

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSC.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

ҲОШИМОВ УРАЛ ҲОШИМОВИЧ

**ГАЗНИ УЗАТИШ КОМПРЕССОР СТАНЦИЯЛАРИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Ҳошимов Урал Ҳошимович

Газни узатиш компрессор станцияларининг энергия самарадорлигини ошириш..... 3

Ҳошимов Урал Ҳошимович

Повышение энергетической эффективности газоперекачивающих компрессорных станций 21

Hoshimov Ural Hoshimovich

Increasing the energy efficiency of gas transmission compressor stations..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSC.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

ҲОШИМОВ УРАЛ ҲОШИМОВИЧ

**ГАЗНИ УЗАТИШ КОМПРЕССОР СТАНЦИЯЛАРИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестация комиссиясида В2018.Т1.PhD/Т601 рақами билан рўйхатга олинган.

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.energetika.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	Ишназаров Ойбек Хайрилаевич техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Қаршибаев Асқарбек Илашевич техника фанлари доктори, профессор Бердиев Усан Турдиевич техника фанлари номзоди, профессор
Етакчи ташкилот:	Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида ҳузуридаги DSC.02/30.12.2021.Т.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «__» _____ соат __ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-ўтар кўчаси, 9-А. Тел.: (99871) 283-23-08; факс: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz).

Диссертация билан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (__ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-ўтар кўчаси, 9-А.. Тел.: (99871) 283-23-08).

Диссертация автореферати 2022 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2022 йил «__» _____ даги __ рақамли реестр баённомаси).

Х.М. Муратов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор

К.Ш. Кадиров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари
бўйича фалсафа доктори, катта илмий ходим

Ш.В. Хамидов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси ўринбосари,
техника фанлари доктори, доцент

КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда энергия самарадорлиги иқтисодий, ижтимоий ва экологик соҳаларда кўплаб ижобий ва барқарор ривожланиш мақсадларга эришиш йўлида энг кучли воситаларидан бири бўлиб келмоқда ва корхоналарнинг энергия самарадорлигини ошириш алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «... табиий газга бўлган талаб саноат ва электр энергетикада жуда тез ўсиб бормоқда. Келгуси 5 йил ичида газга бўлган жаҳон талаби йилига ўртача 1,4% ўсиши кутилмоқда ва 2040 йилга 5,4 триллион м³/йилга етиши мумкин»¹. Бу борада, жумладан газни узатиш компрессор станцияларининг иш режимларини оптималлаштириш, ҳаволи совутиш тизимларнинг электр юритмаларини ростлаш, вентиляторнинг энергетик кўрсаткичларини баҳолаш ва моделлаштириш асосида энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ҳаволи совутиш қурилмаларнинг кўрсаткичларига ташқи омиллар ва иш тавсифларнинг таъсирини аниқлаш, газни совутиш жараёнидаги қувват сарфининг математик моделини тузиш, ускуналарнинг энергетик самарадорлиги ва оптимал иш режимини аниқлаш, шамоллаштириш тизимини частотавий ростланадиган электр юритмасини динамик ва статик режимида энергия тежамкор усулларни ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, ҳаволи совутиш тизимида частотавий ростланадиган асинхрон моторларни гуруҳли бошқариш асосида газнинг ҳароратини мақбул даражада ушлаб туриш, асинхрон моторларни ростлаганда оптимал мезонларни аниқлаш, ростланадиган электр юритманинг статик ва динамик барқарорлигини аниқлаш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга, технологик жараён хусусиятидан келиб чиқиб, ҳаволи совутиш тизимларнинг частотали ростланадиган электр юритмаларини гуруҳли бошқариш мезони ва усулини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар таннархини камайтириш мақсадида энергия ресурсларининг ишлатилиши самарадорлигини ошириш, янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «Иқтисодиётни электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда «Яшил иқтисодиёт» технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш»² бўйича вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, газни узатиш компрессор станцияларида ўзгарувчан технологик параметрларга эга ҳаволи совутиш қурилмалари ва

¹<https://www.eriras.ru/files/mirovye-gazovye-gorizonty-do-2040-goda.pdf>

²Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони

унинг электр юритмасини частотавий ростлаш асосида ишлаш тартиби мослаштириш, газни ҳаволи совутиш қурилмаларининг энергия самарадор ростланувчи электр юритмаси ва энергия самарадор автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожланириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон ва 2022 йил 28 январдаги «2022 — 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги ПФ-60-сон Фармонлари, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида», 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779 «Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Газни узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совутиш қурилмалари самарадорлигини ошириш, оптимал иш режимларининг мезонларини аниқлаш, кўп факторли таҳлил асосида электр энергияга таъсир этувчи омилларни аниқлаш, энергияси ишлатилишининг самарадорлигини ошириш масалаларига қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб илмий марказларида ва олий таълим муассаларида, жумладан «И.М. Губкин номидаги Россия давлат нефть ва газ университети» Миллий тадқиқотлар университети, «Москва энергетика институти» Миллий тадқиқотлар университети, Самара давлат техника университети, Пенза давлат университети (Россия Федерацияси), Massachusetts Institute of Technology, University of California (Америка Қўшма Штатлари), Technische Universitat Dresden (Германия), Seoul National University (Жанубий Кория), Forschungslaboratorien der Siemens (Германия), Schneider Electric (Франция), ABB Group (Швейцария), «Газпрóm ВНИИГАЗ» МЧЖ (Россия Федерацияси), Шариф номидаги технологик университети, Амир Кабир номидаги технологик университети (Эрон Ислом Республикаси) Тошкент давлат университети ва Энергетика муаммолари институти (Ўзбекистон) ва бошқаларда амалга оширилмоқда

Саноат корхоналарида электр энергияси истеъмолининг прогноз кўрсаткичларини аниқлаш усул ва моделларини яратиш, мавжудларини

такомиллаштириш каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан D.V.Benn, K.D.Lyuis, S. Makridakis, R.E.Kalman, C.E.Shannon, И.В.Гофман, В.И.Вейц, А.А.Тайц, Б.И.Кудрин, В.К.Олейников, Г.В.Никифоров, Б.П.Белых, Б.И.Заславца, С.С.Новиков, Е.Ю.Сизганова, Л.С.Родина, И.В.Воронов, К.Л.Соломохо, И.М.Кирпичникова, Л.А.Саплин, В.В. Иванов, А.А.Филимонова ва бошқалар.

Саноат корхоналарида энергетик ресурслардан самарали фойдаланиш ва электр энергия истеъмоли режимларини оптималлаштириш, частотавий ростланадиган электр юритмала асосида энергия тежамкор иш режимини ишлаб чиқиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишда маҳаллий олимларимиздан Хамудханов М.З., Камалов Т.С., Хашимов А.А., Аллаев Қ.Р., Захидов Р.А., Насиров Т.Х., Ситдиқов Р.А., Арипов Н.М., Хошимов Ф.А., Алимходжаев К.Т., Бобожанов М.К., Хамудханов М.М., Ишназаров О.Х., Каршибаев А.И., Тоиров О.З., Пирматов Н.Б. ва бошқалар томонидан ҳам кўплаб тадқиқотлар ўтказилган ҳамда салмоқли натижаларга эришилган.

Шу билан бирга, газни узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совутиш технологик жараёни хусусиятидан келиб чиқиб, электр энергияси истеъмолига таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда модел ишлаб чиқиш, частотавий ростланадиган электр юритма асосида ветриляторларни гуруҳли бошқариш тизимини такомиллаштириш ва бошқариш алгоритминини ишлаб чиқиш билан боғлиқ бўлган илмий муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг Энергетика муаммолари институтининг илмий тадқиқот ишлари режасига мувофиқ, ПТО-14-05 ««Ўзтрансгаз» АЖ бўлинмалари учун энергетик текширувни (аудитни) ўтказиш» (2014-2015) ва 68/15-2017 ««Ўзтрансгаз» АЖ транзит электр тармоқлари орқали электр энергияни узатишда хизматлари таннархини ҳисоблаш усули» (2017) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади. Газни узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совутиш қурилмаларининг ростланадиган электр юритма асосида энергия самарадорлигини ошириш.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ҳаволи совутиш қурилмаларининг электр энергия истеъмоли таъсир этувчи омилларни аниқлаш ва электр энергия истеъмоли моделини ишлаб чиқиш;

ҳаволи совутиш қурилмаларининг энергия самарадор частотавий ростланадиган электр юритма тизимини ишлаб чиқиш;

ҳаволи совутиш қурилмаларининг иш режимига таъсир этувчи технологик омиллар асосида частотавий ростланадиган «асинхрон мотор – вентилятор» тизимининг математик моделини ишлаб чиқиш;

энергия самарадор частотавий ростланадиган ҳаволи совутиш қурилмаларининг гуруҳли бошқариш алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида газни узатиш компрессор

станциясидаги ҳаволи совитиш қурилмалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети газни узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совитиш қурилмаларининг электр энергияси истеъмоли жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида электр юритма назариясининг замонавий усуллари, электромеханик тизимларини математик моделлаш, математик статистика, маълумотларни сақлаш ва қайта ишлаш, ишлаб чиқаришнинг энергия самарадорлигини ва сиғимини аниқлаш бўйича комбинацияланган усул, ишлаб чиқилган моделларнинг саноат синовлари натижаларини статистик ва аналитик ҳисоблаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ҳаволи совитиш қурилмаларидаги электр энергия истеъмолининг таъсир этувчи омиллари корреляция-регрессия таҳлили асосида узаро боғлиқлиги исботланиб, математик модели ишлаб чиқилган;

ҳаволи совитиш қурилмаларининг энергия самарадор иш режими частотавий ростланадиган электр юритма асосида ишлаб чиқилган;

частотавий ростланадиган «асинхрон мотор – вентилятор» тизимининг математик модели ҳаволи совитиш қурилмаларининг иш режимига таъсир этувчи технологик омиллар асосида такомиллаштирилган;

ҳаволи совитиш қурилмаларнинг бошқариш алгоритми гуруҳли ростлаш асосида такомиллаштирилиб, «асинхрон мотор – вентилятор» тизимининг таркибий схемаси ишлаб чиқилган;

ҳаволи совитиш қурилмаларнинг иш режимларини ростлаш усули ўзгарувчан ташқи ҳаво ҳарорати, нисбий намлик, газ босими ва газ ҳароратларини инобатга олиш асосида такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

ҳаволи совитиш қурилмаларининг электр энергияси истеъмоли параметрларини, хусусан электр энергияси истеъмоли ва унинг солиштирма сарф кўрсаткичини ҳисоблаш усули тадқиқот объектида ўтказилган экспериментал тадқиқотлар натижалари асосида ишлаб чиқилган;

ҳаволи совитиш қурилмалар ва технологик жараённинг ростланадиган электр юритмага бўладиган талаблари аниқланган;

ҳаволи совитиш қурилмаларни ташқи ҳарорат ва мавсумий кўрсаткичларга мослашиш асосида бошқариш мезони ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижалар ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги, ишлаб чиқаришга жорий этиш орқали асосланганлиги, шунингдек, назарий ва ҳисобий-экспериментал натижаларнинг мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий амалий аҳамияти совитиш қурилмаларини электр энергия сарфига таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда унинг энергия самарадор иш режими ва бошқариш алгоритми ишлаб чиқилганлиги, вентиляторларни ташқи ҳароратнинг даражаси асосида ростлаш диапазони ишлаб чиқилганлиги билан ифодаланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти ҳаволи совитиш қурилмасини частота

ростланадиган электр юритма асосида иссиқлик алмаштиргичдан утувчи газни ҳажми ва массасига мос равишдаги вентиляторлар сони ва тезлигини бошқариш имкони яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Газни узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совитиш қурилмаларини ростланадиган электр юритма асосида энергия самарадорлигини ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ҳаволи совитиш қурилмаларни энергия самарадор гуруҳли бошқариш алгоритми «Ўзтрансгаз» АЖ корхонасига жорий қилинган ((«Ўзтрансгаз» АЖ нинг 2020 йил 13 майдаги 04-17/1-41-сон маълумотномаси). Натижада Натижада компрессор станцияларидаги электр энергияда бўладиган исрофларни 5 - 7% камайтириш имконини яратилган;

ҳаво совитиш қурилмаларига гуруҳли частотавий ростлаш усули «Ўзтрансгаз» АЖ корхонасига жорий қилинган («Ўзтрансгаз» АЖ нинг 2020 йил 13 майдаги 04-17/1-41-сон маълумотномаси). Натижада совитиш қурилмалар моторларининг ишлаш муддатини 6% узайтириш имкони яратилган;

ҳаво совитиш қурилмаларининг бошқариш алгоритми «Ўзтрансгаз» АЖ корхонасига жорий қилинган («Ўзтрансгаз» АЖ нинг 2020 йил 13 майдаги 04-17/1-41-сон маълумотномаси). Натижада газни узатиш компрессор станциянинг электр энергияга бўлган истеъмоли камайтириши ҳисобига йилига 255 670 000 (икки юз эллик беш минг оти юз етмиш минг) сўм иқтисодий самарадорликга эришган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотлар натижалари 7 та илмий-техник конференцияларда, жумладан 4 та халқаро ва 3та республика илмий амалий анжуманларида муҳокама қилинган ва апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 17 та илмий иш чоп этилган, жумладан 5 та илмий мақола, шундан 3 та республика ва 2 та халқаро илмий журналларда чоп этилган. ЭҲМ учун 1та дастурий маҳсулотга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, туртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 112 саҳифани ташкил этади.

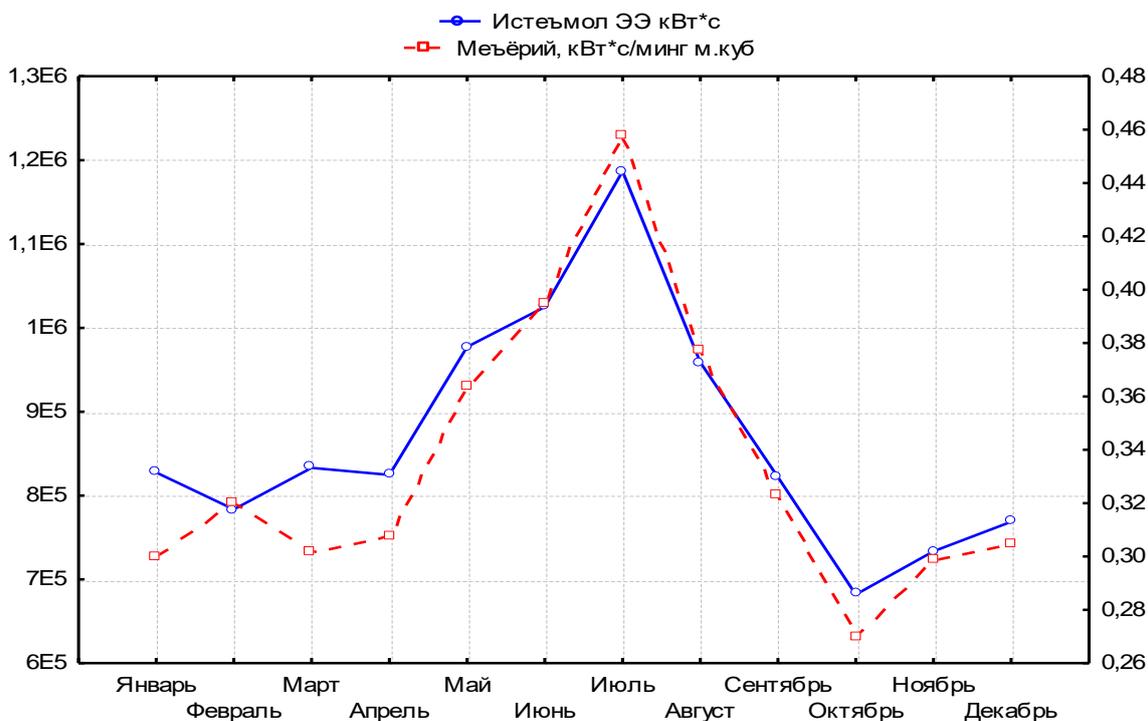
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зурурияти, асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Газни узатиш компрессор станциясининг ҳолати ва истиқболлари» номли биринчи бобида жаҳонда ва Ўзбекистонда компрессор станция ва совитиш қурилмаларининг ривожланиш ҳолати ва истиқболлари ҳамда замонавий технологиялардан фойдаланишнинг ривожланиш тенденцияси, шунингдек, дунёда газ узатиш компрессор станциялари ва совитиш қурилмаларини частотавий бошқариш технологияларини жорий этиш истиқболлари ўрганиб чиқилган.

Ўзбекистон магистрал газ қувирлари тизимидаги компрессор станция ҳаво совитиш тизимларининг мавсумий ва кунлик юкланишларга мослашувчанлиги таъминловчи автоматик бошқариш тизимлари фойдаланиш даражаси кўриб чиқилган. Компрессор станция ҳаво совитиш қурилмалар (ҲСК) юкласининг йил давомидаги мавсумий ўзгаришлари таҳлил қилинган.

Республикамиздаги компрессор станциясининг энергетик тавсифи, узатилган газ ва электр энергия сарфи гистограммаси 1-расмда келтирилган.



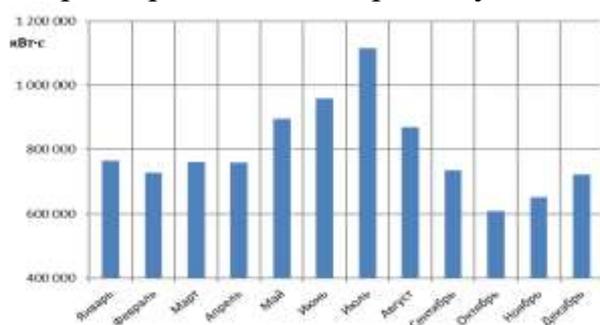
1 - расм. Газни узатиш компрессор станциясининг энергетик тавсифи

Компрессор станцияларда сиқилган газни совутиш ҲСҚ ларда амалга оширилади. Совутилган газ миқдорини линиядаги барқарорлигини таъминлаш ва қувурларнинг хавфсизлик изоляция ва унинг салоҳиятини ошириш учун танланган қурилмалар сони билан амалга иширилади. Одатда сиқилган газ атмосфера ҳароратидан ўртача 10-12⁰С ҳароратгача пасайтирилиши мумкинлиги аниқланган.

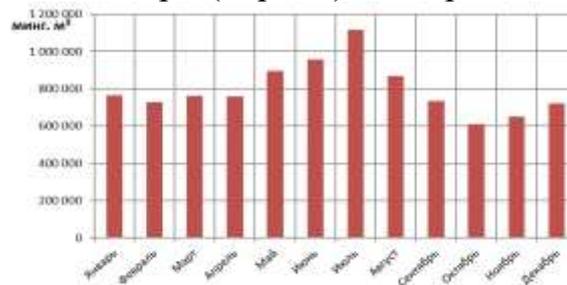
Эксперимент тадқиқотларига мувофиқ, электр энергиясининг энг катта сарфи ҳаво совутиш қурилмалари учун технологик эҳтиёжлар ҳисобига тўғри келади – умумий сарфнинг 65,97%, ва умуман ишлаб чиқариш сарфи 97,56% ни ташкил этади. Ишлаб чиқариш жараёнининг энг кўп энергия сарфлайдиган ускунаси-юк омили 0,58 - 0,83 бўлган газ ҲСҚ моторларидир.

Диссертациянинг «Газни узатиш компрессор станциясининг ҳаволи совутиш ускуналарида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш» номли иккинчи бобда ҳаволи совутиш қурилмалари энергия самарадор ишлашида қурилманинг ички техник таъсирлари ва ташқи омиллар таъсирлари таҳлил қилинган.

Газни совутиш қурилмаларининг электр энергия сарфи (2–расм) ва компрессор станцияни орқали узатилган газ миқдори (3–расм) келтирилган.

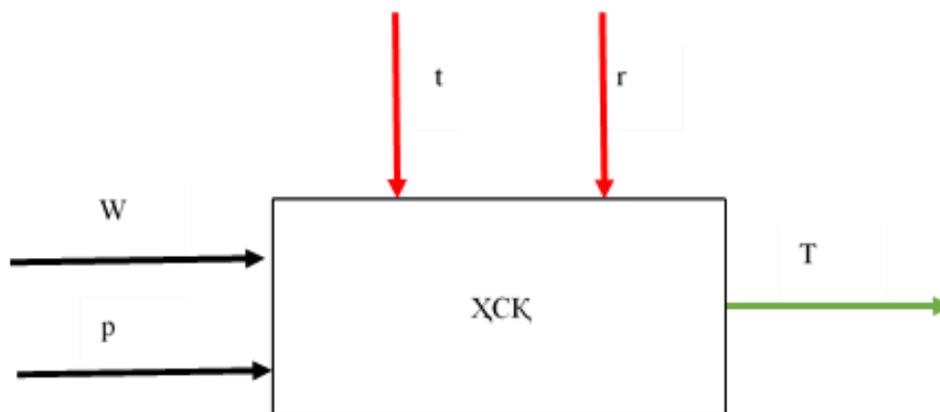


2–расм. ҲСҚ электр энергия сарфи



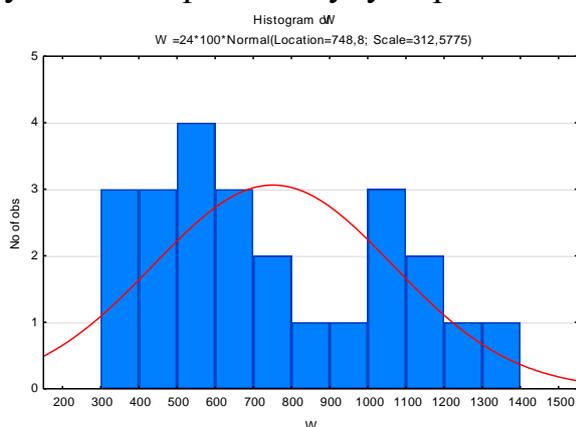
3–расм. ҲСҚ йил давомида ўзатган газ миқдори

Иш режимларини танлаш, электр энергиясини истеъмол қилиш моделини яратиш учун газни совутиш жараёнининг кириш ва чиқиш оқимларини таҳлил қилиш керак. Экспериментал тадқиқотлар натижалари, шунингдек адабиёт манбаларини таҳлил қилиш ва саноат эксплуатацияси тажрибаси газни совутиш жараёнида асосий чиқиш параметри (бошқариладиган ўзгарувчи) газ ҳарорати ($T, ^\circ\text{C}$) эканлигини аниқлашга имкон берди. Бу параметр назорат қилинади. Газни совутиш ҳаво совутиш қурилмаларининг ишлаш режимини белгиловчи кириш параметрлари электр энергияси ($W, \text{кВт}\cdot\text{с}$ ва газ босими ($P, \text{Па}$). Бзовта қилувчи параметрлар ташқи ҳарорат ($t, ^\circ\text{C}$) ва ҳавонинг нисбий намлиги $r, \%$. Бундан ташқари, истеъмол қилинадиган электр энергияси миқдорига электр энергиясининг сифат кўрсаткичлари, шунингдек газ босими, нисбий намлик, ҳаво ҳарорати ва газ ҳарорати таъсир қилади. Бунга мувофиқ, 4-расмда газ ҳавосини совутиш қурилмасидаги жараёнларнинг тузилиши кўрсатилган.

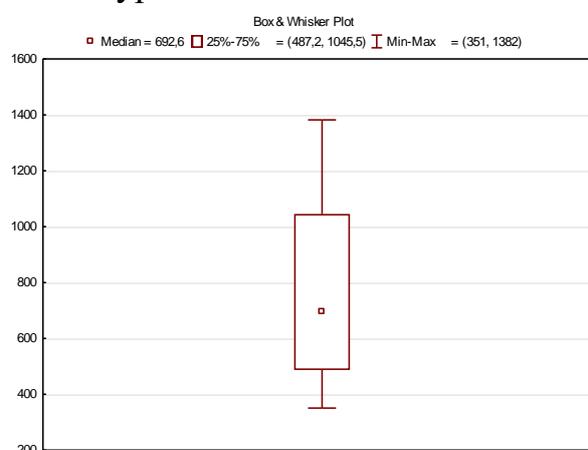


4-расм. ХСҚ даги жараёнларнинг ўтилиши

Шунга кўра, 5-расмда истеъмол қилинган электр энергиясини тақсимлаш гистограммаси ва 6-расмда эса истеъмол қилинадиган электр энергиясининг кўлами диаграммаси учун оралиқ диаграмма кўрсатилган.



5-расм. Истеъмол қилинадиган электр энергиясини тақсимлаш гистограммаси



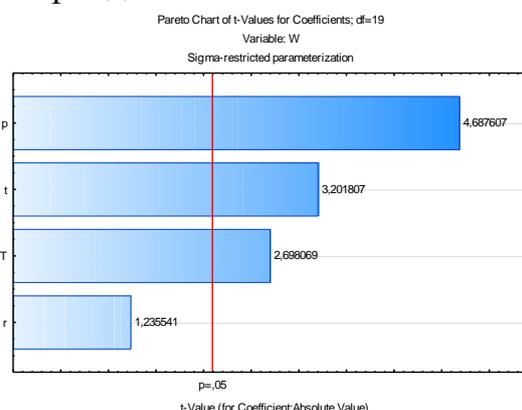
6-расм. Истеъмол қилинадиган электр энергиясининг кўлами диаграммаси

Таъкидланганидек, ҳаво совутиш қурилмаларининг электр энергия сарфи куйидаги ифода билан белгиланади

$$W = f(T, t, r, p). \quad (1)$$

Бундан кўриниб турибдики, бир нечта мустақил ўзгарувчилар электр энергиясининг сарфланишига ҳавони совутиш қурилмалари таъсир қилади. Бунга мувофиқ биз кўп регрессия усулидан фойдаланамиз.

Ушбу омилларнинг газни совутишда ҳаво совутиш мосламасининг қувват сарфига таъсир даражасини баҳолаш учун Паретто диаграммасидан фойдаланилган. Таҳлил натижаларига кўра, ҳавонинг ҳарорати, газ босими, ҳавонинг намлиги ХСҚ электр энергияси сарфига энг кўп таъсир этилиши аниқланган (7-расм).



7-расм. Паретто диаграммаси

Бу диаграммада вариацион таҳлил таъсирларининг баҳолари кийматларнинг абсолют катталиги бўйича жойлаштирилган: энг каттасидан энг кичикгача. Ҳар бир эффе́ктыннг катталиги устун билан ифодаланеди ва устунлар статистик аҳамиятга эга бўлиши учун эффе́кт қандай катталиқда бўлиши кераклигини (яъни устун узунлиги қандай бўлиши кераклигини) кўрсатувчи чизиқ билан кесиб ўтилади. 7-расмдан кўриниб турибдики, электр энергия сарфига газ босими (4,68) энг катта таъсир кўрсатади. Тажриба маълумотлари таҳлили асосида нисбий намликнинг қувват сарфига таъсир қилиш даражаси аҳамиятсиз эканлиги аниқланди(1,25).

Регрессион таҳлил муаммосини ҳал қилишни бир неча босқичларга бўлиш тавсия этилади: олдиндан ишлов бериш; регрессия тенгламалари турини танлаш; регрессия тенгламасининг коэффицентларини ҳисоблаш; қурилган функциянинг кузатув натижаларига мувофиқлигини текшириш. 1 ва 2-жадвалларда электр энергияси сарфига таъсир этувчи омилларнинг регрессион таҳлили келтирилган.

1-жадвал

Кўрсаткичларни баҳолашнинг Сигма чекланишли параметрлаштириш

Эффе́кт	Кўрсаткич	Станд. четл.	t	p	-95.00% Чегар.кўр.	+95.00% Чегар.кўр.	Коэф.	Станд. хатолик	-95.00% Чегар.кўр.	+95.00% Чегар.кўр.
Ушлаш	-24620,3	5091,102	-4,83594	0,000115	-35276,1	-13964,5				
t	19,5	6,099	3,20181	0,004695	6,8	32,3	0,395192	0,123428	0,136855	0,653529
r	11,9	9,604	1,23554	0,231689	-8,2	32,0	0,135790	0,109903	-0,094240	0,365819
p	589,3	125,715	4,68761	0,000160	326,2	852,4	0,385630	0,082266	0,213445	0,557814
T	57,1	21,167	2,69807	0,014248	12,8	101,4	0,400387	0,148397	0,089787	0,710986

2-жадвал

SS бутун модели ва SS қолдиғини синаш

Эрксив ўзгарувчи	Синов кўрсаткичлари										
	Кўплик R	Кўплик R?	Созланган R?	Модель SS	Модель df	Модель MS	қолдик SS	қолдик df	қолдик MS	F	p
W	0,988400	0,976935	0,972079	2195375	4	548843,7	51832,76	19	2728,040	201,1861	0,00

Олинган регрессия тенгламасининг F-мезони 5% даражасида аҳамиятлидир. Нол гипотеза эҳтимоли (p-level) 0,05 дан сезиларли даражада кам, бу регрессия тенгламасининг умумий аҳамиятини кўрсатади.

Шундай қилиб, регрессия таҳлили натижасида ташқи ҳаво ҳарорати t, нисбий намлик r, газ босими p ва газ ҳарорати T функцияси сифатида қуйидаги электр энергияси сарфи тенгламаси олинди

$$W = 19,5t + 11,9r + 589,3p + 57,1T - 24620,3. \quad (2)$$

Олинган чизиқли регрессия тенгламасининг коэффицентлари муҳим деб ҳисобланади. Текширилаётган модел адекват деб баҳоланади. Модел натижасида 95% интервалда ишончли маълумотлар қаторини таърифлайди.

Диссертациянинг «Газ узатиш компрессор станциясидаги ҳаволи совитиш қурилмаларининг иш режимини ростлаш» деб номланган учинчи бобида ҳаво совитиш қурилмасининг вентилятор электр моторининг минимал қувват сарфи мезонига кўра иш режимларини стационар режимда мақбуллаштириш масаласини ечишга функционал йўналтирилган математик моделни қуйида кўришимиз мумкин.

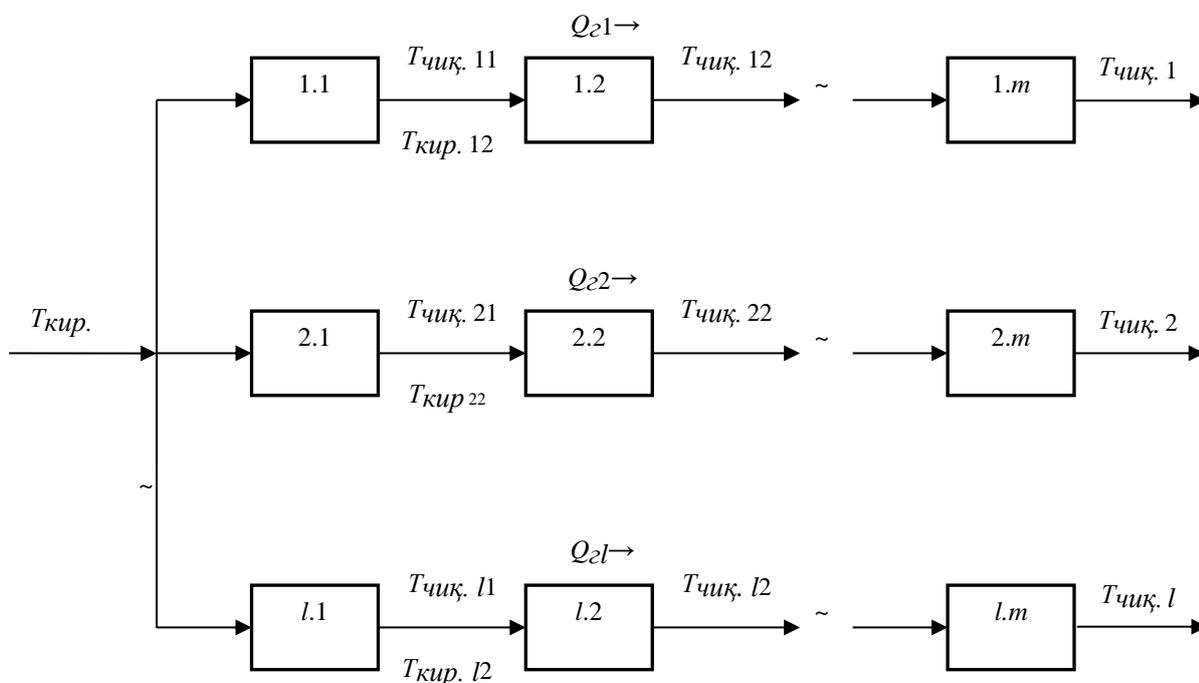
ҲСҚ иссиқлик алмаштиргич қисми бўйлаб газ оқими кириш коллекторига кирувчи газнинг ҳарорати $T_{кир.}$ ни ташкил этади. Иссиқлик алмаштиргич орқали утган газ чиқиш коллектори ҳарорати $T_{чиқ.і}$ га тенг бўлади. Бу кўрсаткичлар паралел ҲСҚ ларининг ҳар бири учун газ оқими тезлиги $Q_{гi}$ ва газ ҳарорати фарқи

$$\Delta T_i = T_{чиқ.і} - T_{кир.} \quad (3)$$

Иссиқлик баланси тенгламасини ҳисобга олиб, ҲСҚ бўйича ҳарорат фарқини қуйидагича ифодалаш мумкин

$$\Delta T = \frac{\Delta T_1 Q_{г1} + \Delta T_2 Q_{г2} + \dots + \Delta T_l Q_{гл}}{Q_г} = \frac{1}{Q_г} \sum_{i=1}^l \Delta T_i Q_{гi} \quad (4)$$

Бунинг натижасида, совитиш жараёнининг схемаси 8-расмда келтирилган.



8-расм. Совитиш жараёни схемаси ҲСҚ

Ҳаво оқимининг тезлиги V_{ij} билан айланиш частотасининг n_{ij} боғлиқлиги тўғридан тўғри бўлганлиги сабабли қуйидаги ифодани келтирамиз

$$P_{ij} = P_{ij \text{ ном}} \left(\frac{n_{ij}}{n_{ij \text{ ном}}} \right)^3 \quad (5)$$

Шу билан бирга айланиш частотаси ва ҳаво оқимлари чегаравий қийматларга эга бўлиб, бу қийматлар қуйида келтирилган

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ij\text{ном}}; 0 \leq V_{ij} \leq V_{ij\text{ном}}. \quad (6)$$

Вентилятор моторнинг умумий қуввати

$$P = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m P_{ij}, \quad (7)$$

$$\Delta T = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \Delta T_i. \quad (8)$$

Юқоридагиларни ҳисобга олган ҳолда, ҲСҚ тизимининг стационар ишлаш режимини оптималлаштириш муаммосини мақсад функциясини минималлаштириш муаммоси сифатида шакллантириш мумкин

$$P_{\Sigma} = P_{\text{ном1}} \left(\frac{n_1}{n_{\text{ном1}}} \right)^3 + P_{\text{ном2}} \left(\frac{n_2}{n_{\text{ном2}}} \right)^3 \rightarrow \min. \quad (9)$$

Табиий газни сиқилганлик коэффициентини ўртача қиймати қуйидаги формула билан аниқланади

$$z_{\text{ўр}} = \frac{z_{1H} + z_{2H}}{2}, \quad (10)$$

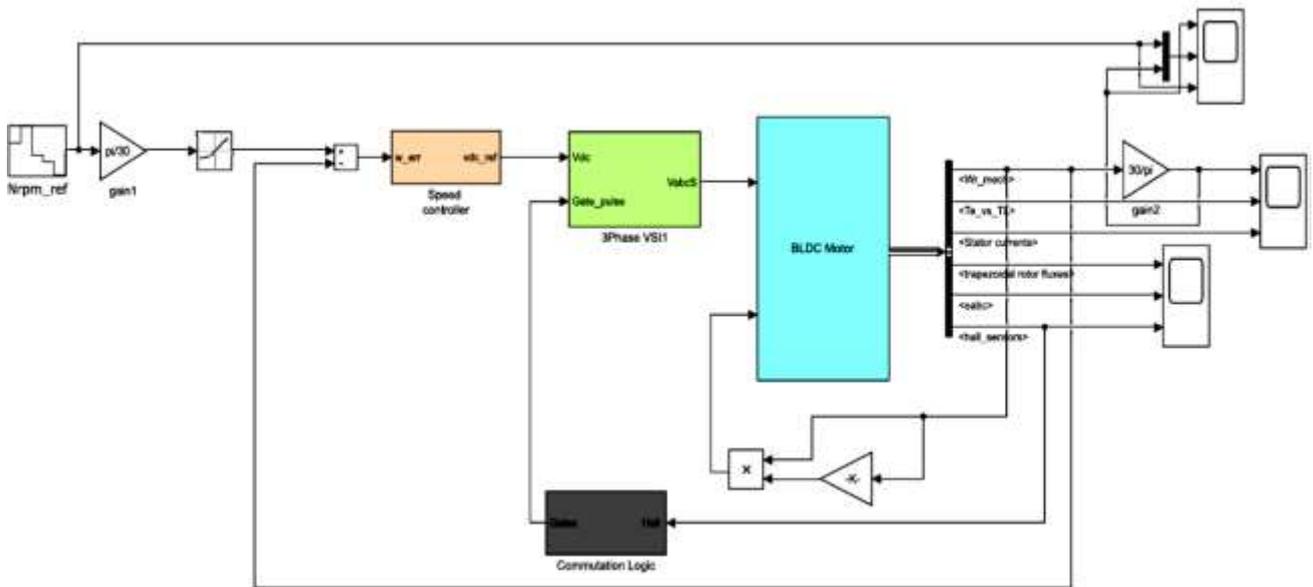
бу ерда z_{1H} , z_{2H} —марказдан қочма компрессорларини кириш ва чиқишидаги сиқилганлик коэффициентлари. Сиқилганлик коэффициенти табиий газ учун қуйидаги формулалардан топилади

$$z_{1H} = 1 - \left[(10.2 \cdot P_{1H} - 6)(0.345 \cdot 10 - 2 \cdot D_x - 0.446 \cdot 10 - 3) + 0.015 \right] \cdot [1.3 - 0.0144 \cdot (T_{1H} - 283.2)], \quad (11)$$

$$z_{2H} = 1 - \left[(10.2 \cdot P_{2H} - 6)(0.345 \cdot 10 - 2 \cdot D_x - 0.446 \cdot 10 - 3) + 0.015 \right] \cdot [1.3 - 0.0144 \cdot (T_{2H} - 283.2)], \quad (12)$$

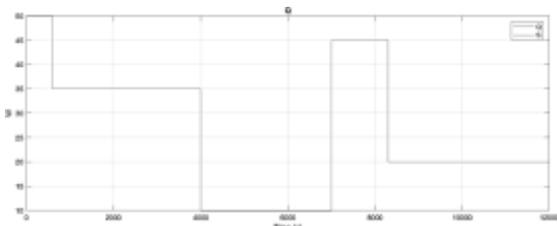
бу ерда D_x — парракнинг диаметри; P_{1H} — ҲСҚ киришидаги ҳавонинг босими; P_{2H} — ҲСҚ чиқишидаги ҳавонинг босими; T_{1H} — ҲСҚ кирувчи ҳавонинг ҳарорати; T_{2H} — ҲСҚ чиқувчи ҳавонинг ҳарорати.

9-расмда ҲСҚ Matlab / Simulink тизимидаги модели келтирилган.

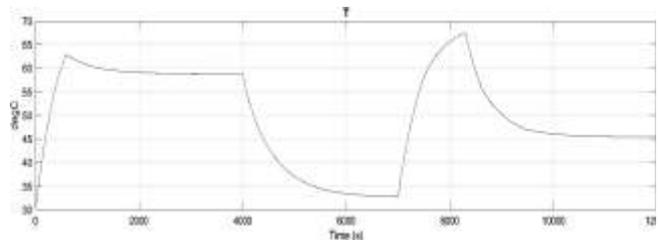


9-расм. ҲСҚ тизимининг модели

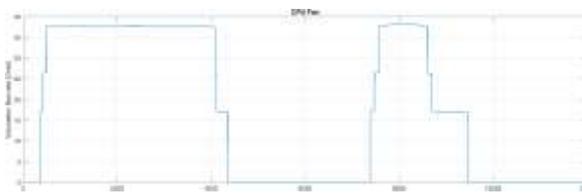
10 – 14 расмларда ҲСҚ иш режимларини келтирилган, жумладан 10-расмда ҲСҚ тизимини ростлаганда қувватнинг сарфи; 11-расм тизимидаги ҳаво ҳароратининг ўзгариши; 12-расм ҲСҚ тизимидаги ҳаво ҳароратининг ўзгариши; 13-расмда ҲСҚ ишлаб чиқилган босим миқдори ҳамда 14-расмда ҲСҚ нинг моторини тавсифлари келтирилган.



10-расм. ҲСҚ тизимидаги қувват сарфи



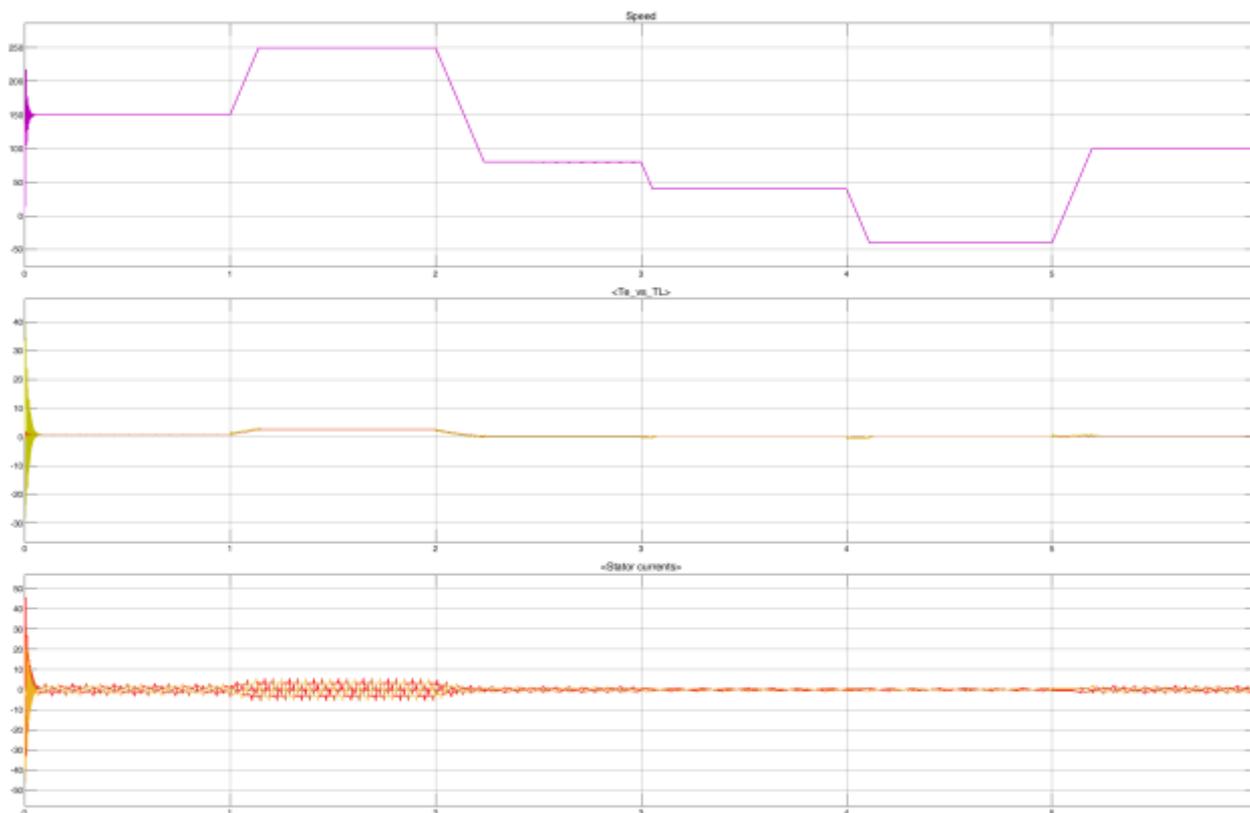
11-расм. ҲСҚ тизимидаги ҳаво ҳароратининг ўзгариши



12-расм. ҲСҚ ҳаво оқимининг миқдори



13-расм. ҲСҚ ишлаб чиқилган босим миқдори



14-расм. ҲСҚ нинг моторини тавсифлари

ҲҚС вентилятор моторларининг айланиш тезлигини фойдали иш коэффициентини ва энергия сарфига таъсири қуйидаги 3-жадвалдан кўришимиз мумкин бўлади.

3-жадвал

ҲҚС вентилятор моторларининг айланиш тезлигини фойдали иш коэффициентини ва энергия сарфига таъсири

Айланиш тезлиги	n_H	3050	3069	3099	3139	3198	3218	3238
Ёқилғини сарфи	$Q_{ёқ}$	203	205	207	209	212	215	216
Фойдали иш коэффициенти	k_H	0,95	0,93	0,9	0,86	0,8	0,78	0,76

Натижалар шуни кўрсатдики, частотавий рағлаш ҲСҚ иш режимларини боғлиқликларнинг энг катта оғишлари одатда 7% дан ошмайди, бошқарув объектнинг узатиш коэффициентининг ўртача қиймати эса 1-2 °С ва вақт доимийси $T_0=150$ секунд бўлади.

Диссертациянинг 4-бобида «Газ узатиш компрессор станциясидаги ҳаво совутиш қурилмаларининг энергия самарадор иш режими» ҳаво совутиш қурилмалари энергия самарадорлигини оширишда асосий таъсир этувчи энг катта омил иссиқлик алмашинув жараёни ўрганилган. Иссиқлик алмашиниш жараёнининг математик модели кўриб чиқилган. Совутиш ҳавосининг ҳажм оқимининг ўзгариши ва қурилманинг кириш қисмидаги газ ва ҳаво ҳарорати бўйича объектнинг узатиш функциялари мавжуд.

Газ ҳароратини пасайтириш қувур линиясининг ўтказувчанлигини оширишга ва газ насос қурилмалари ишлаши учун ёнилғи газини тежашга имкон беради. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, ташилаётган газ ҳароратининг ўртача 3°С га пасайиши совутиш қувур ўтказувчанлигини 1% га оширади.

Узатилаётган газни совитиш жараёни станция ва магистрал газ қувирлари иш самарадорлигини ортишига сабаб бўлади.

Иссиқлик алмаштиргичда содир бўладиган иссиқлик ва масса узатиш жараёнлари нозичли тенгламалар системаси билан тасвирланади

$$\left. \begin{aligned} G_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot (T_{\text{ч.}\Gamma} - T_{\text{к.}\Gamma}) + m_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot \frac{dT_{\Gamma}}{dt} + \alpha_{\Gamma} \cdot F_{\text{ич}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{тр}}) &= 0 \\ m_{\text{тр}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot \frac{dT_{\text{тр}}}{dt} - \alpha_{\Gamma} \cdot F_{\text{ич}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{тр}}) + \alpha_{\text{х}} \cdot F_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{тр}} - T_{\text{х}}) &= 0 \\ G_{\text{х}} \cdot \rho_{\text{х}} \cdot C_{\text{х}} \cdot (T_{\text{х}} - T_{\text{к.х}}) &= \alpha_{\text{х}} \cdot F_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{тр}} - T_{\text{х}}) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

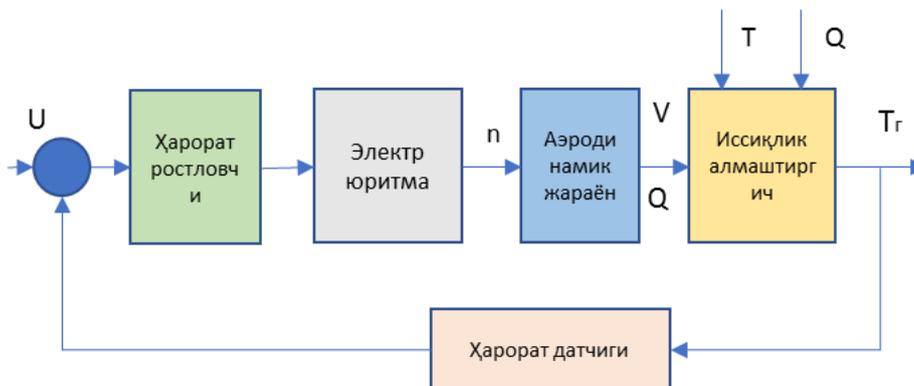
бу ерда G_{Γ} ва $G_{\text{х}}$ -газ ва ҳавонинг оқим тезлиги; ρ_{Γ} ва $\rho_{\text{х}}$ -газ ва ҳавонинг зичлиги; C_{Γ} ва $C_{\text{х}}$ -газ ва ҳавонинг ўзига хос иссиқлик қуввати; m_{Γ} ва $m_{\text{тр}}$ -газ ва қувур массаси; α_{Γ} ва $\alpha_{\text{х}}$ -газ ва ҳаводан иссиқлик алмашинув қувирлари деворига иссиқлик узатиш коэффициенти; $F_{\text{ич}}$ ва $F_{\text{нар}}$ -ички ва ташқи иссиқлик алмашиш юзалари; T_{Γ} ва $T_{\text{х}}$ -газ ва ҳаво совутиш қурилмаларининг чиқишидаги ўртача ҳарорати; $T_{\Gamma, \text{к}}$ ва $T_{\text{х, к}}$ -ҳаво совутиш қурилмаси кириш қисмидаги газ ва ҳаво ҳароратининг ўртача қийматлари; $T_{\text{тр}}$ -иссиқлик алмашинув трубасининг ўртача ҳарорати; t -ишлаш вақти.

Аналитик усул асосида ҲСҚ узатиш функцияси кўйиги кўринишдалиги аниқланди

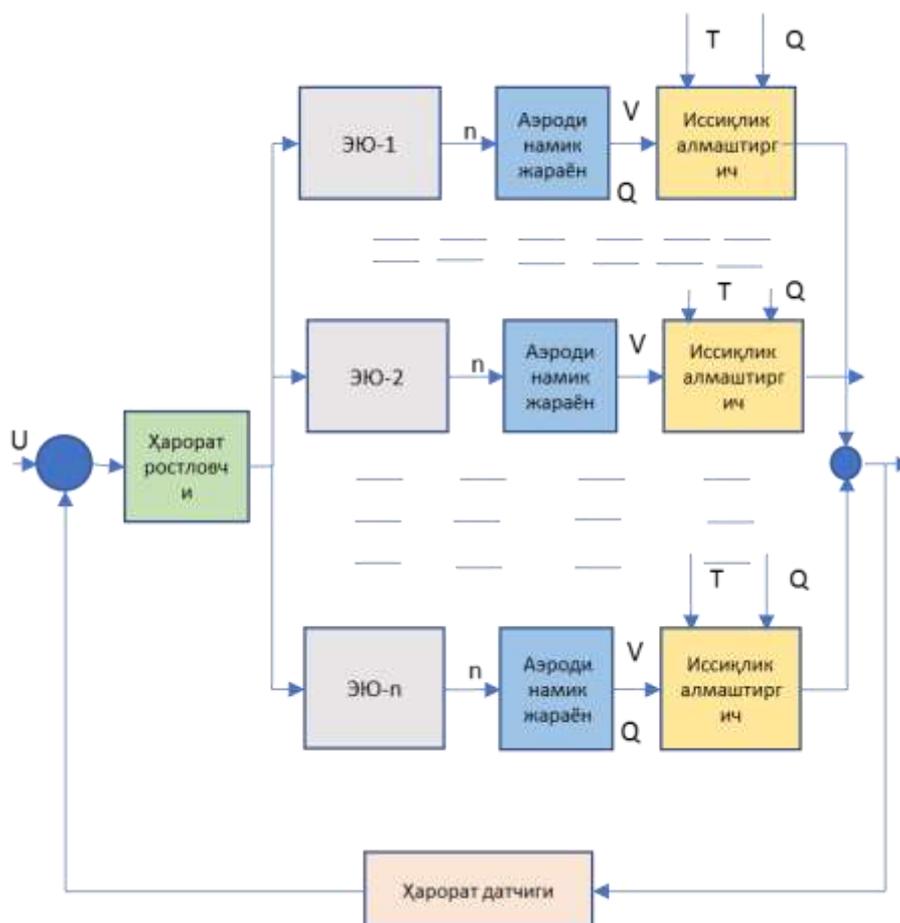
$$W_y(p) = \frac{0,261}{9,75 \cdot p^2 + 841,679 \cdot p - 1} \quad (14)$$

бу ерда p – Лаплас оператори.

15-расмда ҲСҚ нинг бошқариш структураси келтирилган, 16-расмда эса ҲСҚ лар тизимининг паралел бошқариш тизими берилган.



15-расм. ҲСҚ нинг бошқариш структураси



16-расм. ХСҚ лар тизимининг паралел бошқариш тизими

Тартибга солиш сифатининг яхшиланишига гидрат ҳосил бўлиш бошланишининг ҳарорати ХСҚ даги газ босимининг ўзгаришига қараб ростланиши туфайли эришилади. Шу муносабат билан ХСҚ газининг пастки қаторларидаги иссиқлик алмашиш найчалари ташқи деворининг ҳарорати созланиши керак бўлган ҳарорат оралиғи. Белгиланган ҳароратни бу ораликда сақлаш ХСҚ газ иссиқлик алмашиш найчаларида гидрат ҳосил бўлишининг олдини олишни ва технологик жараён талабларини таъминлайди. Шундай қилиб, табиий газ учун ҳаво совутиш қурилмаларининг оптимал ишлаш режими сақланади.

ХУЛОСА

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси «Газни узатиш компрессор станцияларининг энергия самарадорлигини ошириш» илмий иши натижалари бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Асинхрон электр юритмали ҳаволи совутиш қурилмасининг энергия самарадорлигини оширишнинг асосий йўналишларини таҳлил қилиш асосида, доимий ҳароратни таъминлашнинг энг қулай усули частотавий ростланувчи электр юритма қўлланилиши эканлиги аниқланган.

2. Ҳаволи совутиш қурилмаларининг электр энергия истеъмолига таъсир этувчи омиллар аниқланган ва электр энергия истеъмоли моделини

ишлаб чиқилган. Натижада ҳаволи совитиш қурилмаларидаги электр энергия сарфини аниқлаш имкони яратилган.

3. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг энергия самарадор частотавий ростланадиган электр юритма тизими ишлаб чиқилган, натижада энергетик кўрсаткичлари турли частоталарда электр механик тизимнинг энергия самарадорлигини аниқлаш имкони яратилган.

4. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг иш режимига таъсир этувчи технологик омиллар асосида частотавий ростланадиган «асинхрон мотор – вентилятор» тизимининг математик модели ишлаб чиқилган. Натижада ҳаволи совитиш қурилмаларининг бошқариладиган таркибий схемасини ишлаб чиқиш имкони яратилган.

5. Частотавий ростланадиган ҳаволи совитиш қурилмаларининг гуруҳли бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган. Натижада «мотор – вентилятор» тизимининг юкламага силлиқ мослашиши асосида моторнинг ишлаш муддатини 6%гача узайтириш имкони яратилган.

6. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг иш режимларини ростлаш усули ўзгарувчан ташқи ҳаво ҳарорати, нисбий намлик, газ босими ва газ ҳароратларини инобатга олиш асосида такомиллаштирилган. Натижада ҳаволи совитиш қурилмаларида электр энергия сарфини 7%гача тежаш имкони яратилган.

7. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг гуруҳли частотавий ростлаш усули «Ўзтрансгаз» АЖ корхонасида жорий қилинган. Натижада газни узатиш компрессор станциянинг электр энергияга бўлган истеъмоли камайиши ҳисобига йилига 255 670 000 (икки юз эллик беш минг оти юз етмиш минг) сўм иқтисодий самарадорликга эришган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ ПРОБЛЕМ
ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ**

ХОШИМОВ УРАЛ ХОШИМОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2018.T1.PhD/T601.

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.energetika.uz), а также в Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Ишназаров Ойбек Хайрилаевич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Каршибаев Аскарбек Илашевич доктор технических наук, профессор Бердиев Усан Турдиевич кандидат технических наук, профессор
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2022 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSC.02/30.12.2021.T.143.01 при Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан. (Адрес: 100076, г.Ташкент, ул Мухтора Ашрафий 1-проезд, 9-А. Тел.: (99871) 283-23-08; факс: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (регистрационный номер ____). (Адрес: 100076, г.Ташкент, ул Мухтора Ашрафий 1-проезд, 9-А. Тел.: (99871) 283-23-08)

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2022 года.
(протокол рассылки № « ____ » от « ____ » _____ 2022 года).

Х.М. Муратов
Председатель научного совета по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

К.Ш. Кадиров
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней, доктора
философии (PhD) по техническим наукам, с.н.с.

Ш.В. Хамидов
зам. председателя научного семинара при научном совете
по присуждению учёных степеней, д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире энергетическая эффективность является одним из самых мощных средств для достижения многих положительных и устойчивых целей развития в экономической, социальной и экологической сферах, и уделяется особое внимание повышению энергоэффективности предприятий. В настоящее время в развитых странах «... спрос на природный газ в промышленности и электроэнергетике очень быстро растет. Ожидается, что в ближайшие 5 лет мировой спрос на газ будет расти в среднем на 1,4% в год и может достичь к 2040 году 5,4 триллион м³/год»¹. В связи с этим особое внимание уделяется повышению энергоэффективности, в том числе на основе оптимизации режимов работы газотранспортных компрессоров, регулировки электроприводов систем воздушного охлаждения, оценки и моделирования энергетических показателей вентилятора.

В мире ведутся научные исследования, направленные на определение влияния внешних факторов и рабочих характеристик на показатели устройств воздушного охлаждения, составления математической модели энергопотребления в процессе охлаждения газа, определения энергоэффективности и оптимального режима работы оборудования, разработки энергоэффективных методов динамического и статического режима электроприводов частотного регулирования системы вентиляции. Исследования в этом направлении считаются актуальными, в том числе, на основе группового управления частотно регулируемые асинхронными двигателями в системе воздушного охлаждения по оптимальному поддержанию температуры газа, определение оптимальных критериев регулирования асинхронных двигателей, определение статической и динамической устойчивости регулируемого электропривода. В то же время из-за особенности технологического процесса, разработка критериев и метода группового управления частотно-регулируемыми электроприводами систем воздушного охлаждения считается одной из актуальных задач.

В нашей Республике в целях снижения себестоимости производимой продукции принимается широкий комплекс мер по повышению эффективности использования энергоресурсов, созданию и совершенствованию новых технологических решений и их внедрению. В стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы, в том числе определены задачи «непрерывного обеспечения экономики электроэнергией и активного внедрения технологии «Зеленой экономики» во всех сферах, повышения энергоэффективности экономики на 20 процентов»². Для реализации этих задач важными являются, в частности проведение исследовательских работ, направленных на управление режимов работ на основе частотного регулирования агрегатов воздушного охлаждения с

¹<https://www.eriras.ru/files/mirovye-gazovye-gorizonty-do-2040-goda.pdf>

²Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022 г. N УП-60 «Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

переменными технологическими параметрами в газотранспортных компрессорах и его электропроводах, решение вопросов энергоэффективной регулируемых электропроводов устройств газоздушного охлаждения и разработка энергоэффективных систем автоматического управления.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 «Стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан» и от 28.01.2022 г. № УП-60 «Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП 4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», № ПП-4779 от 10.07.2020 г. «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на повышение эффективности устройств с воздушным охлаждением в компрессоре газотранспортной системы, определения критериев оптимальных режимов работы, выявление факторов на основе многомерного анализа, влияющих на электроэнергию, повышения эффективности использования энергии проводятся во многих научных центрах и высших учебных заведениях, в том числе в Национальном исследовательском университетом «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина», Национальным исследовательским университете "Московский энергетический институт", Самарском государственном техническом университете, Пензенском государственном университете (Российская Федерация), Массачусетским технологическим институте, Калифорнийским университете (США), Дрезденским техническим университете (Германия), Сеульским национальным университете (Южная Корея), Forschungslaboratorien der Siemens (Германия), Schneider Electric (Франция), ABB Group (Швейцария), ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Российская Федерация), Технологическом университете имени Шарифа, Технологическом университете имени Амира Кабира (Исламская Республика Иран), Ташкентском государственном техническом университете и Институте энергетических проблем (Узбекистан) и др.

Ряд известных зарубежных ученых внесли большой вклад в решение таких вопросов, как создание методов и моделей определения прогнозных

показателей потребления электроэнергии на промышленных предприятиях и совершенствование существующих, в том числе D.V.Benn, K.D.Lyuis, S. Makridakis, R.E.Kalman, C.E.Shannon, И.В.Гофман, В.И.Вейц, А.А.Тайц, Б.И.Кудрин, В.К.Олейников, Г.В.Никифоров, Б.П.Белых, Б.И.Заславца, С.С.Новиков, Е.Ю.Сизганова, Л.С.Родина, И.В.Воронов, К.Л.Соломохо, И.М.Кирпичникова, Л.А.Саплин, В.В. Иванов, А.А.Филимонова и другие.

При решении научных проблем, таких как эффективное использование энергетических ресурсов на промышленных предприятиях и оптимизация режимов энергопотребления, разработка энергоэффективного режима работы на основе частотно-регулируемого электропривода были достигнуты значительные результаты нашими учеными: Хамудханов М.З., Камалов Т.С., Хашимов А.А., Аллаев К.Р., Захидов Р.А., Насиров Т.Х., Ситдииков Р.А., Арипов Н.М., Хошимов Ф.А., Алимхаджаев К.Т., Бобожанов М.К., Хамудханов М.М., Ишназаров О.Х., Каршибаев А.И., Тоиров О.З., Пирматов Н.Б. и другими.

Однако, несмотря на значительные достижения научные проблемы, связанные с разработкой модели, совершенствованием групповой системы управления ветрилляторами на основе частотно-регулируемого электропривода и разработкой алгоритма управления с учетом факторов влияющих на потребление электроэнергии из-за характеристики технологического процесса воздушного охлаждения в газотранспортном компрессоре недостаточно изучены.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан в рамках проектов ПТО-14-05 «Проведение энергоаудита (аудита) для подразделений АО «Узтрансгаз»» (2014-2015) и 68/15-2017 «Методика расчета стоимости услуг по передаче электрической энергии по транзитным сетям АО «Узтрансгаз»» (2017).

Цель исследования. Повышение энергоэффективности на основе регулируемого электропривода устройств воздушного охлаждения в газотранспортной компрессорной станции.

Задачи исследования:

анализ текущего состояния устройств воздушного охлаждения;
определение факторов, влияющих на потребление электроэнергии устройствами воздушного охлаждения и разработка модели потребления электроэнергии;

разработка энергоэффективной системы частотно регулируемого электропривода устройств воздушного охлаждения;

разработка математической модели частотно-регулируемой системы «асинхронный двигатель-вентилятор» на основе технологических факторов, влияющих на режим работы устройства воздушного охлаждения;

разработка алгоритма группового управления энергоэффективными

частотно-регулируемыми устройствами воздушного охлаждения.

Объектом исследования является устройства воздушного охлаждения в газотранспортной компрессорной станции.

Предметом исследования являются процессы потребления электроэнергии устройствами воздушного охлаждения в газотранспортной компрессорной станции.

Методы исследования. Методологическую основу работы составляют современные методы теории электропривода, математического моделирования электромеханических систем, математической статистики, хранения и обработки данных, комбинированный метод определения энергоэффективности и энергоемкости производства, статистические и аналитические методы расчета результатов промышленных испытаний разработанных моделей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены факторы, влияющие на потребление электроэнергии устройствами воздушного охлаждения на основе корреляционно-регрессионного анализа и разработана математическая модель;

разработан энергоэффективный режим работы устройства воздушного охлаждения на основе частотно-регулируемого электропривода;

усовершенствована математическая модель частотно-регулируемой системы «асинхронный двигатель-вентилятор» на основе технологических факторов, влияющих на режим работы устройств воздушного охлаждения;

усовершенствован алгоритм управления устройствами воздушного охлаждения на основе группового управления и разработана структурная схема системы «асинхронный двигатель-вентилятор»;

усовершенствован метод регулирования режимов работы устройства воздушного охлаждения на основе учета изменяющейся температуры наружного воздуха, относительной влажности, давления и температуры газа .

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан метод расчета параметров потребления электроэнергии устройствами воздушного охлаждения, в частности потребления электроэнергии и ее удельного расхода на основе результатов экспериментальных исследований, проведенных на исследовательском объекте;

определены требования к устройствам воздушного охлаждения и регулируемым электроприводам технологического процесса;

разработаны критерии управления, основанное на адаптации устройств воздушного охлаждения к внешней температуре и сезонным показателям.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что полученные результаты и их взаимозависимость основаны на внедрении в производство, а также на совместимости теоретических и расчетно-экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке энергоэффективного режима работы охлаждающего устройства и

алгоритма управления с учетом факторов, влияющих на потребление им электроэнергии, разработке диапазона регулирования вентиляторов в зависимости от уровня внешней температуры.

Практическая значимость исследования характеризуется тем, что на основе частотно-регулируемого электропривода устройства воздушного охлаждения можно регулировать количество и скорость вращения вентиляторов в соответствии с объемом и массой газа, проходящего через теплообменник.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов по повышению энергоэффективности на базе регулируемого электропривода устройства воздушного охлаждения в газотранспортной компрессорной станции:

внедрен алгоритм энергоэффективного группового управления устройствами воздушного охлаждения на предприятии АО «Узтрансгаз» (справка №04-17/1-41 АО «Узтрансгаз» от 13 мая 2020 года). В результате получена возможность сокращения потери электроэнергии компрессоров на 5-7% ;

внедрен метод группового частотного регулирования для устройств воздушного охлаждения на предприятии АО «Узтрансгаз» (справка № 04-17/1-41 АО «Узтрансгаз» от 13 мая 2020 года). В результате получена возможность увеличения срока службы двигателей охлаждающих устройств на 6% ;

внедрен алгоритм управления устройствами воздушного охлаждения на предприятии АО «Узтрансгаз» (справка № 04-17/1-41 АО «Узтрансгаз» от 13 мая 2020 года). В результате получена экономическая эффективность в размере 255670000 (двести пятьдесят пять миллион шестьсот семьдесят тысяч) сум в год за счет сокращения потребления электроэнергии.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 7 научно-технических конференциях, в том числе на 4 международных и на 3 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 5 научных статей, из них 3 в республиканских и 2 в международных научных журналах. Получено 1 Свидетельство о регистрации программного ый продукты для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключение, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 112 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, цель и задачи проведенного 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, результаты апробации работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «Состояние и перспективы газоперекачивающей компрессорной станции», рассматриваются состояние и перспективы развития компрессорных станций и устройств охлаждения в мире и Узбекистане, а также тенденции развития использования современных технологий, в том числе перспективы внедрения технологий частотного регулирования в газотранспортных компрессорных станциях и устройств охлаждения в мире.

Рассмотрен уровень использования систем автоматического управления компрессорной станцией системы магистральных газопроводов Узбекистана, обеспечивающий гибкость систем воздушного охлаждения при сезонных и суточных нагрузках. Проанализированы сезонные изменения загрузки устройств воздушного охлаждения (УВО) компрессорных станций в течение года.

На рисунке 1, на примере газоперекачивающей компрессорной станции нашей республики представлена энергетическая характеристика – расход электрической энергии и удельная норма расхода электроэнергии на транспортировку газа

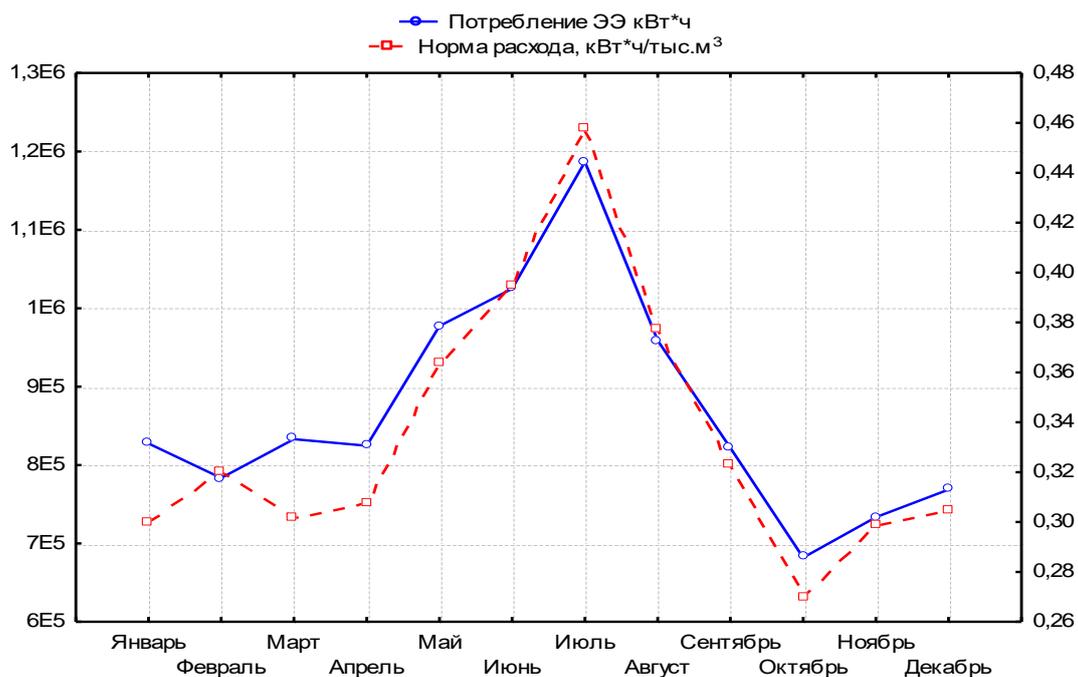


Рис. 1. Энергетическая характеристика газоперекачивающей компрессорной станции

Охлаждение сжатого газа в компрессорных станциях осуществляется в УВО. Количество охлажденного газа определяется количеством устройств, выбранных для обеспечения стабильности линии и повышения безопасности изоляции труб и ее пропускной способности. Определено, что сжатый газ обычно может быть понижен от температуры атмосферного воздуха до средней температуры 10-12°C.

По результатам экспериментальных исследований, наибольший расход электроэнергии соответствует технологическому процессу, на который приходится 97,56 % от общего расхода электрической энергии, в том числе на аппараты воздушного охлаждения приходится 65,97%. Таким образом, наиболее энергоемким оборудованием являются электродвигатели аппаратов воздушного охлаждения газа с коэффициентом загрузки 0,58 - 0,83.

Во второй главе диссертации под названием «**Повышение эффективности использования электрической энергии в установках воздушного охлаждения газоперекачивающей компрессорной станции**» было проанализировано влияние внутренних технических воздействий и внешних факторов на энергоэффективную работу устройств воздушного охлаждения.

Далее представлены потребление электроэнергии УВО (рис. 2) и объем перекачиваемого газа компрессорной станцией (рис. 3).

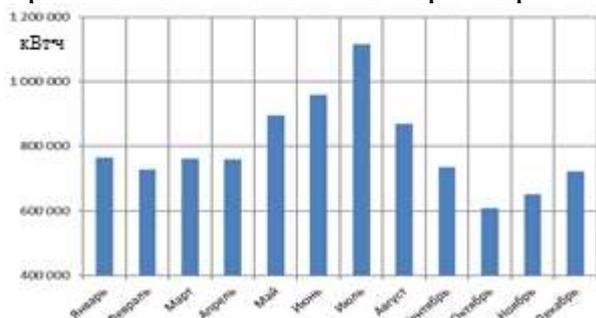


Рис. 2. Потребление электроэнергии УВО

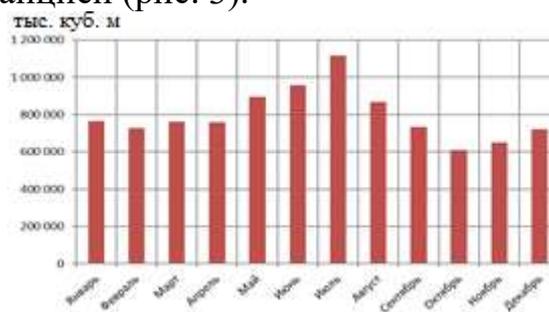


Рис. 3. Объем перекачиваемого газа компрессорной станцией

Анализ входных и выходных потоков процесса охлаждения газа необходим для выбора режимов работы и создания модели потребления электроэнергии. Результаты экспериментальных исследований, а также анализ литературных источников и опыт промышленной эксплуатации позволили определить, что основным выходным параметром (регулируемой величиной) в процессе охлаждения газа является температура газа (T , °C). Этот параметр контролируется. Входными параметрами, определяющими режим работы газоохлаждающих аппаратов воздушного охлаждения, являются электрическая мощность (Вт, кВт·ч и давление газа (P , Па). Возмущающими параметрами являются внешняя температура (t , °C) и относительная влажность воздуха r , %. Кроме того, на количество потребляемой электроэнергии влияют качественные показатели электроэнергии, а также давление газа, относительная влажность, температура воздуха и температура газа. Соответственно этому на рис. 4 представлена структура воздействующих процессов на устройство воздушного охлаждения газа.

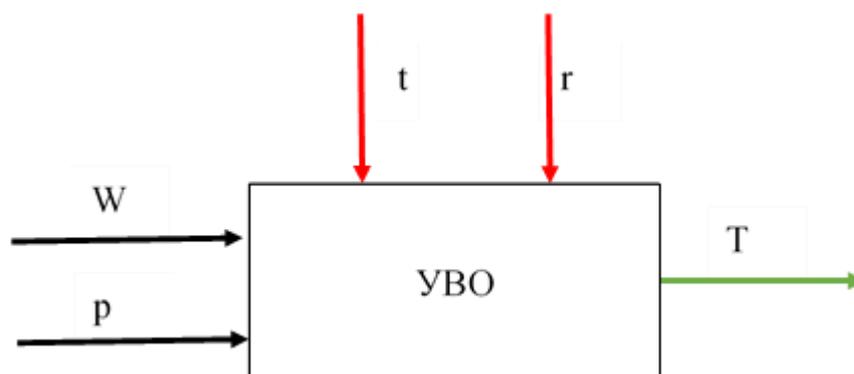


Рис. 4. Структура воздействующих процессов на устройство воздушного охлаждения газа

Соответственно, на рис. 5 представлена гистограмма распределения потребленной электроэнергии, а на рис. 6 — промежуточная диаграмма шкалы потребленной электроэнергии.

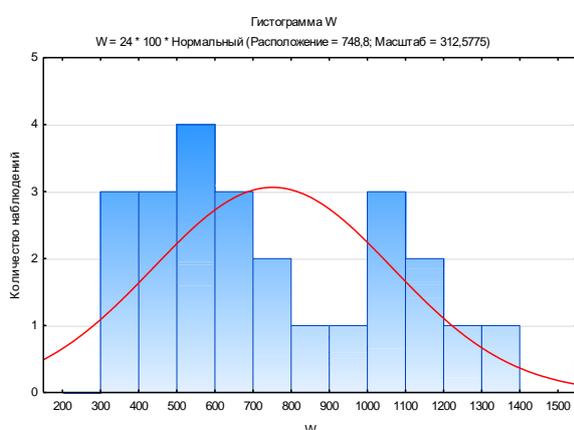


Рис. 5. Гистограмма распределения потребленной электроэнергии

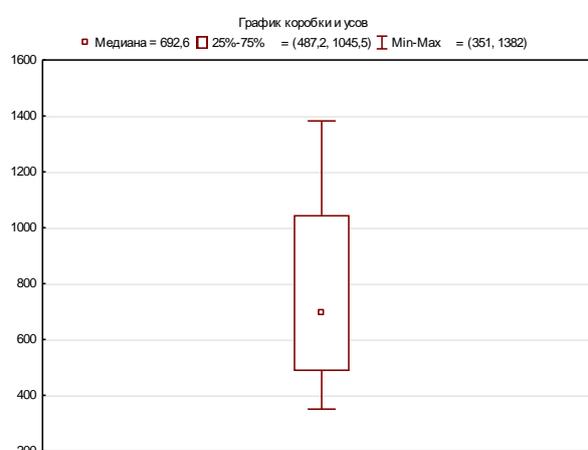


Рис. 6. Промежуточная диаграмма шкалы потребленной электроэнергии

Как уже отмечалось, потребление электроэнергии аппаратами воздушного охлаждения определяется выражением

$$W = f(T, t, r, p). \quad (1)$$

Видно, что несколько независимых переменных влияют на потребление электроэнергии устройствами воздушного охлаждения. Соответственно, мы используем метод множественной регрессии.

Диаграмма Парето использовалась для оценки степени влияния этих факторов на потребляемую мощность воздухоохладителя при охлаждении газа. По результатам анализа установлено, что наибольшее влияние на электропотребление ВСК оказывают температура воздуха, давление газа и влажность воздуха (рис. 7).

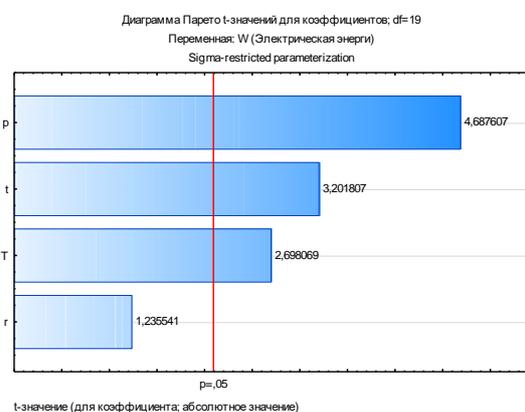


Рис. 7. Диаграмма Парето

На этой диаграмме оценки эффекта дисперсионного анализа расположены по абсолютной величине значений: от наибольшего к наименьшему. Каждый размер эффекта представлен столбиком, а столбцы пересекаются линией, указывающей, насколько большим должен быть эффект (т. е. какой длины должен быть столбец), чтобы он был статистически значимым. Из рисунка 7 видно, что наибольшее влияние на расход электроэнергии оказывает давление газа (4,68). На основании анализа экспериментальных данных установлено, что степень влияния относительной влажности на потребляемую мощность незначительна (1,25).

Задачу регрессионного анализа рекомендуется разделить на несколько этапов: предварительная обработка; выбрать тип уравнений регрессии; расчет коэффициентов уравнения регрессии; проверка соответствия построенной функции результатам наблюдения. В таблицах 1 и 2 представлен регрессионный анализ факторов, влияющих на потребление электроэнергии.

Таблица 1

Оценка параметризации с ограничениями по параметру Sigma

Эффект	Оценки параметров Сигма-ограниченная параметризация									
	Параметр	Стан. откл	t	p	-95.00% Пред.пок	+95.00% Пред.пок	Коэф.	Стан. ошибка	-95.00% Пред.пок	+95.00% Пред.пок
Перехват	-24620,3	5091,102	-4,83594	0,000115	-35276,1	-13964,5				
t	19,5	6,099	3,20181	0,004695	6,8	32,3	0,395192	0,123428	0,136855	0,653529
r	11,9	9,604	1,23554	0,231689	-8,2	32,0	0,135790	0,109903	-0,094240	0,365819
p	589,3	125,715	4,68761	0,000160	326,2	852,4	0,385630	0,082266	0,213445	0,557814
T	57,1	21,167	2,69807	0,014248	12,8	101,4	0,400387	0,148397	0,089787	0,710986

Таблица 2

Тестирование всей модели SS и остатка SS

Зависимая Переменная	Тест SS цельной модели против SS остатка										
	Множест. R	Множест. R?	Скор. R?	Модель SS	Моде ль df	Модель MS	Остат SS	Оста т df	Остат MS	F	p
W	0,988400	0,976935	0,972079	2195375	4	548843,7	51832,76	19	2728,040	201,1861	0,00

F-критерий полученного уравнения регрессии значим на уровне 5%. Вероятность нулевой гипотезы (p-уровень) значительно меньше 0,05, что указывает на общую значимость уравнения регрессии.

Таким образом, в результате регрессионного анализа было получено следующее уравнение расхода электроэнергии в зависимости от температуры наружного воздуха t, относительной влажности r, давления газа p и температуры газа T

$$W = 19,5t + 11,9r + 589,3p + 57,1T - 24620,3. \quad (2)$$

Коэффициенты полученного уравнения линейной регрессии считаются значимыми. Тестируемая модель считается адекватной. Модель приводит к 95% доверительному интервалу, описывающему ряд данных.

В третьей главе диссертации под названием «**Регулирование режима работы устройств воздушного охлаждения в газоперекачивающих компрессорных станциях**» представлено функционально ориентированная математическая модель для решения задачи оптимизации режимов работы в

стационарном режиме по критерию минимального энергопотребления электродвигателя вентилятора устройства воздушного охлаждения.

Температура газа, поступающего во входной патрубок газового потока по секции теплообменника УВО, равна $T_{вх}$. Температура выходного коллектора газа, проходящего через теплообменник, равна $T_{вых.i}$. Этими показателями являются расход газа Q_{zi} и разность температур газа для каждого из параллельных работающих УВО.

$$\Delta T_i = T_{вых.i} - T_{вх} \quad (3)$$

С учетом уравнения теплового баланса разность температур на УВО можно выразить следующим образом:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_1 Q_{z1} + \Delta T_2 Q_{z2} + \dots + \Delta T_l Q_{zl}}{Q_z} = \frac{1}{Q_z} \sum_{i=1}^l \Delta T_i Q_{zi} \quad (4)$$

В результате, на рис. 8 представлена схема процесса охлаждения газа УВО.

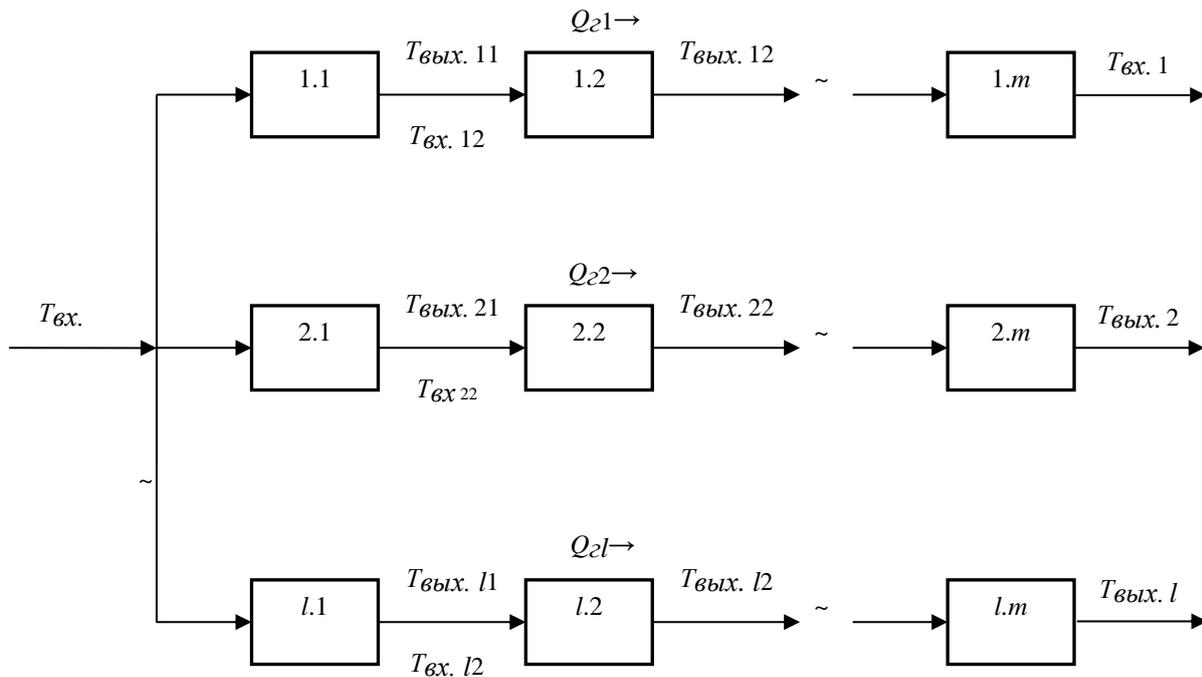


Рис. 8. Схема процесса охлаждения газа УВО

В связи с тем, что скорость воздушного потока V_{ij} напрямую связан с зависимостью частоты вращения n_{ij} может быть выражена следующим образом.

$$P_{ij} = P_{ij \text{ ном}} \left(\frac{n_{ij}}{n_{ij \text{ ном}}} \right)^3 \quad (5)$$

В то же время частота вращения и воздушные потоки имеют граничные

значения, которые приведены ниже

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ijном}; 0 \leq V_{ij} \leq V_{ijном}. \quad (6)$$

Общая мощность двигателя вентилятора

$$P = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m P_{ij}, \quad (7)$$

$$\Delta T = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \Delta T_i. \quad (8)$$

Принимая во внимание вышеизложенное, можно сформулировать задачу оптимизации стационарного режима работы системы УВО, как задачу минимизации целевой функции

$$P_{\Sigma} = P_{ном1} \left(\frac{n_1}{n_{ном1}} \right)^3 + P_{ном2} \left(\frac{n_2}{n_{ном2}} \right)^3 \rightarrow \min. \quad (9)$$

Среднее значение коэффициента сжимаемости природного газа определяется по следующей формуле

$$z_{\text{ср}} = \frac{z_{1H} + z_{2H}}{2}, \quad (10)$$

где z_{1H} , z_{2H} — коэффициенты сжатия на входе и выходе центробежных компрессоров. Коэффициент сжимаемости природного газа находится по следующим формулам

$$z_{1H} = 1 - \left[(10.2 \cdot P_{1H} - 6)(0.345 \cdot 10 - 2 \cdot D_x - 0.446 \cdot 10 - 3) + 0.015 \right] \cdot [1.3 - 0.0144 \cdot (T_{1H} - 283.2)], \quad (11)$$

$$z_{2H} = 1 - \left[(10.2 \cdot P_{2H} - 6)(0.345 \cdot 10 - 2 \cdot D_x - 0.446 \cdot 10 - 3) + 0.015 \right] \cdot [1.3 - 0.0144 \cdot (T_{2H} - 283.2)], \quad (12)$$

здесь D_x — диаметр лопасти; P_{1H} — давление воздуха на входе УВО; P_{2H} — давление воздуха на выходе УВО; T_{1H} — температура воздуха на входе УВО; T_{2H} — температура воздуха на выходе УВО.

На рисунке 9 показана модель системы УВО Matlab / Simulink

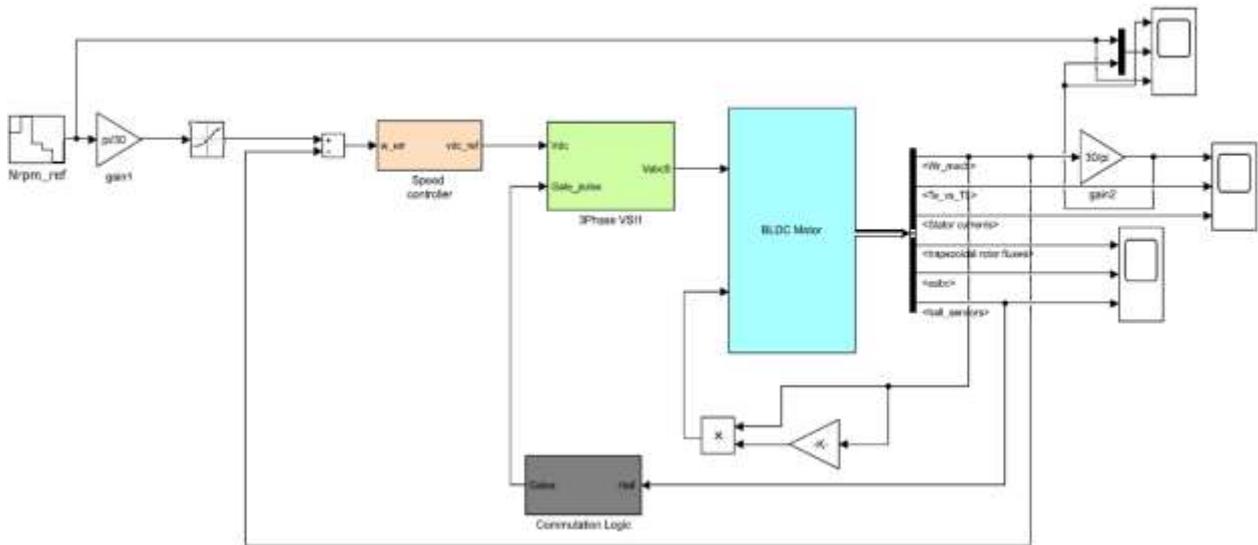


Рис. 9 Модель системы УВО

На рисунках 10 - 14 показаны режимы работы УВО, в том числе на рисунке 10 - потребляемая мощность при регулировании системы УВО; на рисунке 11 - изменение температуры воздуха в системе; на рисунке 12 - изменение объем воздушного потока УВО; на рисунке 13 - величина давления, создаваемого УВО; на рисунке 14 – характеристики мотора УВО.

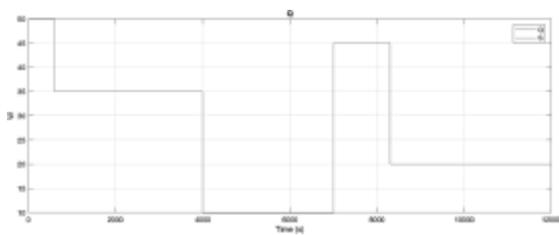


Рис. 10. Потребление активной мощности в системе УВО

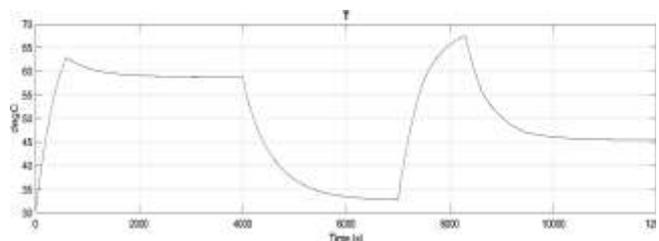


Рис. 11. Изменение температуры воздуха в системе УВО

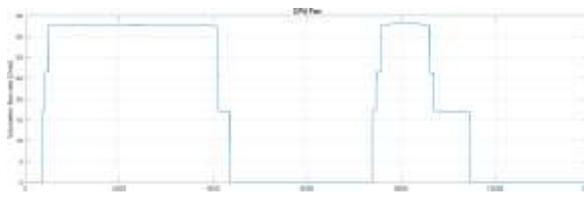


Рис. 12. Объем воздушного потока УВО

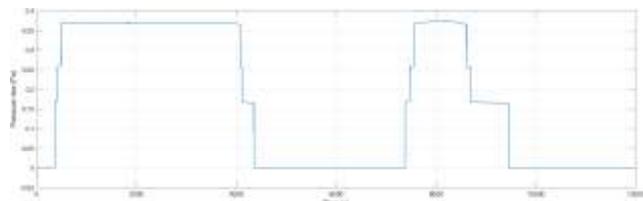


Рис. 13. Величина давления создаваемого УВО

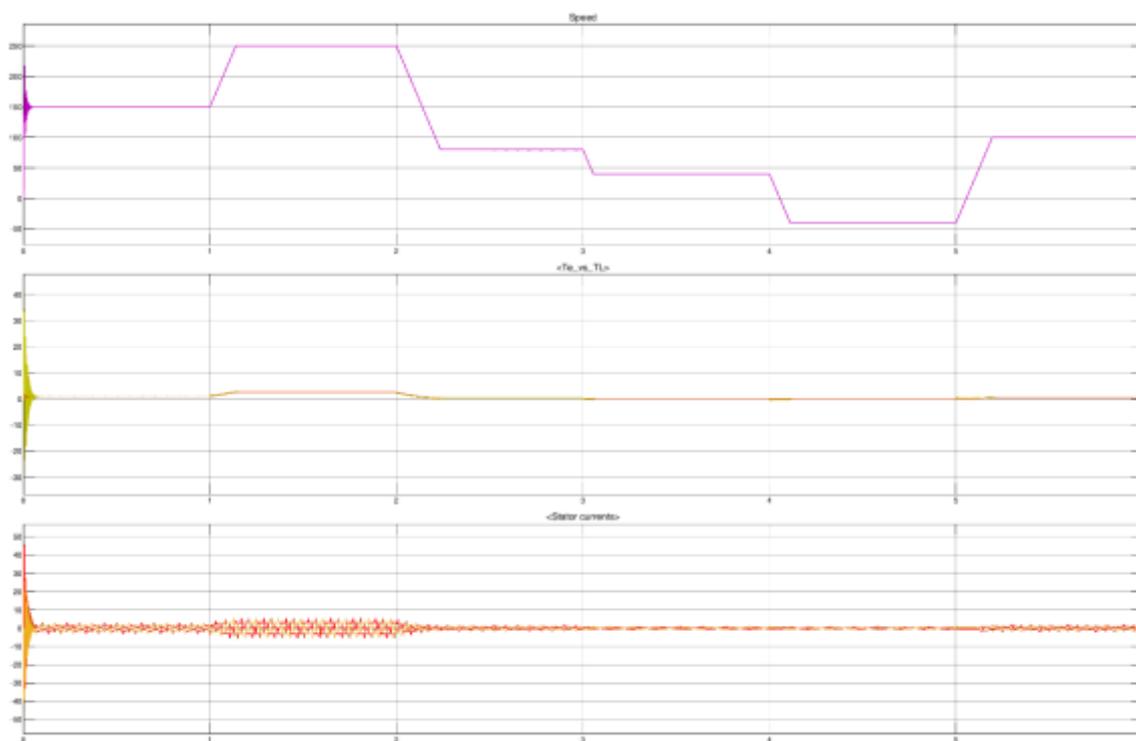


Рис. 14. Характеристики мотора УВО

Далее, в таблице 3 можем наблюдать влияние скорости двигателя вентилятора УВО на КПД и энергопотребление УВО.

Таблица 3

Влияние скорости двигателя вентилятора УВО на КПД и энергопотребление УВО

Скорость вращения	n_H	3050	3069	3099	3139	3198	3218	3238
Энергопотребление	$Q_{\text{вк}}$	203	205	207	209	212	215	216
Коэффициент полезного действия	k_H	0,95	0,93	0,9	0,86	0,8	0,78	0,76

Результаты показали, что максимальные отклонения зависимостей частотных режимов работы УВО обычно не превышают 7 %, а среднее значение коэффициента передачи объекта управления составляет 1-2 0С, а постоянная времени $T_0=150$ секунд.

В четвертой главе диссертации «**Энергоэффективный режим работы устройства воздушного охлаждения в газокompрессорной станции**» исследован процесс теплообмена, который является основным фактором, влияющим на энергоэффективность устройств воздушного охлаждения. Рассмотрена математическая модель процесса теплообмена. Имеются передаточные функции объекта по изменению объемного расхода охлаждающего воздуха и газа и температуры воздуха на входе в устройство.

Снижение температуры газа позволяет увеличить проходимость трубопровода и сэкономить топливный газ для работы газонасосных устройств. Исследования показывают, что среднее снижение температуры транспортируемого газа до 3°C увеличивает проводимость охлаждающей

трубы на 1%. Процесс охлаждения транспортируемого газа приводит к повышению эффективности работы станции и магистральных газопроводов.

Процесс охлаждения транспортируемого газа повышает эффективность работы станции и магистральных газопроводов.

Процессы тепломассопереноса, происходящие в теплообменнике, описываются системой нелинейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} G_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{\chi} \cdot (T_{\text{ч.}\Gamma} - T_{\text{к.}\Gamma}) + m_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot \frac{dT_{\Gamma}}{dt} + \alpha_{\Gamma} \cdot F_{\text{ич}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{тр}}) &= 0 \\ m_{\text{тр}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot \frac{dT_{\text{тр}}}{dt} - \alpha_{\Gamma} \cdot F_{\text{ич}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\text{тр}}) + \alpha_{\chi} \cdot F_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{тр}} - T_{\chi}) &= 0 \\ G_{\chi} \cdot \rho_{\chi} \cdot C_{\chi} \cdot (T_{\chi} - T_{\text{к.}\chi}) &= \alpha_{\chi} \cdot F_{\text{нар}} \cdot (T_{\text{тр}} - T_{\chi}) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где $G_{\text{г}}$ и $G_{\text{в}}$ — расходы газа и воздуха; $\rho_{\text{г}}$ и $\rho_{\text{в}}$ — плотность газа и воздуха; $C_{\text{г}}$ и $C_{\text{в}}$ — удельные теплоемкости газа и воздуха; $m_{\text{г}}$ и $m_{\text{тр}}$ — масса газа и трубы; $\alpha_{\text{г}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициент теплоотдачи от газа и воздуха к стенке теплообменных труб; $F_{\text{ич}}$ и $F_{\text{нар}}$ — внутренняя и внешняя поверхности теплообмена; $T_{\text{г}}$ и $T_{\text{в}}$ — средняя температура на выходе из аппаратов газового и воздушного охлаждения; $T_{\text{г.к}}$ и $T_{\text{в.к}}$ — средние значения температуры газа и воздуха на входе в аппарат воздушного охлаждения; $T_{\text{тр}}$ — средняя температура теплообменной трубы; t — время работы.

Далее, на основе аналитического метода было определено, что передаточная функция УВО выглядит следующим образом

$$W_y(p) = \frac{0,261}{9,75 \cdot p^2 + 841,679 \cdot p - 1} \quad (14)$$

где p — оператор Лапласа.

На рис. 15 показана структура управления УВО, а на рис. 16 — параллельная система управления системой УВО.



Рисунок 15. Структура управления УВО

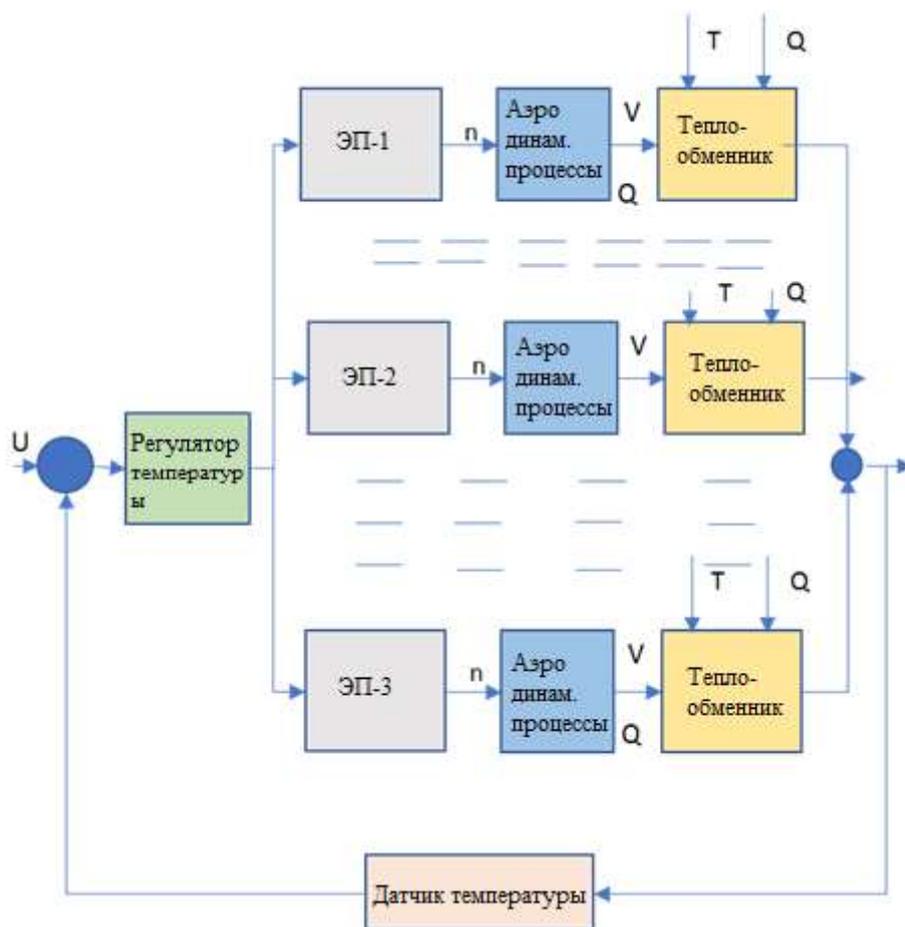


Рис. 16. Параллельная система управления системой УВО

Повышение качества регулирования достигается за счет того, что температура начала гидратообразования регулируется по изменению давления газа в УВО. В связи с этим следует регулировать температурный диапазон УВО газа, в котором температура наружной стенки теплообменных труб нижних рядов. Поддержание заданной температуры в этом диапазоне обеспечивает предотвращение гидратообразования в газотеплообменных трубах УВО и соблюдение требований технологического процесса. Таким образом поддерживается оптимальный режим работы аппаратов воздушного охлаждения природного газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов диссертационной работы «Повышение энергетической эффективности газоперекачивающих компрессорных станций» доктора философии (PhD) в области технических наук представлено следующее заключение:

1. Определено на основе анализа основных направлений повышения энергоэффективности асинхронного электропривода устройства воздушного охлаждения, что наиболее удобным способом обеспечения постоянной температуры является применение частотно-регулируемого электропривода.

2. Выявлены факторы, влияющие на потребление электроэнергии устройствами воздушного охлаждения и разработана модель потребления электроэнергии. В результате можно определить расход электроэнергии устройствами воздушного охлаждения.

3. Разработана энергоэффективная частотно-регулируемая система электропривода устройств воздушного охлаждения. В результате можно определить энергоэффективность электромеханической системы при различных частотах энергетических показателей.

4. Разработана математическая модель системы «асинхронный двигатель – вентилятор» на основе технологических факторов, влияющих на режим работы устройств воздушного охлаждения. В результате получена возможность разработать управляемую структурную схему устройства воздушного охлаждения.

5. Разработан алгоритм группового управления частотно-регулируемыми устройствами воздушного охлаждения. В результате за счет плавной адаптации системы «двигатель-вентилятор» к нагрузке удается продлить ресурс двигателя до 6 %.

6. Усовершенствован способ регулирования режимов работы устройств воздушного охлаждения в зависимости от относительной влажности, давления и температуры газа. В результате появилась возможность снижения потребления электрической энергии устройств воздушного охлаждения газа до 7%.

7. Внедрен метод группового частотного регулирования для устройств воздушного охлаждения на предприятии АО «Узтрансгаз». В результате получена экономическая эффективность в размере 255670000 (двести пятьдесят пять миллион шестьсот семьдесят тысяч) сум в год за счет сокращения потребления электроэнергии.

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS GRANT OF SCIENTIFIC
DEGREES IN THE PRESENCE DSc.02/30.12.2021.T.143.01
DIGITAL SCIENTIFIC COUNCIL**

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS**

HOSHIMOV URAL HOSHIMOVICH

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF GAS TRANSMISSION
COMPRESSOR STATIONS**

05.05.01 – Energy systems and complexes

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2022

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan un number № B2018.T1.PhD/T601

Dissertation has been prepared at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (ww.energetika.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net.uz).

Scientific supervisor:	Ishnazarov Oybek Khairilaevich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Karshybayev Askarbek Ilashevich doctor of technical sciences, professor Berdiev Usan Turdievich candidate of technical sciences, professor
Leading organization:	Tashkent State Technical University

The defense will take «__» _____ 2021 y. in _____ at the meeting of Scientific Council DSc 02/30.12.2021.T.143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. Address: 100076, Tashkent, Mukhtor Ashrafiy street 1-way, 9-A. Tel.: (99871) 283-23-08; fax: (99871) 283-23-08; e-mail: energetika_in@umail.uz.

The doctoral (DSc) dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Registration number _____). Address: 100076, Tashkent, Mukhtor Ashrafiy street 1-way, 9-A. Tel.: (99871) 283-23-08; fax: (99871) 283-23-08.

Abstract of the dissertation was distributed on «__» _____ 2022 year.
(mailing report № «__» on «__» _____ 2022 year).

Kh.M. Muratov
Chairman of scientific council for degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

K.Sh. Kadirov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of philosophy, Senior Scientific Researcher

Sh.V. Khamidov
Chairman of the scientific seminar under Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Assistant Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

Purpose of the study. Increasing energy efficiency based on a controlled electric drive of air-cooling devices in a gas transmission compressor station.

Research objectives:

To analyse the current status of air-cooled units;

Identification of factors affecting the electricity consumption of air-cooled units and development of an electricity consumption model;

Development of an energy-efficient system of frequency-controlled electric drive for air-cooling devices;

Development of a mathematical model of the frequency-controlled "induction motor-fan" system based on the technological factors affecting the operation mode of the air-cooling device;

development of an algorithm for group control of energy efficient frequency-controlled air-cooling devices.

The object of the study is air-cooling devices in a gas transmission compressor station.

Subject of research is the processes of electricity consumption by air-cooling devices in the gas-transportation compressor station.

Research methods. Methodological basis of work is made by modern methods of the theory of electric drive, mathematical modelling of electromechanical systems, mathematical statistics, storage and data processing, the combined method of determination of power efficiency and power intensity of manufacture, statistical and analytical methods of calculation of results of industrial tests of the developed models.

Scientific novelty of the research consists in the following:

the factors influencing energy consumption by air-cooling devices have been determined on the basis of mathematical statistics and a mathematical model has been developed;

We have developed an energy efficient mode of air-cooling device operation based on the frequency-controlled electric drive;

The mathematical model of the frequency-controlled system "induction motor-fan" based on the technological factors influencing the operation mode of the air-cooling devices was improved;

The control algorithm for air-cooling devices on the base of group control has been improved and the structural scheme of the system "induction motor-fan" has been worked out;

The method of regulating the operation modes of the air-cooling device based on the account of the changing outside air temperature, relative humidity, pressure and gas temperature has been improved.

The practical results of the research are as follows:

A method of calculating the parameters of electricity consumption by air-cooling devices, in particular electricity consumption and its specific consumption based on the results of experimental studies conducted at the research facility has

been developed;

requirements for air-cooling devices and regulated electric drives of the technological process were determined;

Control criteria based on adaptation of air-cooling devices to external temperature and seasonal indicators were developed.

Implementation of research results. Based on the obtained scientific results on energy efficiency improvement on the basis of regulated electric drive of air cooling device in gas transmission compressor station:

Algorithm of energy efficient group control of air cooling devices at «Uztransgas» JSC has been implemented (Certificate No. 04-17/1-41 of «Uztransgas» JSC dated May 13, 2020). As a result it is possible to reduce the electric energy losses of compressors by 5-7% ;

The group frequency regulation method for air cooling devices was implemented at «Uztransgaz» JSC (reference No. 04-17/1-41 of May 13, 2020). As a result it is possible to increase service life of motors of cooling devices by 6% ;

The air cooling unit control algorithm has been implemented at «Uztransgaz» JSC (Certificate No. 04-17/1-41 of May 13, 2020). As a result, the economic efficiency in the amount of 255670000 (two hundred and fifty-five million six hundred and seventy thousand) sums a year was received due to the reduction of the electric power consumption.

Approval of the results of the study. The results of the study have been reported and discussed at 7 scientific-technical conferences, including 4 international and 3 republican conferences.

Publication of the research results. On the thesis theme have been published 17 scientific works, including 5 scientific articles, 3 of them in the national and 2 in international scientific magazines. One Certificate of registration of software products for a computer has been obtained.

Structure and scope of the thesis. The dissertation structure consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The thesis consists of 112 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Ishnazarov O.X., Hoshimov U.H. Improving the efficiency of the air-cooling system of gas pumping compressor stations./ International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN: 2356-0328 Vol. 5, Issue 5, May 2019, pp. 9370-9374. (05.00.00.; №8)

2. Ишназаров О.Х., Ҳошимов У.Ҳ. Возможности повышения эффективности системы охлаждения газоперекачивающих компрессорных станций.// НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ФерПИ 2019 . Спец.вып. № 1 стр. 94-99. (05.00.00.; №20)

3. Ishnazarov O.X., Hoshimov U.H., Khushiev S.M. Issues of effective provision of consumers with water and energy resources.// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 5, Issue 11, November 2018. pp. 7307-7311. (05.00.00.; №8)

4. Ҳошимов У.Ҳ. Компрессор станциялари энергия ресурсларига бўлган харажатларни қисқартириш.// Информатика ва энергетика муаммолари. Журнал 5-сон.- Тошкент: 2017. 73-80 б. (05.00.00.; №21)

5. Хушиев С.М., Ҳошимов У.Ҳ., Қодиров Д.Б. Асинхрон моторларининг фойдаланиш самарадорлигини ошириш.// Тошкент давлат техника университети хабарлари.-Тошкент: 2016. №1. 56-61 б. . (05.00.00.; №16)

II бўлим (II часть; II part)

6. Ишназаров О.Х., Ҳошимов У.Ҳ., Хушиев С.М. Электр узатмали компрессор станцияларини газ трубинали турлари билан техник имкониятларини баҳолаш.//Агроиқтисодиёт илмий-амалий агроиқтисодий журнал (махсус сон).-Тошкент: 2020. 359-364 б.

7. Ишназаров О.Х., Ҳошимов У.Ҳ., Хушиев С.М. Ҳаволи совитиш қурилмасини гуруҳларга ажратиб бошқариш ёрдамида энергия тежамкорлигига эришиш.// Агроиқтисодиёт илмий-амалий агроиқтисодий журнал (махсус сон).-Тошкент: 2020. 248-251 б.

8. Ишназаров О.Х., Ҳошимов У.Ҳ., Хушиев С.М. Асинхрон электр моторларининг ишдан чиқиш ҳолатларини камайтириш./ Агроиқтисодиёт илмий-амалий агроиқтисодий журнал(махсус сон).-Тошкент: 2020. 342-347 б.

9. Ҳошимов У.Ҳ. Газ ҳаво совитиш қурилмаларини ишлаши учун таъсир этувчи омилларига мослашган режим орқали энергия тежамкорликга эришиш.// Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы. -Қарши: 2021. 97-99 б.

10. Ҳошимов У.Ҳ. Ҳаволи совитиш қурилмалар тизимини гуруҳлашган частотавий бошқариш усулини жорий этган ҳолда энергия тежамкорликга эришиш.// Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и

инновационные подходы. -Қарши: 2021. 99-102 б.

11. Хошимов У.Х. Система управления аппаратов воздушного охлаждения.// Международная научная конференция «Научно-практические исследования», 7-4 (30), Россия, Пенза: 2020, ст.17-19.

12. Ishnazarov O.X., Hoshimov U.H. Group control of air-cooled gas apparatuses // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, Instrumentation Technology and Environmental Engineering Phys.: Conf. Ser. 2094 (2021) 052051 (SCOPUS)

13. Ishnazarov O.X., Hoshimov U.H. Mathematical modeling of electric consumption of the gas cooling process.// E3S Web Conf., 264 (2021) 04088 (SCOPUS).

14. Ишназаров О.Х., Хошимов У.Х. Газни узатиш компрессор станцияси курилмаларининг электр энергия истеъмолининг тежаш масаласи // Международная научно конференция «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса», Навоий, 2020 г. 511-513 с.

15. Хушиев С.М. Хошимов У.Х. Корхоналарнинг насос станцияларида частотали ўзгартигичлардан фойдаланган ҳолда иқтисодий тежам-корликга эришиш.// Международная научно-техническая конференция «Инновация-2013». Тошкент, 2013 й. 111-113 б.

16. Ишназаров О.Х., Хошимов У.Х. Компенсаторы реактивной мощности для промышленного предприятия.// Международная научно-практическая конференция. -Кемерово: 2014. Ст. 96-98.

17. Хушиев С.М., Қодиров Д.Б., Хошимов У.Х. Расчет величины расхода электроэнергии на металлургических предприятиях // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 02953, 2012 год.

Босмахона лицензияси:



9338

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 100 дона. Буюртма № 50/22.

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