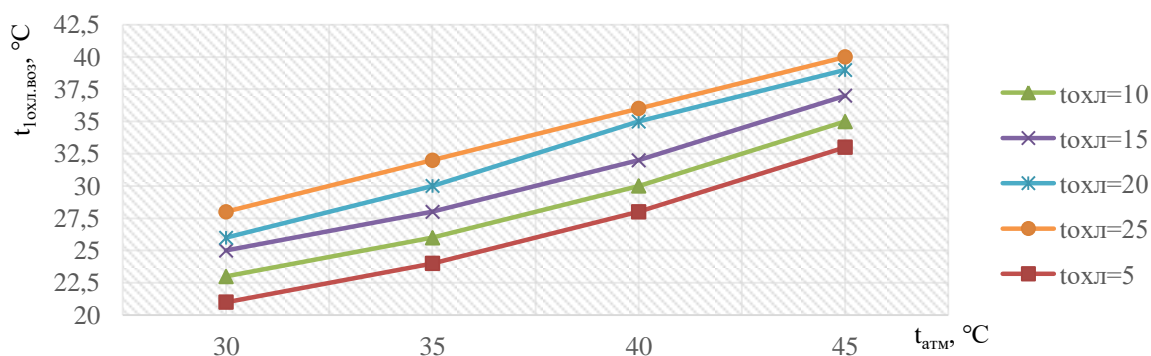
SolidWorks Flow Simulation дастурида компрессор сўрувчи ҳавони совутгич қўллаб градирнядан келувчи совутувчи сув билан сунъий совутишда ҳаво ҳароратини пасайиши тадқиқ қилинди. Тадқиқот ишлари совутгичга кирувчи ҳаво ҳарорати  $t_1$  25, 30, 35, 40, 45°C қийматларида ва градирнядан келувчи совутувчи сув ҳарорати  $t_{\text{охл.вод}}$  5, 10, 15, 20 ва 25°C қийматлари учун олиб борилди.



1 – ҳаво қабул қилгич; 2 – филтр; 3 – компрессор сўрувчи ҳавони совутгич; 4 – компрессорни биринчи поғонаси; 5 – оралик совутгич; 6 – компрессорни иккинчи поғонаси; 7 – сўнгги совутгич; 8 – градирня; 9 – сув пуркагич; 10 ва 11 – вентиляторлар; 12 – насос; 13 – совутувчи сув қувурлари; 14 – иссиқ сув қувурлари

**3-расм. Сўрувчи ҳавони сунъий равишда совутиш учун совутгич қўлланилганда икки поғонали поршенли компрессорни очик совутиш тизимининг схемаси**

Олинган натижалар асосида совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратининг  $t_{1 \text{ охл.вод}}$  ўзгариши совутувчи сув ҳароратига  $t_{1 \text{ охл.вод}}$  боғлиқлиги аниқланди (4-расм).



**4-расм. Совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳароратини  $t_2$  совутувчи сув ҳароратига  $t_{\text{охл}}$  боғлиқлиги**

Олиб борилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, сўрилувчи ҳавони совутиш ускунасини қўллаш компрессор цилиндрига кирувчи ҳаво ҳароратини,

совутувчи сув ҳароратидан келиб чиққан ҳолда, 10°C гача пасайтириш имконини беради.

Сўрилувчи ҳавонинг совутиш ускунасини қўллаганда поршенли компрессорнинг ишчи жараёнларини фойдали иш коэффицентини ва ҳақиқий унумдорлигини аниқлаш имконини берувчи математик модели ишлаб чиқилди. 4-расмда келтирилган экспериментал қийматлар асосида олиб борилган регрессион таҳлил натижасида, сўрувчи ҳавони сунъий совутиш ускунаси ўрнатилганда совутилган ҳаво ҳароратини атроф муҳит ҳароратига боғлиқлиги аниқланди:

$$t_{ис.ох} = 0,8 t_{окр.} - a, \quad (1)$$

бу ерда  $a$  – ҳарорат ўзгариши, °C.

Ушбу боғлиқликни компрессорни биринчи поғонасидан олдинда, совутувчи сув  $t_{охл.вод}$  ва атроф муҳит ҳароратларига  $t_{окр}$  боғлиқ бўлган, сунъий совутилган ҳаво ҳароратини аниқлаш учун қўллаш тавсия этилади.

Компрессор сўрувчи ҳавонинг сунъий совутиш ускунаси қўлланилганда икки поғонали сиқиш учун сарфланадиган ҳақиқий иш қиймати қуйдаги формула орқали аниқланади:

$$L_{охл} = \frac{k}{k-1} R (0,8 t_{окр.} - a) \sum \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta T}{0,8 t_{окр.} - a} \right) \left[ \left( \frac{P_k}{P_n - \Delta P_2} \right)^{\frac{1}{\sigma_1}} - 1 \right] \right\}, \quad (2)$$

бу ерда  $k$  – адиабата кўрсаткичи;  $R$  – ҳавонинг газ доимийси;  $\Delta T$  – иккинчи поғонадан олдин турувчи совутгичда ҳаво атроф муҳит ҳароратигача  $T_0$  совутилмаганлиги, °C;  $P_k$ ,  $P_n$  – иккинчи поғонада бошланғич ва сўнгги босим, МПа;  $\Delta P_2$  – иккинчи поғонадан олдин босимнинг йўқотилиши;

$$\sigma_1 = \frac{k \eta_{пол1}}{k-1}, \quad (3)$$

бу ерда  $\eta_{пол1}$  – биринчи поғонада политроп фойдали иш коэффицентини.

Компрессор сўрувчи ҳавонинг сунъий совутиш ускунаси қўлланилганда икки поғонали сиқиш учун индикатор иш қуйдаги формула орқали аниқланади:

$$\sum L_{инд} = \frac{P_1^{БХ} V_{вс}}{\lambda_T} \frac{k}{k-1} \left[ e_1^{\frac{k-1}{k}} + \frac{T_{по}^{БХ}}{0,8 t_{окр.} - a} \left( e_2^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) - 1 \right], \quad (4)$$

бу ерда  $P_1^{БХ}$  – биринчи поғонадан олдин сўришда ҳаво босими, МПа;  $\lambda_T$  – қизиш коэффицентини;  $T_{по}^{БХ}$  – оралик совутгичдан чиқувчи ҳаво ҳарорати, °C;  $e$  – биринчи поғонада босимлар нисбати;  $V_{вс}$  – сўрилувчи ҳаво ҳажми, м<sup>3</sup>.

Сунъий совутилган ҳаво ҳароратини инобатга олган ҳолда, компрессор ускунасининг изотермик фойдали иш коэффицентини қуйдаги формула орқали аниқлаш тавсия этилади:

$$\eta_{из} = \frac{L_{из}}{L_{охл}} = \frac{0,8 t_{окр.} - a}{t_{окр.}} \ln \pi_k \left( \frac{\psi_k k}{(k-1) \sum_1^n \left( \frac{\pi_1^{1/\sigma_1}}{1-r_1} - 1 \right)} \right)^{-1}, \quad (5)$$

бу ерда  $\psi_k$  – келтирилган йўқотилишлар коэффицентини,  $\psi_k = 1,01 \div 1,12$ ;

$\pi_1 = \frac{P_k}{P_n}$  – поғоналарнинг кириш ва чиқиш қирқимида босимлар нисбати;  
 $r_1 = \frac{\Delta P}{P_n}$  – босимнинг нисбий йўқотилишлари.

(1) ифодани ҳисобга олган ҳолда сўришда ҳаво ҳарорати сунъий совутиш йўли билан сезиларли даражада пасаяди. Шу туфайли, сўриб олинувчи ҳаво ҳарорати ҳам цилиндр охирида пасаяди, бу эса бир поғонали компрессор ускунасининг ҳақиқий иш унумдорлигини оширади ва унинг қийматини қуйидаги формула орқали аниқлаш тавсия этилади:

$$Q_{\text{пр}} = V_p' \cdot \frac{P_1'}{P_1} \cdot \frac{0,8 t_{\text{атм.в.}} - a}{T_1'}, \quad \text{м}^3/\text{соат}, \quad (6)$$

бу ерда  $V_p'$  – сўрилувчи ҳавонинг хажми,  $\text{м}^3/\text{соат}$ ;  $P_1$  и  $T_1$  – мос равишда, компрессордан олдин ҳаво босими ва ҳарорати, МПа ва  $^{\circ}\text{C}$ ;  $P_1'$  и  $T_1'$  – мос равишда, сўрилишда цилиндрда ҳаво босими ва ҳарорати, МПа ва  $^{\circ}\text{C}$ .

Қизиш коэффициенти  $\lambda_{\text{тТ}}$  компрессор ускунасининг иш унумдорлигини пасайишининг сабабларидан бири бўлиб, унинг қиймати, сўриш жараёнининг бошида кирувчи ҳаво ҳароратининг аниқлаш қийн бўлганлиги учун, бугунги кунга қадар аниқланмаган. Экспериментал тадқиқотлар натижасида аниқланган (1) ифода  $\lambda_{\text{т}}$  қийматини аниқлаш имконини беради.



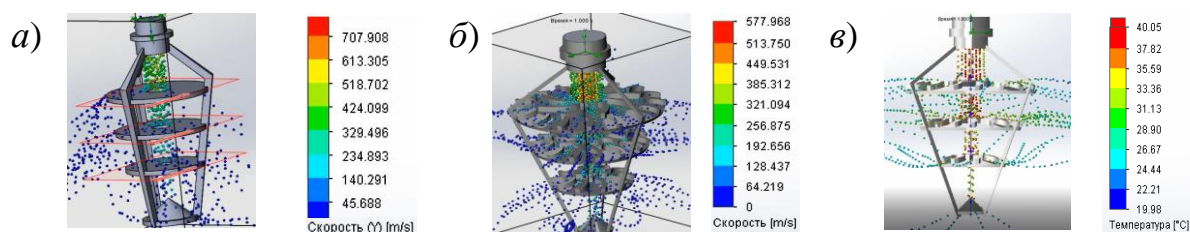
**5-расм. Сув пуркагични ишлаб чиқилган конструкциясининг умумий кўриниши**

Керакли дисперсияни ва пуркаш бурчагини шакллантириш мақсадида, сув томчиларининг уярмали ҳаракатини ва уларнинг самарали майдаланишини таъминловчи, йўналтирувчи тўсиқлар ўрнатилган каскадли пуркагич ишлаб чиқилди.

5-расмда SolidWorks Flow Simulation дастурида тадқиқ қилинган, ишлаб чиқилган сув пуркагични конструкциясининг умумий кўриниши келтирилган.

6-расмда келтирилган SolidWorks Flow Simulation дастурида пуркагичдан чиқувчи сув томчиларининг тезлиги ва ҳароратини аниқлаш бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, оддий сув пуркагич конструкциясидан чиқувчи сув томчиларининг тезлиги  $45,6 \text{ м/с}$  ни такшил этади, ишлаб чиқилган сув пуркагич конструкциясидан чиқувчи сув томчиларининг тезлиги эса –  $64,2 \text{ м/с}$ . Шундай қилиб, ишлаб чиқилган сув пуркагичнинг янги конструкцияси сув томчиларининг тезлигини  $18,6 \text{ м/с}$  ёки  $40\%$  га оширишга олиб келиши, бу эса сувни самарали совутиш имконини бериши аниқланди.

Диссертациянинг «**Компрессорнинг оралиқ ва сўнгги совутгичларида қурум ҳосил бўлишини камайтирувчи техник ечимлар ишлаб чиқиш**» деб номланган тўртинчи бобида компрессор ускунаси сўрувчи ҳавони совутувчи ускуна ва совутиш тизимини айланма сувини юмшатиш учун қурилма ишлаб чиқилган, шунингдек компрессор ускуналарини совутиш тизимини айланма сувини юмшатиш учун қурилмани экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган ва ишлаб чиқилган ечимларни қўллашнинг иқтисодий самарадорлиги ҳисобланган.



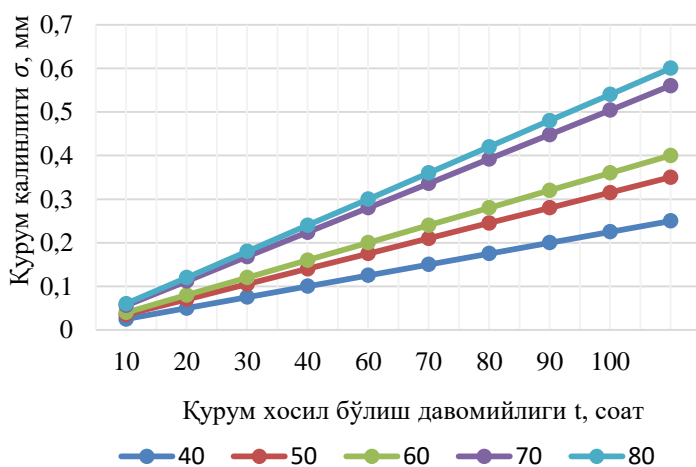
**6-расм. Сув пуркагични оддий конструкциясидан (а) ва ишлаб чиқилган конструкциясидан (б) чиқувчи сув томчиларининг тезлигини ва ишлаб чиқилган сув пуркагични конструкциясидан чиқувчи сув томчиларининг ҳароратини (в) аниқлаш бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари**

Қурум ҳосил бўлишини олдини олиш айланма совутувчи сувга электромагнит ишлов бериш орқали амалга оширилиши мумкинлиги аниқланди.

Олиб борилган лаборатория тадқиқотлари натижасида айланма совутувчи сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган электромагнит ишлов бериш ускунасининг самарадорлигини аниқлаш мақсадида қўшимча тажриба синовлари ўтказилди. Тажриба ишларнинг асосий вазифаси сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси қўлланилганда ва қўлланилмаганда металл қувурнинг юзасида айланма сув ҳароратига боғлиқ бўлган ҳолда қурум ҳосил бўлишини аниқлаш бўлди.

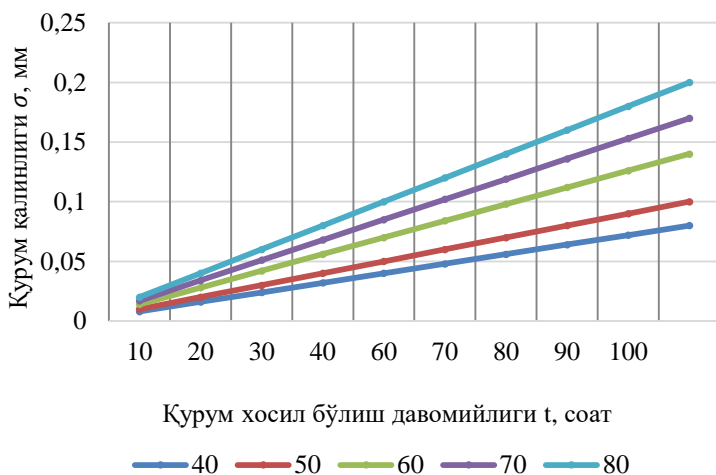
Тажриба ишлари натижалари асосида поршенли компрессорнинг оралиқ ва сўнгги совутгичларида қурум қатламининг ҳосил бўлиш қалинлиги эксплуатация давомийлигига боғлиқлиги совутувчи сувнинг ҳар хил ҳароратида ўртача қаттиқлиги 20 мг-экв/л (Са – 12 мг/л; Mg – 8 мг/л) бўлганда аниқланди (7 ва 8-расмлар).

7 ва 8-расмлардан кўриниб турибдики, айланма сувга электромагнит ишлов бериш металл юзаларида қурум ҳосил бўлишини ўртача 70-80% га камайтиради.



**7-расм. Сувга электромагнит ишлов берувчи ускуна қўлланилмаганда қурум қатламининг қалинлиги совутиш сувнинг ҳар хил ҳароратида совутгичларни эксплуатация давомийлигига боғлиқлиги**





**8-расм. Сувга электромагнит ишлов берувчи ускуна қўлланилганда қурум қатламининг қалинлиги совутиш сувнинг ҳар хил ҳароратида совутгичларни эксплуатация давомийлигига боғлиқлиги**

Градирняларда совутилувчи сувнинг маълум бир қисми буғланиш ва томчи учиши ҳисобига камаяди, баъзи ҳолларда, доимий қўшиладиган қўшимча сув билан қопланувчи, сувнинг йўқотилиши бир сутка давомида 20-30% ни ташкил қилади.

Айланма тизимнинг ишлаши, сувнинг маълум қисми буғланиши ҳамда айланма сувга қўшимча сув қўшилиши натижасида сувда эриган тузлар концентрацияси ошиб боради. Компрессор ускуналарининг иссиқлик алмашинуви қурилмалари юзаларида қурумнинг ҳосил бўлишини олдини олишнинг энг оптимал ечимларидан бири айланма сув сифатида дастлаб филтрланган сувдан фойдаланишдир, аммо, бунда қўшиладиган сувни доимий филтрлаш зарурияти туғилади.

Совутиш тизимида қўшиладиган сувни самарали филтрлаш мақсадида компрессор ускуналарининг совутиш тизимини айланма сувини юмшатиш учун ускуна ишлаб чиқилди. Сувни юмшатиш қурилмасининг асоси филтрловчи материални ташкил қилган филтр. Филтрловчи материал сифатида маҳаллий хомашёлардан тайёрланган, кўп маротаба (7-8 маротабагача) регенерация қилиш мумкин бўлган, бентонит-кўмир сорбентини қўллаш тавсия этилади. Регенерациядан сўнг кўмир сорбенти ўз хусусиятини йўқотмайди.

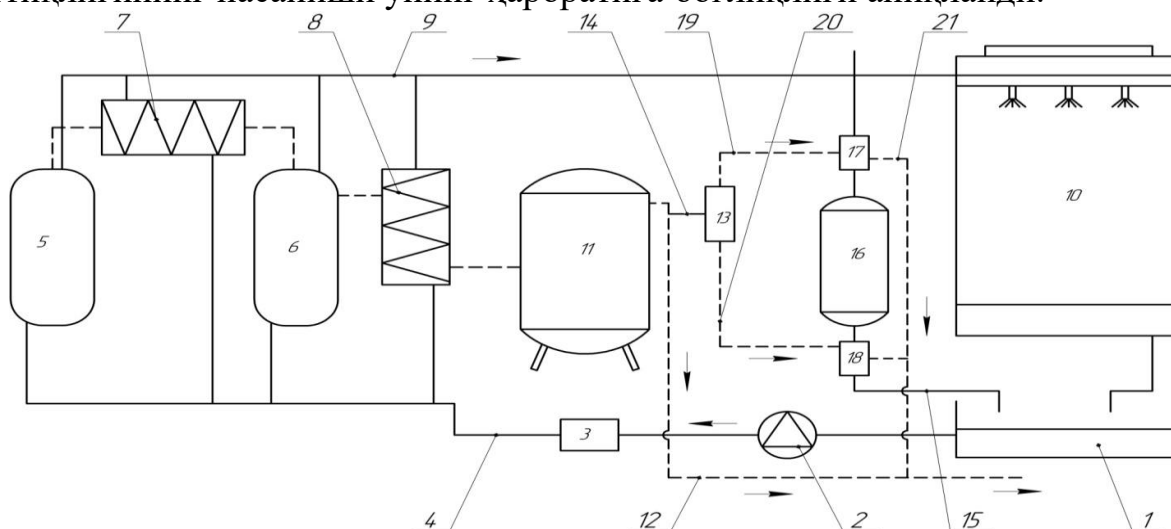
Ишлаб чиқилган филтрни тажриба синовдан ўтказганда сувнинг юқори ҳароратларида тозалаш самарадорлиги ортиши аниқланди. Филтрдан ўтадиган сувнинг ҳарорати 50-55°C бўлганда, тозалаш самарадорлиги 90-92% га етади. Шунинг учун филтрга кирадиган сув иситилади ва филтрдан чиқадиган сув совутилади, шу сабабдан сувни иситиш ва совутиш учун иссиқлик алмашинуви ускунаси қўлланилади.

Қўшимча сувни иситиш ва совутиш сезиларли даражада энергия сарфини талаб этади, қўшимча энергия сарфини камайтириш мақсадида сувни иситиш ва совутиш, ишлаш принципи ҳавони уюрмали ҳароратли бўлиниш эффектига асосланган, уюрмали қувур ёрдамида амалга оширилади.

9-расмда қўшимча сувни юмшатиш ускунаси ўрнатилганда компрессор ускунасини совутиш тизимининг умумий схематик кўриниши келтирилган.

Компрессор ускунасини совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун ишлаб чиқилган қурилманинг самарадорлигини аниқлаш мақсадида

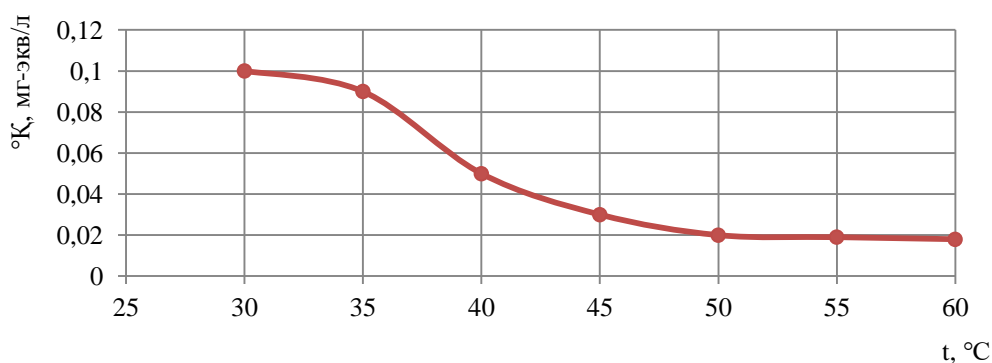
тажриба синовлари ўтказилди, натижада юмшатилган сувнинг умумий қаттиқлигининг пасайиши унинг ҳароратига боғлиқлиги аниқланди.



- 1 – сув тўплагич; 2 – насос; 3 – сувга электромагнит ишлов берувчи қурилма;  
 4 – совутувчи сув қузури; 5 – компрессорнинг биринчи поғонаси;  
 6 – компрессорнинг иккинчи поғонаси; 7 – оралиқ совутгич; 8 – сўнги совутгич;  
 9 – қизиган сув қузури; 10 – градирня; 11 – компрессор ҳаво йиғгичи;  
 12 – истимолчига сиқилган ҳавони узатиш қузури; 13 – уюрмали қувур;  
 14 – қувурлар; 15 – қўшимча сув қузури; 16 – филтр; 17 – сув иситгич; 18 – сув совутгич; 19 – иссиқ ҳаво оқимининг қузури; 20 – совуқ ҳаво оқимининг қузури; 21 – қувур

**9-расм. Қўшимча сувни юмшатиш ускунаси ўрнатилганда компрессор ускунасини совутиш тизимининг умумий схематик кўриниши**

10-расмда келтирилган тажриба синовлари натижаси сувнинг ҳарорати 50-60°C ни ташкил этганда юмшатишнинг юқори самарадорлигига эришилишини кўрсатади.



**10-расм. Юмшатилган сувнинг умумий қаттиқлигининг °K ўзгаришини ҳароратга t боғлиқлиги**

Умумий қаттиқлиги 0,21 мг-экв/л ва ҳарорати 30°C бўлган сувни юмшатганда, филтрдан чиқишда сувнинг умумий қаттиқлиги 0,1 мг-экв/л ни ташкил этди. Сув ҳарорати ошиши билан қаттиқлик пасайиши кузатилди, сув ҳарорати 50°C кўтарилганда қўшимча сувни юмшатиш учун ускунадан чиқувчи

сувнинг қаттиқлиги 0,02 мг-экв/л гача тушди, натижада ускунада сувни тозалаш самарадорлиги 92-93% ни ташкил этди.

Кон компрессор ускуналарини совутувчи сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси, компрессор ускуналарини совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун ишлаб чиқилган қурилма, компрессорга кирувчи ҳавонинг ҳароратини сунъий совутиш ускунаси «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК «1-сон ГМЗ» кон бошқармаси «Қорақутан» конининг компрессор станциясига жорий этилди. Натижада битта 2ВМ10-63/9 маркали компрессорни эксплуатация қилишда йиллик 20 млн сўм иқтисодий самарадорликка эришилди.

Шундай қилиб, совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор ускуналарининг самарадорлигини ошириш бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижасида компрессор ускуналарининг оралик ва сўнгги совутгичларининг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурум ҳосил бўлишини 80% га камайтирилади, компрессорга кирувчи ҳавонинг ҳарорати 8°C пасайтирилади, компрессор ускунасининг фойдали иш коэффициентини оширилади ва сувнинг қаттиқлиги 92% пасайтиришга эришилади.

## ХУЛОСА

«Совутиш тизимини такомиллаштириш асосида кон компрессор ускуналарининг самарадорлигини ошириш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Компрессор сўрувчи ҳавони сунъий совутиш учун самарали техник ечим ишлаб чиқиш, ҳаво совутгичларининг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурум қатлами ҳосил бўлишининг олдини олишнинг самарали усуллари ишлаб чиқиш, совутувчи градирняларнинг ишини яхшилаш ҳисобига кон компрессор ускуналарини совутиш тизимини самарадорлигини оширишга эришилади.

2. Кўп поғонали компрессорнинг оралик совутгичидан чиқувчи сиқилган ҳаво ҳароратининг қурум қалинлиги ва совутувчи сув ҳароратига боғлиқлиги компрессорнинг кейинги поғонасига кирувчи ҳавонинг совутилиш самарадорлигини пасайиш даражасини аниқлайди.

3. Сўрувчи ҳавони совутиш учун ишлаб чиқилган ускуна компрессорга кирувчи ҳаво ҳароратини пасайтириш асосида юритма қувватини оширмасдан компрессор қурилмаларини самарадорлиги ва иш унумдорлигини ошириш имконини беради.

4. Ишлаб чиқилган математик модель сўрувчи ҳавонинг совутиш ускунасини қўллаганда поршенли компрессорнинг ишчи жараёнларини фойдали иш коэффициентини ва ҳақиқий унумдорлигини аниқлаш имконини беради.

5. Ишлаб чиқилган айланма сувга электромагнит ишлов бериш қурилмаси поршенли компрессор қурилмасининг оралик ва сўнгги совутгичларининг

иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумнинг ҳосил булишини 80% га камайтиради.

6. Градирняларни сув пуркагичларининг ишлаб чиқилган конструкцияси сув томчиларини иккиламчи парчаланиши натижасида уларни пуркалиш тезлигини 40% га оширади ва шу туфайли сувни совутиш самарадорлигига эришилади.

7. Сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси қўлланилганда ва қўлланилмаганда сувнинг турли ҳароратларида оралик ва сўнгги совутгичларнинг эксплуатация давомийлигидан иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумнинг ҳосил бўлиш қалинлиги ўзгаришининг боғлиқлиги аниқланди.

8. Компрессор ускуналарининг совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун ишлаб чиқилган қурилма оралик ва сўнгги совутгичларнинг иссиқлик алмашинуви юзаларида қурумнинг ҳосил бўлишини камайтиради.

9. Компрессор ускуналарини совутиш тизимининг айланма сувини юмшатиш қурилмасида сувнинг умумий қаттиқлигининг ўзгариши унинг ҳароратига боғлиқлиги аниқланган. Ишлаб чиқилган қурилмада сувни тозалаш самарадорлиги сувнинг ҳарорати 50°C ва ундан юқори бўлганда эришилади, натижада сувнинг умумий қаттиқлиги 92% га камаяди.

10. Компрессор ускуналарининг совутиш тизимида қўшимча сувни юмшатиш қурилмасининг қўшимча сувни иситиш ва совутиш учун, принципи хавони уюрмали ҳароратли бўлиниш эффектига асосланган, уюрмали қувурни қўллаш сувни иситиш ва совутиш учун энергия сарфини камайтиради.

11. Кон компрессор ускуналарини совутувчи сувга электромагнит ишлов бериш ускунаси, компрессор ускуналарининг совутиш тизимининг қўшимча сувини юмшатиш учун ишлаб чиқилган қурилма, компрессорга кирувчи ҳавонинг ҳароратини сунъий совутиш ускунаси «Навой кон-металлургия комбинати» ДК «1-сон ГМЗ» кон бошқармаси «Қорақутан» конининг компрессор станциясига жорий этилди. Натижада битта 2ВМ10-63/9 маркали компрессорни эксплуатация қилишда йиллик 20 млн сўм иқтисодий самарадорликка эришилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.17/04.06.2021.Т.06.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**ХАТАМОВА ДИЛШОДА НАРМУРАТОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РУДНИЧНЫХ  
КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ**

**04.00.16 – Горные машины**

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

**Навои – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2021.1.PhD/T2074.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [www.ndki.uz](http://www.ndki.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:** **Абдуазизов Набижон Азаматович**  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:** **Тошов Жавохир Буриевич**  
доктор технических наук, профессор

**Райханова Галия Елеубаевна**  
кандидат технических наук, доцент

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


Защита диссертации состоится 29 октября 2021 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc. 17/04.06.2021.T.06.02 (адрес: 210100, г. Навои, ул. Махмуда Таробий, 72. Зал заседаний Навоийского государственного горного института. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горного института (зарегистрирован за №76). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Махмуда Таробий, 72. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66.

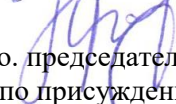
Автореферат диссертации разослан 13 октября 2021 г.

(реестр протокола рассылки №37 от 13 октября 2021 г.).



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

  
**Ш.Ш. Заиров**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

  
**Ф.Я. Умаров**  
И.о. председателя научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире эксплуатация рудничных компрессоров в горнодобывающей промышленности является одним из энергозатратных процессов, требующих ресурсосбережения. В балансе горных предприятий удельный вес компрессорного оборудования, вырабатывающего сжатый воздух в качестве пневматической энергии, составляет 20-35% и его дальнейшее совершенствование влияет на показатели последующих технологических процессов. Широкое применение сжатого воздуха требует необходимости снижения эксплуатационных затрат путем разработки эффективных технических решений в процессе производства сжатого воздуха на промышленных предприятиях и повышения энергетической эффективности эксплуатации компрессорных установок.

На сегодняшний день во всем мире ведутся научные исследования по эксплуатации рудничных компрессорных установок, выявлению недостатков системы охлаждения, вызванных особенностями принципа их работы, исследованию влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки и разработке эффективного технического решения охлаждения всасываемого компрессором воздуха. В связи с этим, возникает необходимость исследования влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки, разработки научных основ повышения эффективности работы рудничных компрессорных установок путем совершенствования их системы охлаждения, разработки устройства для умягчения подпиточной воды, устройства для охлаждения всасываемого компрессором воздуха и конструкции водоразбрызгивающей форсунки градирни.

В Республике выполняется ряд научно-практических работ по внедрению инновационных технологий повышения эффективности и снижения энергетических затрат при эксплуатации рудничных компрессорных установок на горных предприятиях, повышения качества сжатого воздуха путем совершенствования конструкции компрессорных установок, разработке системы охлаждения компрессорных установок, конструкции и параметров охладителей сжатого воздуха, устройства для охлаждения воды, межступенчатых и концевых охладителей сжатого воздуха, методов очистки и осушки сжатого воздуха, а также исследовано влияние охлаждения сжатого воздуха на энергетические потери компрессора. В Указе Президента Республики Узбекистан<sup>1</sup> 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

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

важно выполнять задачи по исследованию влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки, разработке эффективного технического решения охлаждения всасываемого компрессором воздуха, разработке и исследованию устройства для электромагнитной обработки оборотной воды системы охлаждения компрессорных установок, разработке и экспериментальному исследованию устройства для умягчения оборотной воды системы охлаждения стационарных компрессорных установок.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №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.** Значительный вклад в развитие науки и практики эффективной эксплуатации и совершенствования компрессорных установок внесли Френкель М.И., Пластинин П.И., Докукин А.В., Мурзин В.А., Цейтлин Ю.А., Меркулов М.В., Джураев Р.У., Фотин Б.С., Картавый Н.Г., Дуров В.А., Фролов А.П., Миняев Ю.Н., Гарбуз Д.Л., Герман А.П., Ильичев А.С., Гришко А.П., Lemasson G., Lefebvre J., Heinz P. Bloch., Fred K. Geitner., Stapel A.G и др., 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 состояния и основные направления повышения эффективности компрессорных установок;

исследование влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки;

разработка эффективного технического решения охлаждения всасываемого компрессором воздуха;

разработка и исследование устройства для электромагнитной обработки оборотной воды системы охлаждения компрессорных установок;

разработка и экспериментальное исследование устройства для умягчения оборотной воды системы охлаждения стационарных компрессорных установок;

техничко-экономическая оценка эффективности применения разработанных решений.

**Объектом исследования** является энергоэффективная эксплуатация рудничных компрессорных установок.

**Предмет исследования** – система охлаждения рудничных компрессорных установок.

**Методы исследований.** 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:

установлена зависимость изменения температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточного холодильника многоступенчатого компрессора от толщины слоя накипи и температуры охлаждающей воды, позволившая определить снижение эффективности охлаждения воздуха, поступающего на последующую ступень компрессора;

разработана математическая модель рабочих процессов поршневого компрессора с применением устройства для охлаждения всасываемого воздуха, позволяющая определить КПД и фактическую производительность установки;

установлена зависимость изменения толщины слоя отложений на поверхностях промежуточных и концевых охладителей от времени эксплуатации при различных температурах воды при применении устройства для электромагнитной обработки воды и без его применения;

разработано устройство для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок, способствующее снижению

образования накипи на поверхностях теплообмена промежуточных и конечных охладителей компрессора;

установлена зависимость изменения общей жесткости воды от её температуры в разработанном устройстве для умягчения оборотной воды системы охлаждения компрессорных установок.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработано устройство для охлаждения всасываемого компрессором воздуха, повышающее эффективность и производительность компрессорных установок на основе снижения температуры воздуха на входе в компрессор;

разработана конструкция водоразбрызгивающей форсунки градирни, позволяющая увеличить скорость распыления капель воды на 40% на основе эффекта вторичного дробления капли;

разработано устройство электромагнитной обработки циркулирующей воды, предотвращающее образование накипи на поверхностях промежуточного охладителя воздуха поршневого компрессора.

**Достоверность результатов исследования** доказана значительным объемом лабораторных и промышленных экспериментов, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по повышению эффективности эксплуатации рудничных компрессорных установок, а также положительными результатами экспериментальных испытаний разработанного устройства умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок и устройства электромагнитной обработки циркулирующей воды, способствующих повышению эффективности эксплуатации рудничной компрессорной установки.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования обосновывается исследованием влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки, разработкой математической модели рабочих процессов поршневого компрессора с применением устройства для охлаждения всасываемого воздуха и повышением эффективности рудничных компрессорных установок на основе совершенствования их систем охлаждения.

Практическая значимость результатов исследования характеризуется разработкой устройства для охлаждения всасываемого компрессором воздуха, устройства для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок, устройства электромагнитной обработки циркулирующей воды и конструкции водоразбрызгивающей форсунки градирневых охладителей, способствующих повышению эффективности эксплуатации рудничных компрессорных установок.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных исследований по повышению эффективности работы рудничных компрессорных установок путем совершенствования их системы охлаждения:

устройство электромагнитной обработки охлаждающей воды компрессорной установки внедрено в компрессорной станции рудника «Каракутан» рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский горно-

металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» №02-06-07/7026 от 7 июля 2021 г.). В результате достигнуто снижение образования накипи на теплообменных поверхностях промежуточных и концевых охладителей компрессорных установок на 80%;

разработанное устройство для охлаждения всасываемого компрессором воздуха внедрено в компрессорной станции рудника «Каракутан» рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» №02-06-07/7026 от 7 июля 2021 г.). В результате достигнуто снижение температуры всасываемого компрессором воздуха на 8°C и повышен коэффициент полезного действия компрессорной установки;

устройство для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорной установки внедрено в компрессорной станции рудника «Каракутан» рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» №02-06-07/7026 от 7 июля 2021 г.). В результате достигнуто снижение жесткости воды на 92% и снижено образование накипи на поверхностях теплообмена промежуточных и концевых холодильников.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования проведена на 2 республиканских и 5 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы всего 14 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 3 из которых в республиканских и 3 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ состояния и основные направления повышения эффективности компрессорных установок»** изучено потребление сжатого воздуха в горной промышленности, рассмотрены энергетические затраты при эксплуатации поршневых компрессоров, проведен анализ состояния научных исследований по повышению эффективности работы

рудничных компрессорных установок и даны основные направления совершенствования и повышения энергетической эффективности эксплуатации горных компрессорных установок.

В результате проведенного анализа установлено, что доля электрической энергии для производства сжатого воздуха составляет около 20%, а в некоторых случаях достигает до 90% от общего потребления энергии для производства технологического продукта. В гидromеталлургических заводах для производства сжатого воздуха расходуется около 5-10% электроэнергии, в машиностроительных предприятиях – до 20%, а в горнодобывающей промышленности – до 30%.

На снижение производительности и повышение удельных энергетических затрат рудничных компрессорных установок в наибольшей степени влияет система охлаждения компрессорных установок и по этой причине повышение эффективности поршневых компрессорных установок возможно на основе совершенствования системы охлаждения, т.к. для поршневых компрессорных агрегатов потери энергии из-за недоохлаждения составляют 20%.

Существующая система охлаждения компрессорных установок имеет ряд существенных недостатков, обусловленных особенностями их эксплуатации. Используемая для охлаждения вода обладает повышенным содержанием солей и различными примесями, что ухудшает работу промежуточных и конечных холодильников.

Немаловажными факторами, влияющими на работу системы охлаждения компрессорных установок, являются климатические условия. Так, в летний период года днем температура воздуха достигает 40-45°C, что приводит к повышению температуры воздуха на входе к компрессору, вследствие чего снижается его производительность. Кроме того, эксплуатируемые градирни не охлаждают оборотную воду до требуемых величин, что также снижает эффективность компрессорной установки в целом.

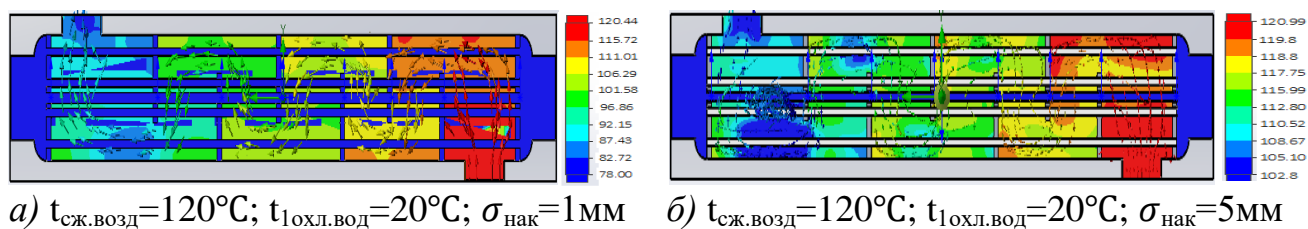
Во второй главе диссертации **«Исследование влияния качества охлаждения сжимаемого воздуха на эффективность компрессорной установки»** исследована работа системы охлаждения компрессорных установок, изучено влияние температуры всасываемого компрессором воздуха на эффективность работы установки, исследовано влияние отложений на поверхностях теплообмена промежуточных и конечных холодильников на эффективность охлаждения компрессора, а также дана оценка работы градирневых охладителей и изучено их влияние на эффективность компрессорной установки.

Установлено, что одними из немаловажных факторов, влияющих на эффективность работы и производительность компрессорных установок, являются подогрев воздуха в процессе всасывания (при увеличении температуры всасываемого воздуха (температуры начала сжатия) на 1°C работа, затраченная на сжатие 1 кг воздуха, возрастает примерно на 0,16%, а при увеличении температуры всасываемого воздуха на 6°C – на 1%) и недоохлаждение воздуха в промежуточных охладителях поршневого компрессора (повышение температуры выходящего из промежуточного

охладителя поршневого компрессора воздуха на каждые 6-8°C приводит к перерасходу электроэнергии на 1% и снижению производительности до 5%).

Основной причиной недоохлаждения является некачественная вода, вызывающая отложение накипи и загрязнение поверхности теплообмена охладителей. С целью определения влияния величины слоя накипи на эффективность охлаждения воздуха в промежуточном холодильнике поршневого компрессора проведены исследования с использованием современной компьютерной программы SolidWorks Flow Simulation. Исследования проводились при температуре сжатого воздуха  $t_{\text{сж.воз}}$  на выходе из цилиндра 100, 110, 120, 130 и 140°C. Температура охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  на входе в холодильник составляла 15, 20 и 25°C, а слой накипи  $\sigma_{\text{нак}}$  постепенно наращивался от 1 до 5 мм с шагом 1 мм. Испытание повторялось для каждой величины температуры сжатого воздуха  $t_{\text{сж.воз}}$ , выходящего из цилиндра с различными температурами охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  и толщиной слоя накипи  $\sigma_{\text{нак}}$ .

На рис. 1 представлены результаты испытаний по определению влияния величины слоя накипи на эффективность охлаждения, полученные в программе SolidWorks Flow Simulation.

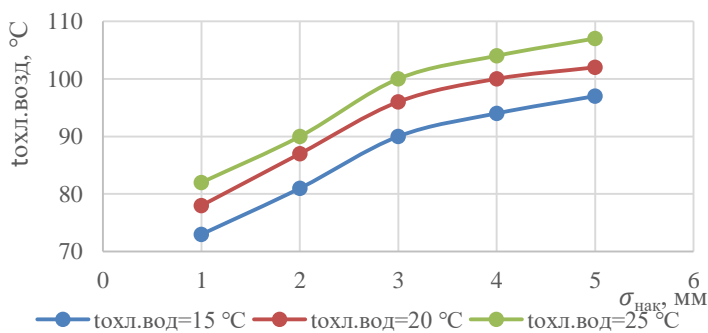


**Рис. 1. Результаты испытаний по определению влияния величины слоя накипи на эффективность охлаждения, полученные в программе SolidWorks Flow Simulation**

На основе полученных результатов установлены зависимости изменения температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточного холодильника от толщины слоя накипи при различных температурах охлаждающей воды.

На рис. 2 представлена зависимость изменения температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточного холодильника  $t_{\text{сж.возд}}$  при температуре воздуха на входе  $t_{\text{возд}}=120^{\circ}\text{C}$  от толщины слоя накипи  $\sigma_{\text{нак}}$  при температурах охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  15, 20 и 25°C.

Увеличение толщины слоя накипи  $\sigma_{\text{нак}}$  на 1 мм приводит к повышению температуры охлаждаемого воздуха  $t_{\text{охл.возд}}$  на выходе из холодильника в среднем до 5%. Также величина температуры охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  влияет на эффективность охлаждения сжатого воздуха в промежуточном холодильнике – увеличение температуры охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  на каждые 5°C приводит к повышению температуры охлаждаемого в промежуточном холодильнике воздуха на 4-5°C.



**Рис. 2. Изменение температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточного холодильника  $t_{\text{охл.воз}}$  при температуре воздуха на входе  $t_{\text{сж.возд}} = 120^\circ\text{C}$  в зависимости от толщины слоя накипи  $\sigma_{\text{нак}}$  при различных температурах охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$**

Т.к. в летний период атмосферная температура достигает высоких значений, то эффективность градирен намного снижается, а в жаркие дни года градирни не могут охладить охлаждающую оборотную воду до заданных значений. В результате расширения объема сжатого воздуха при повышенных температурах и снижения полезной производительности снижается эффективность компрессорной установки в целом.

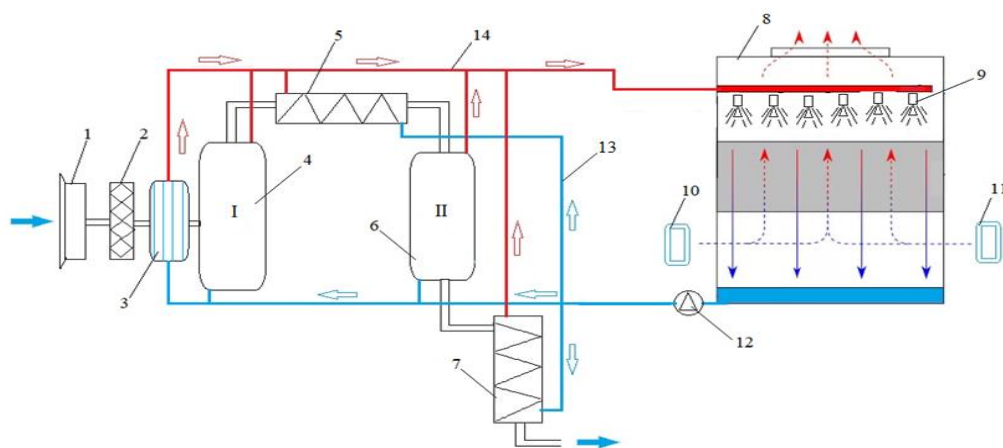
Исследование работы градирных охладителей показывает, что основной причиной снижения эффективности охлаждения является плохая работа водоразбрызгивательных устройств (распылителя). Таким образом, возникает необходимость модернизации градирневых охладителей на основе совершенствования конструкции водоразбрызгивающих форсунок.

В третьей главе диссертации «**Разработка эффективного технического решения охлаждения всасываемого компрессором воздуха**» разработано устройство для охлаждения всасываемого компрессором воздуха и даны результаты экспериментальных исследований данного устройства, разработана математическая модель рабочих процессов поршневого компрессора при применении устройства для охлаждения всасываемого компрессором воздуха, а также совершенствована конструкция водоразбрызгивающих форсунок градирневых охладителей.

Установлено, что, если не лимитировать мощность привода, снижение температуры всасываемого воздуха приводит к увеличению весовой производительности компрессора.

Температуру всасываемого компрессором воздуха можно снизить в простых и дешевых теплообменных устройствах при помощи холодной воды, получаемой от градирни, в этом случае охладитель всасываемого воздуха устанавливается перед компрессором между фильтром и первой ступенью компрессора. Установка охладителей на всасе перед компрессором создает дополнительные гидравлические сопротивления движению всасываемого воздуха, что, в свою очередь, приводит к увеличению энергетических затрат привода установки. В разработанной конструкции охладителя расстояние между трубками, по которым циркулирует охлаждающая вода, выбрана таким образом, что создаваемое гидравлическое сопротивление не значительно.

На рис. 3 приведена схема разомкнутой системы охлаждения двухступенчатого поршневого компрессора с теплообменником для искусственного охлаждения всасываемого воздуха.

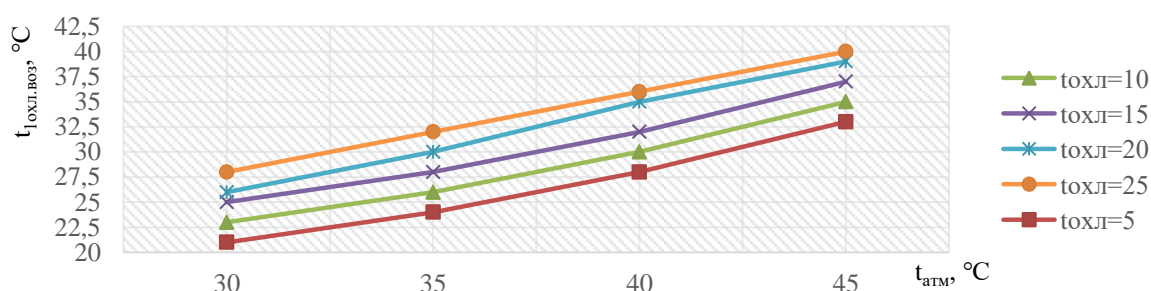


1 – воздухозаборник; 2 – фильтр; 3 – охладитель воздуха перед компрессором; 4 – первая ступень компрессора; 5 – промежуточный холодильник; 6 – вторая ступень компрессора; 7 – конечной холодильник; 8 – градирня; 9 – распылитель воды; 10 и 11 – вентиляторы; 12 – насос; 13 – трубопровод охлажденной воды; 14 – трубопровод нагретой воды

**Рис. 3. Схема разомкнутой системы охлаждения двухступенчатого поршневого компрессора с теплообменником для искусственного охлаждения всасываемого воздуха**

В программе SolidWorks Flow Simulation исследована величина снижения температуры при искусственном охлаждении всасываемого компрессором воздуха на теплообменном устройстве при помощи холодной воды, получаемой от градирни. Исследования проводились при температурах воздуха на входе к охладителю  $t_1$  25, 30, 35, 40, 45°C и температурах охлаждающей воды, получаемой от градирни  $t_{\text{охл.вод}}$  5, 10, 15, 20 и 25°C.

На основе полученных результатов установлена зависимость изменения температуры воздуха  $t_{1 \text{ охл.воз.}}$  на выходе из охладителя от температуры охлаждающей воды  $t_{1 \text{ охл.вод}}$  (рис. 4).



**Рис. 4. Изменение температуры воздуха  $t_2$  на выходе из охладителя в зависимости от температуры охлаждающей воды  $t_{\text{охл}}$**

Проведенные исследования показали, что применение охладителя всасываемого воздуха перед компрессором позволяет снизить температуру воздуха поступающего в цилиндр компрессора до 10°C в зависимости от температуры охлаждающей воды.

Разработана математическая модель рабочих процессов поршневого компрессора с применением устройства для охлаждения всасываемого воздуха, позволившая определить КПД и фактическую производительность установки.

В результате регрессионного анализа, проведенного на основании экспериментальных данных, приведенных на рис. 4, получена зависимость температуры охлажденного воздуха при установке устройства искусственного охлаждения перед подачей его в компрессор от температуры окружающей среды:

$$t_{\text{ис.ох.}} = 0,8 t_{\text{окр.}} - a, \quad (1)$$

где  $a$  – изменение температуры, °С.

Данную зависимость рекомендуется применять при определении температуры искусственно охлажденного воздуха, перед подачей его в первую ступень компрессора, в зависимости от температуры охлаждающей воды  $t_{\text{охл.вод}}$  и от температуры окружающей среды  $t_{\text{окр.}}$ .

Действительная удельная работа многоступенчатого сжатия при применении устройства для искусственного охлаждения всасываемого компрессором воздуха определяется по формуле:

$$L_{\text{охл.}} = \frac{k}{k-1} R (0,8 t_{\text{окр.}} - a) \sum \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta T}{0,8 t_{\text{окр.}} - a} \right) \left[ \left( \frac{P_k}{P_n - \Delta P_2} \right)^{\frac{1}{\delta_1}} - 1 \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $k$  – показатель адиабаты;  $R$  – газовая постоянная воздуха;  $\Delta T$  – недоохлаждение воздуха до температуры окружающей среды  $T_0$  перед второй ступенью, °С;  $P_k$  и  $P_n$  – начальное и конечное давления во второй ступени, МПа;  $\Delta P_2$  – потеря давления перед второй ступенью;

$$\delta_1 = \frac{k \eta_{\text{пол.1}}}{k-1}, \quad (3)$$

где  $\eta_{\text{пол.1}}$  – политропный КПД первой ступени.

Индикаторная работа многоступенчатого сжатия при применении устройства для искусственного охлаждения всасываемого компрессором воздуха определяется по формуле:

$$\sum L_{\text{инд.}} = \frac{P_1^{\text{ВХ}} V_{\text{вс.}}}{\lambda_T} \frac{k}{k-1} \left[ e_1^{\frac{k-1}{k}} + \frac{T_{\text{по}}^{\text{ВЫХ}}}{0,8 t_{\text{окр.}} - a} \left( e_2^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) - 1 \right], \quad (4)$$

где  $P_1^{\text{ВХ}}$  – давление воздуха на всасе перед первой ступенью сжатия, МПа;  $\lambda_T$  – коэффициент подогрева;  $T_{\text{по}}^{\text{ВЫХ}}$  – температура на выходе из промежуточного охладителя, °С;  $e$  – отношение давлений первой ступени;  $V_{\text{вс.}}$  – объем всасываемого воздуха, м<sup>3</sup>.

Изотермный КПД компрессорной установки с учетом температуры искусственно охлажденного воздуха рекомендуется определить по формуле:

$$\eta_{\text{из.}} = \frac{L_{\text{из.}}}{L_{\text{охл.}}} = \frac{T_{\text{вс.}}}{T_{\text{окр.}}} \ln \pi_k \left( \frac{\psi_k k}{(k-1) \sum_1^n \left( \frac{\pi_1}{1-r_1} - 1 \right)^{\frac{1}{\delta_1}}} \right)^{-1}, \quad (5)$$

где  $\psi_k$  – коэффициент приведенных потерь охлаждения  $\psi_k = 1,01 \div 1,12$ ;  $\pi_1 = \frac{P_k}{P_n}$  – отношение давлений ступени по сечениям входа и выхода;  $r_1 = \frac{\Delta P}{P_n}$  – относительные потери давления.

С учетом выражения (1) снижение температуры на всасе существенно



снижается путем искусственного охлаждения. Вследствие этого уменьшается температура воздуха в конце цилиндра всасывания, что приводит к повышению фактической производительности одноступенчатой компрессорной установки, которую рекомендуется определять по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = V_p' \cdot \frac{P_1'}{P_1} \cdot \frac{0,8 t_{\text{атм.в.}} - a}{T_1'}, \quad \text{м}^3/\text{ч}, \quad (6)$$

где  $V_p'$  – объем засасываемого воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $P_1$  и  $T_1$  – соответственно давление и абсолютная температура воздуха перед компрессором, МПа и  $^{\circ}\text{C}$ ;  $P_1'$  и  $T_1'$  – соответственно, давление и абсолютная температура воздуха в цилиндре при всасывании, МПа и  $^{\circ}\text{C}$ .

Одной из причин уменьшения производительности компрессорной установки является коэффициент подогрева  $\lambda_T$ , точное значение которого не установлено в связи с трудностью определения точной температуры  $T_1$  в начале всасывания. Полученная в результате экспериментальных исследований зависимость (1) позволяет конкретизировать значение  $\lambda_T$ .



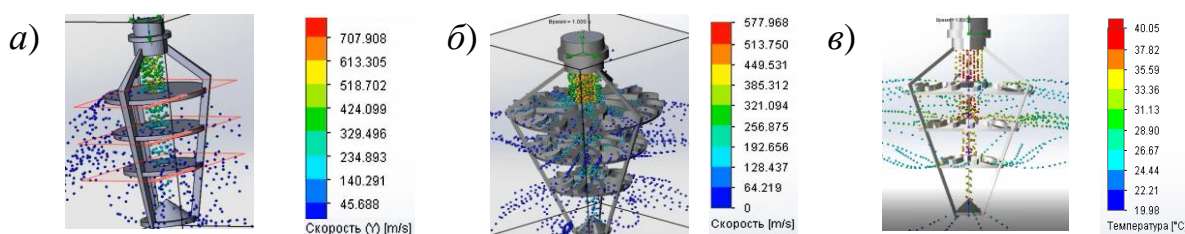
**Рис. 5.**  
Общий вид  
разработанной  
конструкции  
каскадной  
форсунки

С целью формирования необходимой дисперсности и угла распыла разработана конструкция каскадной форсунки, на которой установлены направляющие грибки, обеспечивающие завихренное движение капель воды и их эффективное дробление.

На рис. 5 приведен общий вид разработанной конструкции форсунки, исследованной в программе SolidWorks Flow Simulation.

На рис. 6 приведены результаты исследований по определению скорости и температуры капель на выходе из форсунки, которые показывают, что скорость распыления капель на выходе из обычной каскадной форсунки составляет 45,6 м/с, а скорость распыления капель на выходе из разработанной конструкции каскадной форсунки – 64,2 м/с.

Таким образом, установлено, что разработанная конструкция форсунки способствует повышению скорости распыления капель воды на 18,6 м/с или 40%, что приводит к эффективному охлаждению воды.



**Рис. 6.** Результаты исследований по определению скорости в обычной (а) и разработанной конструкция каскадной форсунки (б) и температуры капель на выходе из разработанной форсунки (в)

В четвертой главе диссертации «Разработка технических решений, снижающих образование отложений на теплообменных поверхностях»

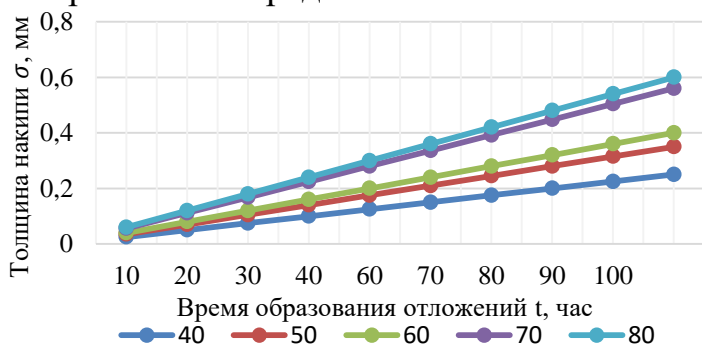
**промежуточных и концевых холодильников компрессора»** разработаны устройства для охлаждения компрессорных установок и для умягчения оборотной воды системы охлаждения компрессорных установок, а также приведены результаты экспериментальных исследований разработанного устройства умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок и дана оценка экономической эффективности применения разработанных технических решений.

Установлено, что предотвращение образования накипи возможно за счет электромагнитной обработки оборотной охлаждающей воды.

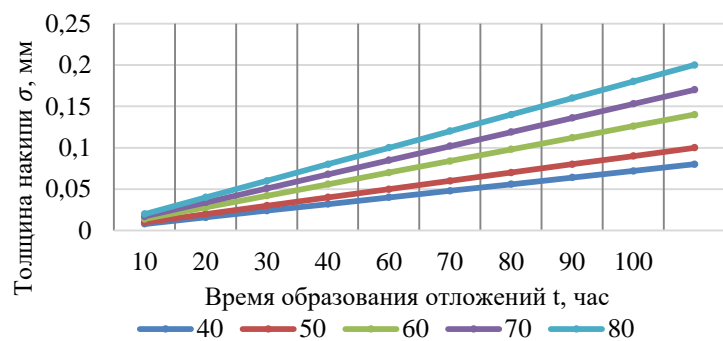
В результате проведенных лабораторных исследований разработана установка для электромагнитной обработки циркулирующей воды. С целью определения эффективности разработанной установки электромагнитной обработки циркулирующей воды проведены дополнительные экспериментальные испытания. Основной задачей проведенных экспериментальных работ с применением устройства для электромагнитной обработки воды и без её применения являлось установление зависимости образования слоя накипи на поверхности металлической трубы от температуры циркулирующей воды.

На основе результатов экспериментальных работ установлена зависимость толщины накипообразований от продолжительности эксплуатации промежуточных и концевых охладителей поршневого компрессора при различных температурах охлаждающей воды со средней жесткостью 20 мг-экв/л (Са – 12 мг/л; Mg – 8 мг/л) (рис. 7 и 8).

Из рис. 7 и 8 видно, что электромагнитная обработка циркулирующей воды способствует снижению образования накипи на металлических поверхностях в среднем на 70-80%.



**Рис. 7. Зависимость толщины накипи от времени эксплуатации охладителей без применения устройства для электромагнитной обработки воды при различных температурах охлаждающей воды**



**Рис. 8. Зависимость толщины накипи от времени эксплуатации охладителей с применением устройства для электромагнитной обработки воды при различных температурах охлаждающей воды**

В градирнях часть охлаждающей воды теряется за счет капельного уноса и испарения, в некоторых случаях потери воды, компенсирующиеся подпиточной (добавочной) водой, составляет 20-30% в течение одной сутки.

В результате работы оборотной системы, испарения части воды, а также постоянного добавления подпиточной воды происходит постепенное увеличение концентрации растворенных в воде солей. Одним из оптимальных решений предотвращения образования накипи на поверхностях теплообменных аппаратов компрессорных установок является изначально использование фильтрованной воды в качестве оборотной, однако при этом возникает необходимость постоянной фильтрации добавляемой подпиточной воды.

С целью эффективной фильтрации добавляемой подпиточной воды в систему охлаждения разработано устройство умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок. Основой данного устройства является фильтр, содержащий фильтрующий материал. В качестве фильтрующего материала рекомендуется применять бентонито-угольный сорбент, изготовленный из местного сырья, который можно многократно регенерировать (до 7-8 раз). После регенерации угольный сорбент не теряет своего исходного свойства.

В процессе экспериментального испытания разработанного фильтра выявлено, что эффективность очистки воды выше при высоких температурах фильтруемой воды. При температуре воды 50-55°C, проходящей через фильтр, эффективность очистки достигает 90-92%. Поэтому на входе к фильтру вода нагревается в нагревателе воды и на выходе из фильтра вода обратно охлаждается, в связи с этим в качестве нагревателя и охладителя применяется теплообменник.

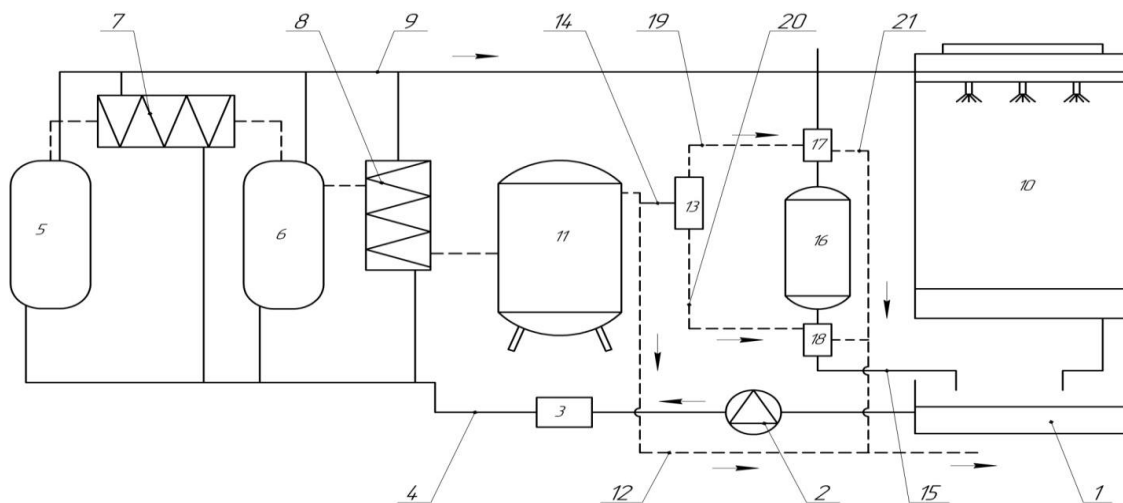
Нагревание и охлаждение подпиточной воды требует значительных энергетических затрат, в связи с этим для снижения энергетических потерь нагрев и охлаждение воды производится вихревой трубой, принцип действия которой основан на эффекте вихревого температурного разделения воздуха.

На рис. 9 приведен общий схематический вид системы охлаждения компрессорных установок при установке в нее устройства умягчения подпиточной воды.

С целью определения эффективности разработанного устройства умягчения подпиточной воды систем охлаждения компрессорных установок проведены экспериментальные испытания, в результате которых установлена зависимость снижения общей жесткости умягчаемой воды от её температуры.

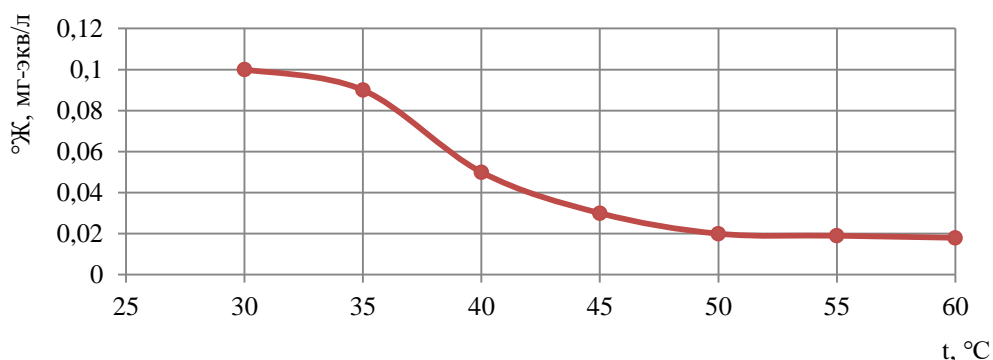
Результаты экспериментальных исследований, приведенных на рис. 10, показывают, что наибольшая эффективность умягчения воды достигается при температуре воды 50-60°C.

При умягчении воды с общей жесткостью 0,21 мг-экв/л и температурой 30°C на выходе из фильтра общая жесткость умягченной воды составила 0,1 мг-экв/л. С повышением температуры воды наблюдалось снижение жесткости, при повышении температуры воды до 50°C общая жесткость воды на выходе из устройства умягчения подпиточной воды снизилась до 0,02 мг-экв/л, а эффективность очистки воды в устройстве составила 92-93%.



- 1 – отстойник; 2 – насос; 3 – аппарат электромагнитной обработки воды; 4 – трубопровод охлаждающей воды; 5 – первая ступень компрессора; 6 – вторая ступень компрессора; 7 – промежуточный холодильник; 8 – концевой холодильник; 9 – трубопровод нагретой воды; 10 – градирня; 11 – рессивер компрессора; 12 – трубопровод для подачи сжатого воздуха к потребителю; 13 – вихревая труба; 14 – трубопровод; 15 – трубопровод подпиточной воды; 16 – фильтр; 17 – нагреватель воды; 18 – охладитель воды; 19 – трубопровод горячего потока воздуха; 20 – трубопровод холодного потока воздуха; 21 – трубопровод

**Рис. 9. Общий схематический вид системы охлаждения компрессорных установок после установки в нее устройства умягчения подпиточной воды**



**Рис. 10. Зависимость изменения общей жесткости умягчаемой воды  $^{\circ}\text{Ж}$  от температуры  $t$**

Устройство электромагнитной обработки охлаждающей воды компрессорной установки, устройство для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок и устройство охлаждения всасываемого компрессором воздуха внедрены в компрессорной станции рудника «Каракутан» рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат». В результате получен экономический эффект в размере 20 млн. сум в год при эксплуатации одного компрессора марки 2ВМ10-63/9.

Таким образом, в результате проведенных исследований по повышению эффективности работы рудничных компрессорных установок путем совершенствования их системы охлаждения достигнуто снижение образования накипи на теплообменных поверхностях промежуточных и концевых охладителей компрессорных установок на 80%, снижена температура всасываемого компрессором воздуха на 8°C, повышен коэффициент полезного действия компрессорной установки и достигнуто снижение жесткости воды на 92%.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

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

1. Установлено, что повышение эффективности системы охлаждения рудничных компрессорных установок достигается за счет разработки эффективного технического решения искусственного охлаждения всасываемого компрессором воздуха, разработки эффективных методов предотвращения образования отложений на поверхностях теплообмена охладителей воздуха и улучшения работы градирных охладителей.

2. Установлена зависимость изменения температуры сжатого воздуха на выходе из промежуточного холодильника многоступенчатого компрессора от толщины слоя накипи и температуры охлаждающей воды, позволяющая определить снижение эффективности охлаждения воздуха, поступающего на последующую ступень компрессора.

3. Разработано устройство для охлаждения всасываемого компрессором воздуха, позволяющее увеличить коэффициент полезного действия и производительность компрессора без увеличения мощности привода.

4. Разработана математическая модель рабочих процессов поршневого компрессора с применением устройства для охлаждения всасываемого воздуха, позволяющая определить коэффициент полезного действия и фактическую производительность установки.

5. Разработано устройство электромагнитной обработки циркулирующей воды, позволяющей снизить интенсивность образования накипи на поверхностях промежуточного и концевого охладителя воздуха поршневого компрессора на 80%.

6. Разработана конструкция водоразбрызгивающей форсунки градирни, позволяющая за счет эффекта вторичного дробления капли увеличить скорость распыления капель воды на 40% и увеличить эффективность охлаждения воды.

7. Установлена зависимость изменения толщины слоя отложений на поверхностях промежуточных и концевых охладителей от времени эксплуатации при различных температурах воды с использованием устройства для электромагнитной обработки воды и без его применения.

8. Разработано устройство для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок, позволяющее снизить образование накипи на поверхностях теплообмена промежуточных и концевых холодильников компрессора.

9. Установлена зависимость изменения общей жесткости воды от её температуры в разработанном устройстве для умягчения оборотной воды системы охлаждения компрессорных установок. Эффективность очистки воды в разработанном устройстве достигается при температурах воды свыше 50°C, при этом общая жесткость снижается на 92%.

10. Применение вихревой трубы, принцип действия которой основан на эффекте вихревого температурного разделения воздуха для нагрева и охлаждения подпиточной воды в устройстве для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок, позволило снизить энергетические затраты на нагрев и охлаждение воды.

11. Устройство электромагнитной обработки охлаждающей воды компрессорной установки, устройство для умягчения подпиточной воды системы охлаждения компрессорных установок и устройство охлаждения всасываемого компрессором воздуха внедрены в компрессорной станции рудника «Каракутан» рудоуправления «ГМЗ-1» ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат». В результате получен экономический эффект в размере 20 млн. сум в год при эксплуатации одного компрессора марки 2BM10-63/9.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.17/04.06.2021.T.06.02 AT THE NAVOI STATE MINING INSTITUTE**  

---

**NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

**KHATAMOVA DILSHODA NARMURATOVNA**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF MINE COMPRESSOR UNITS BASED  
ON THE IMPROVEMENT OF THEIR COOLING SYSTEM**

**04.00.16 – Mining machines**

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

**Navoi – 2021**

**The topic of the dissertation of a Doctor of Philosophy (PhD) is registered at the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2021.1.PhD/T2074.**

The dissertation was completed at Navoi State Mining Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) on the website of the Scientific Council ([www.ndki.uz](http://www.ndki.uz)) and on the information and educational portal «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:** **Abduazizov Nabijon Azamatovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate professor

**Official opponents:** **Toshov Javohir Buriyevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Rayxanova Galiya Eleubaevna**  
Candidate of Technical Sciences, Associate professor


**Leading organization:** **JSC «Almalyk mining and metallurgical combinat»**


The defence of the dissertation will be held on 29 October at 15<sup>00</sup> at the meeting of the Scientific Council DSc.17/04.06.2021.T.06.02 at the Navoi State Mining Institute. Address: 210100, Navoi, Makhmud Tarobiy street, 72. Conference Hall of the Navoi State Mining Institute. Phone: 0 (436) 223-23-32; fax: 0 (436) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com).

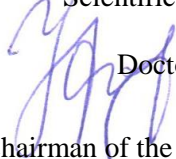
The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Center of the Navoi State Mining Institute under No 76. Address: 210100, Navoi, Makhmud Tarobiy street, 72. Phone: 0 (436) 223-56-90; fax: 0 (436) 223-00-55.

The abstract of the dissertation is distributed on 13 October 2021 y.  
(protocol at the register No 37 dated 13 October 2021 y.).



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

  
**Sh.Sh. Zairov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
for awarding of scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

  
**F.Ya. Umarov**  
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific  
Council for the award of academic degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor



## **INTRODUCTION (abstract of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))**

**The aim of the research** is to improve the operational efficiency of mine compressor units based on improving the cooling system.

**The research object** is the energy efficient operation of mine compressor units.

**The scientific novelty of the research:**

the dependence of changing in the temperature range of compressed air in the outlet of the intermediate refrigerator of a multi-stage compressor on the thickness of the layer and the temperature of the cooling water was established, which made it possible to determine the decrease of the efficiency of cooling the air entering the subsequent stage of the compressor;

a mathematical model of the working processes of a reciprocating compressor with the use of a device for cooling intake air has been developed, which makes it possible to determine the efficiency and real productivity of the installation;

a dependence of the change in the thickness of the layer of deposits on the surfaces of intermediate and end coolers on the operating time with different temperatures of water with and without a device for electromagnetic water treatment has been established;

a device for softening the make-up water of the cooling system of compressor units has been developed, which helps to reduce the formation of scale on the heat exchange surfaces of the intermediate and end coolers of the compressor;

the dependence of the change in the total hardness of water on its temperature in the developed device for softening the circulating water of the cooling system of compressor units has been established.

**Implementation of the research results.** Based on the studies carried out to improve the efficiency of mining compressor units by improving their cooling system:

the device for electromagnetic treatment of cooling water of the compressor unit was introduced at the compressor station of the «Karakutan» mine, Navoi Mining and Metallurgical Combine (certificate of the Navoi Mining and Metallurgical Combine No. 02-06-07/7026 dated 07.07.2021). As a result, the formation of scale on the heat exchange surfaces of intermediate and end coolers of compressor units has been reduced by 80%;

the developed device for cooling the air sucked in by the compressor was introduced at the compressor station of the «Karakutan» mine, Navoi Mining and Metallurgical Combine (certificate of the Navoi Mining and Metallurgical Combine No. 02-06-07/7026 dated 07.07.2021). As a result, the temperature of the air sucked in by the compressor decreased by 8°C, which, in turn, increases the efficiency of the compressor unit;

the device for softening the make-up water of the cooling system of the compressor unit was introduced at the compressor station of the «Karakutan» mine, Navoi Mining and Metallurgical Combine (certificate of the Navoi Mining and Metallurgical Combine No. 02-06-07/7026 dated 07.07. 2021). The result is a 92% reduction of water hardness.

**The structure and content of the thesis.** The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and appendices. The content of the dissertation is 118 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST of PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Хатамова Д.Н., Абдуазизов Н.А., Джураев Р.У. Совершенствование системы охлаждения рудничных поршневых компрессорных установок // Инновационные технологии. – Карши, 2021. – №1. – С. 55-62 (05.00.00; №38).
2. Абдуазизов Н.А., Хатамова Д.Н., Джураев Р.У. Анализ работы систем охлаждения рудничных поршневых компрессорных установок // Горный вестник Узбекистана. – Навоий, 2021. – №1. – С. 104-107 (05.00.00; №7).
3. Khatamova D.N., Abduazizov N.A., Toshov B.R., Djuraev R.U. Increasing the efficiency of mine compressor units by improving their cooling systems // Вестник ТГТУ. – Ташкент, 2021. – №2. – С. 100-110 (04.00.00; №6).
4. Khatamova D.N., Urunova Kh.Sh. Improvement of the cooling system of compressor units // Universum: технические науки. – Москва, 2021. – №5 (86). – С. 68-71 (02.00.00; №1).
5. Хатамова Д.Н., Джураев Р.У. Исследование влияния температуры всасываемого воздуха на эффективность поршневого компрессора // Universum: технические науки. – Москва, 2021. – №6 (87). – С. 44-47 (02.00.00; №1).
6. Khatamova D.N. Development of a device for softening the circulating water of the cooling system of stationary mine compressor units // The American Journal of Engineering and Technology. – Vol. 03. – Issue 08-03. – 2021. – P.18-26 (SGIF 5.705).

**II бўлим (II часть; part II)**

7. Джураев Р.У., Хатамова Д.Н., Шомуродов Б.Х. Утилизация вторичных энергоресурсов компрессорной станции с применением теплового насоса // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 2017. – С. 537.
8. Джураев Р.У., Хатамова Д.Н., Эргашов И.И., Кучимов А.А. Анализ работы и повышение эффективности компрессорных установок на геологоразведочных работах // Conference European research: Innovation in science, education and technology. – London, 2018. – pp. 1-4.
9. Хатамова Д.Н., Урунова Х.Ш. Модернизация системы охлаждения поршневых компрессорных установок // Материалы Республиканской научно-практической онлайн конференции «Современная система образования и предложенные для нее креативные идеи, предложения и решения» – Фергана, 2021. – С. 55.
10. Хатамова Д.Н. Влияние отложений на поверхностях теплообмена промежуточных и концевых холодильников на эффективность охлаждения компрессора // Материалы Республиканской научно-практической онлайн

конференции «Инновации в науке и образовании: подходы, проблемы, предложения и решения». – Фергана, 2021. – №9. – С. 84-89.

11. Хатамова Д.Н., Урунова Х.Ш. Повышение эффективности рудничных компрессорных установок на основе совершенствования их систем охлаждения // Материалы международной научно-практической онлайн конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов». – Алмалык, 2021. – С. 71-72.

12. Khatamova D.N. Investigation of the operation of cooling tower coolers and their impact on the efficiency of the compressor unit // Proceedings of IX International Multidisciplinary Conference «Innovations and tendencies of state-of-art science». – Rotterdam, Nederland, 2021. – №7. – P. 63-68.

13. Khatamova D.N. Investigation of the effect of high air temperatures at the compressor inlet on its efficiency // Proceedings of IX International Multidisciplinary Conference «Innovations and tendencies of state-of-art science». – Rotterdam, Nederland, 2021. – №7. – P. 68-72.

14. Khatamova D.N., Djurayev R.U. Energy saving during operation of mining compressor units based on modernization of their cooling systems // International Journal of future generation communication and networking. – Vol. 14, №2. – 2021. – P. 41-52.



Автореферат «Ўзбекистон кончилик хабарномаси» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 55/21.

Гувоҳнома № 851684  
«Тірографф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.