

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

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

МИРХОНОВ УТКИР КАХРАМОНОВИЧ

**БОШҚАРИЛУВЧИ ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАР АСОСИДА
КОМПРЕССОР ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Тошкент – 2023

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Мирхонов Уткир Кахрамонович

Бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини ошириш 3

Мирхонов Уткир Кахрамонович

Повышение энергоэффективности компрессорных установок на основе управляемых электроприводов..... 23

Mirkhanov Utkir Kahramonovich

Improving the energy efficiency of compressor devices based on controlled electric drives..... 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ 45
List of published works 45

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

БУХОРО МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

МИРХОНОВ УТКИР КАХРАМОНОВИЧ

**БОШҚАРИЛУВЧИ ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАР АСОСИДА
КОМПРЕССОР ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ЭНЕРГИЯ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Тошкент – 2023

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2.PhD/T1618 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Бухоро муҳандислик-технология 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: **Тоиров Олимжон Зувурович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Қаршибаев Асқарбек Илашевич**
техника фанлари доктори, профессор
Ҳошимов Урал Ҳошимович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот: **Фарғона политехника институти**

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида ҳузуридаги DSc.02/30.12.2021.T.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 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 2023 йил «__» _____ куни тарқатилди.

(2023 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 (PhD), катта илмий ходим

О.Х.Ишназаров
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда энергия самарадорлиги иқтисодий, ижтимоий ҳамда экологик соҳаларда барқарор ривожланиш мақсадларига эришишнинг муайян воситаларидан бири бўлиб келмоқда. Жумладан, табиий газга бўлган талаб саноат ва электр энергетика соҳаларида тез суратларда ўсиб бормоқда. Келгуси 5 йил ичида газга бўлган жаҳон талаби йилига ўртача 1,4 % ўсиши ва 2040 йилга бориб 5400 млрд м³ га етиши кутилмоқда¹. Ушбу эҳтиёжларни ҳисобга олган ҳолда, газни узатиш компрессор станцияларининг иш режимларини оптималлаштириш, газ узатиш жараёнида бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш, ҳамда электромеханик тизимнинг энергия самарадорлигини аниқлаш методикасини ва алгоритмининг ишлаб чиқиш, агрегатнинг энергетик кўрсаткичларини баҳолаш ва моделлаштириш асосида энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда газ ҳайдаш агрегатлари қурилмаларининг техник кўрсаткичларига ташқи омиллар ва иш тавсифларининг таъсирини ҳамда ускуналарнинг энергетик самарадорлиги ва оптимал иш режимларини аниқлаш, газни узатиш жараёнидаги частотавий ростланадиган электр юритмасини динамик ва статик режимларида энергия тежамкор усулларни ишлаб чиқишга қаратилган қатор илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, газни узатиш жараёнида частотавий ростланадиган синхрон двигателларни бошқариш асосида агрегатдан газнинг чиқиш ҳароратини мақбул даражада ушлаб туриш, синхрон двигателларни ростлаганда оптимал меъзонларни аниқлаш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Шу билан бир қаторда, технологик жараён хусусиятидан келиб чиқиб, газни ҳайдаш агрегатларининг ростланадиган электр юритмаларини бошқариш меъзони ва усулини ишлаб чиқиш, ростланадиган электр юритманинг статик ва динамик барқарорлигини таъминлаш ҳамда амалиётга жорий этиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда газни узатиш жараёнидаги сарфланадиган энергия истеъмолини камайтириш орқали энергия самарадорлигини ошириш, янги энергия тежамкор технологияларни яратиш, электромеханик тизимларни технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда комплекс бошқариш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этиш бўйича кенг кўламли ислохотлар олиб борилмоқда. 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 параметрларни эътиборга олган ҳолда газ ҳайдаш агрегатининг электр юритмасини автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-

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

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

60-сон «2022 - 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон «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-сон «Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир кўшимча 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 2 «Энергетика, энерготехкорлик ва муқобил энергия манбалари» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Магистрал газ қувурлари тизимидаги компрессор станциялари газ ҳайдаш агрегатларида энергия ресурсларидан самарали фойдаланиш масалалари, газ ҳайдаш агрегатларини меъёрий кўрсаткичларга асосланган автоматик бошқариш тизимларини такомиллаштириш бўйича бир қатор хорижий олимлар, жумладан В.К. Kumar, М.Малиновски, L.G. Franquelo, L.M. Tolbert, J. Rodriguez, S. Kouro, D.V. Benn, М.А. Perez, R.E. Kalman, K.D. Lyuis, С.Е. Shannon, S.A. Makridakis, G.R. Schwartz, А.М. Абакумов, В.Н. Мосин, Л.А. Мигачева, С.В. Алимов ва бошқалар ҳисса қўшганлар. Иқтисодиёт тармоқларида, саноат корхоналари истеъмолчиларининг иш режимларини оптималлаштириш орқали энергия тежамкорликка эришиш, янги энергия тежамкор технологияларни жорий этиш бўйича маҳаллий олимларимиздан Р.А. Захидов, К.Р. Аллаев, Т.Х. Насиров, Х.М. Муратов, Ф.А. Хошимов, Н.Ҳ. Бозоров, Н.Б. Пирматов, Н.Н. Садуллаев, А.И. Каршибаев ва бошқалар салмоқли натижаларга эришган.

Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегати қурилмалари юритмаларини автоматик бошқариш, компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати ростланувчи двигателларни қўллаш муаммоларини ҳал қилиш бўйича хорижий олимлардан А.С. Хлынин, О.В. Крюков, С.В. Михалев, А.Л. Жеребцов, А.В. Мигачев, Д.Г. Садиқов, Л.А.Зипман, И.И. Артюков, умумсаноат механизмларни частотали бошқариш, динамик ва иш режимларини бошқариш орқали энергия ва ресурс тежамкорликка эришиш, газни узатиш жараёнида компрессор қурилмалари юритмаларини бошқариш каби муаммоларни ҳал қилишда маҳаллий олимларимиздан М.З. Хамудханов, Т.С. Камалов, А.А. Хошимов, Н.М. Арипов, О.Х.Ишназаров, М.М. Хамудханов, О.З. Тоиров ва бошқалар илмий тадқиқотлар олиб боришган.

Шу билан бирга газ ҳайдаш агрегати қурилмаларидаги синхрон электр юритмаларни технологик талабларни эътиборга олган ҳолда бошқариш, электр энергия истеъмолига ва иш режимларига таъсир этувчи омилларни аниқлаш, бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмасининг энергия самарадорлигини ошириш масалалари етарлича

даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти ЎЗР ФА Энергетика ва автоматика институтининг илмий - тадқиқот ишлари режасига мувофиқ ФА-АЗ-90053 “Иқтисодиёт соҳаларининг энергияни кўп истеъмол қиладиган объектларида энергия сарфининг энерго-ресурс тежамкор режимларини ишлаб чиқиш” (2015-2017) ва Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг ИЛ-442105947 “Микро ГЭС ва ШЭС лардаги фаза роторли асинхрон генераторларнинг ўзгармас частотали стабил электр қувватини узатишини таъминловчи автоматик қурилма яратиш” (2022-2023) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини оширишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

газни узатиш жараёнида синхрон двигателли компрессор қурилмаларининг бошқариш усулларини, динамик иш режимларини, кўзғатиш тизимлари ва уларнинг автоматик ростлаш масалаларини таҳлил қилиш;

компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигателининг мавжуд кўзғатиш тизимини таҳлил қилиш асосида автоматик бошқарилувчи тиристорли кўзғатиш тизимини математик модели ва структура схемасини ишлаб чиқиш;

газ ҳайдаш агрегати реактив қувватни қоплаш компенсатори сифатида фойдаланиш учун турли иш режимларидаги юкламаларни эътиборга олган ҳолда синхрон двигателнинг кўзғатиш токини автоматик бошқариш орқали реактив қувватни қоплаш имкониятларини аниқлаш;

компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати частотавий ростланувчи синхрон двигателининг энергетик кўрсаткичларини технологик жараёнларни эътибор олган ҳолда таҳлил қилиш;

компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигателининг ишга тушириш режимларини турли бошқариш тизимларида таҳлил қилиш ва имитацион моделлаштириш;

газ узатиш жараёнида бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларнинг энергия самарадорлигига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш, ҳамда электромеханик тизимнинг энергия самарадорлигини аниқлаш методикасини ва алгоритминини ишлаб чиқиш;

газ узатиш жараёнида технологик ва эксплуатация омилларни эътиборга олган ҳолда қишки ҳамда ёзги иш режимларида компрессор қурилмалари энергия самарадорлигининг математик моделларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти газни узатиш жараёнидаги компрессор қурилмаларининг бошқарилувчи синхрон электр юритмаси олинган.

Тадқиқотнинг предмети компрессор қурилмаси синхрон электр юритмасининг энерготежамкор иш режимлари, кўзғатишни автоматик ростлаш тизими, электромеханик тизимни энергия самарадорлигини баҳолаш алгоритми ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида синхрон электр юритма назариясининг замонавий усуллари, маълумотларни қайта ишлаш ва сақлаш,

математик статистика, синхрон двигателларни математик моделлаштириш, газни сиқиш жараёнида энергия самарадорлиги ва сиғимдорлигини аниқлаш, ишлаб чиқилган математик моделларда олинган натижаларини статистик ва аналитик ҳисоблаш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

компрессор станциясидаги синхрон двигателнинг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизими асосида унинг математик модели ва структура схемаси ишлаб чиқилган;

газ ҳайдаш агрегатини реактив қувватни қоплаш компенсатори сифатида фойдаланиш учун турли иш режимларидаги юкламаларни эътиборга олган ҳолда синхрон двигателнинг қўзғатиш токини автоматик бошқариш орқали энергия тежамкор тизим ва реактив қувватни қоплаш имкониятини аниқловчи алгоритм ишлаб чиқилган;

ўзгарувчан бошқарув частотасида компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигатели энергетик кўрсаткичларининг математик моделлари бошқариш қонуниятлари асосида ишлаб чиқилган;

технологик жараёнларга таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, газни узатувчи компрессор станциясининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёрини аниқлаш асосида ишлаб чиқилган;

мавсумий иш режимларидаги компрессор қурилмалари энергия самарадорлигининг математик моделлари, газ узатиш жараёнида энергия самарадорлигига таъсир этувчи технологик ва эксплуатация омиллари асосида ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси куйидагилардан иборат:

синхрон двигателнинг мавжуд ўзгармас ток генераторли қўзғатиш тизимини автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизимига модернизация қилиш асосида турли бошқарув тизимлари билан ишлайдиган компрессор қурилмасининг энергия самарадорлигини аниқлаш усули такомиллаштирилган;

газ ҳайдаш агрегати учун технологик жараёнларига таъсир этувчи асосий факторларни эътиборга олган ҳолда “Частота ўзгартиргич - двигател - компрессор” электромеханик тизимнинг энергия ва ресурс тежамкор иш режимлари ишлаб чиқилган;

технологик жараёнларга таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, табиий газни узатувчи компрессор станциясининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижалари ишончлилиги математик моделлаштириш, электромеханик тизимларни автоматик бошқариш ва ростлаш усулларига асосланади. Экспериментал маълумотларни қайта ишлашнинг статистик усулларни жориш этиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот ишининг илмий аҳамияти компрессор станциясидаги синхрон двигателнинг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизими асосида унинг математик модели ва структура схемаси ишлаб чиқилганлиги; частотавий бошқарилувчи электр юритмали компрессор қурилмаларини энергетик кўрсаткичларининг математик ифодалари бошқариш қонуниятлари асосида ишлаб чиқилганлиги; газ узатиш жараёнларининг мавсумий иш режимларида

компрессор қурилмалари энергия самарадорлигининг математик моделлари ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти газ ҳайдаш агрегатини реактив қувватни қоплаш компенсатори сифатида фойдаланиш учун турли иш режимларидаги юкламаларни эътиборга олган ҳолда синхрон двигателнинг қўзғатиш токини автоматик бошқариш орқали энергия тежамкор тизим ва реактив қувватни қоплаш имкониятини аниқловчи алгоритм асосида дастурий таъминот ишлаб чиқилганлиги; технологик жараёнларга таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, табиий газни узатувчи компрессор станциясининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор станциясининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

технологик жараёнларга таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, табиий газни узатувчи компрессор станциясининг энергия самарадорлигини ва қурилмада сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёрини аниқлаш методикаси “Ўзтрансгаз” АЖ “Қогон магистрал газ қувурлари бошқармаси” га жорий қилинган (Энергетика вазирлигининг 2022 йил 15 июлдаги №13-3631 сонли маълумотномаси). Натижада табиий газни узатишда сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёри аниқланиб амалиётга жорий этилди, ҳамда электр энергия истеъмолини 3% га тежаш имконини берди.

Газ ҳайдаш агрегатини реактив қувватни қоплаш компенсатори сифатида фойдаланиш учун турли иш режимларидаги юкламаларни эътиборга олган ҳолда синхрон двигателнинг қўзғатиш токини автоматик бошқариш орқали энергия ва ресурс тежамкор тизими ишлаб чиқилди ва реактив қувватни қоплаш имконияти аниқланди (Энергетика вазирлигининг 2022 йил 15 июлдаги №13-3631 сонли маълумотномаси). Натижада тармоқнинг қувват коэффициентини ошириш, кабел линиясидаги ҳамда двигателнинг статор чулғамидаги актив қувват исрофларининг камайиши ҳисобига йилига 5198400 кВт·соат реактив энергиясини қоплаш имконияти яратилди. Иқтисодий самарадорлик 332 697 600 (уч юз ўттиз икки миллион олти юз тўқсон етти минг олти юз) сўмни ташкил этди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 12 та халқаро илмий – техник конференцияларда, жумладан 10 та халқаро, 2 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

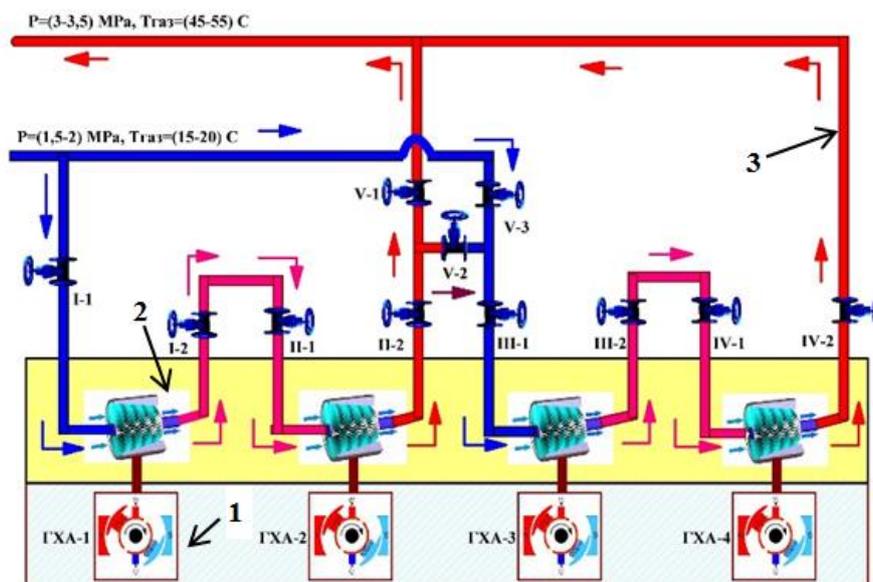
Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 25 та илмий иш чоп этилган, улардан 1 та ўқув қўлланма, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган журналларда 7 та илмий мақолалар, жумладан 4 та республика ва 3 та хорижий журналларда чоп этирилган, шунингдек ЎзР Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан яратилган ЭХМ дарстурига 5 гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни 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 очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Нефт-газ саноатидаги газ ҳайдаш агрегатининг замонавий ҳолати, ривожланиш истиқболлари ва уларни бошқариш масалалари”** деб номланган биринчи бобида республикада табиий газ истеъмолининг охириги йиллардаги ўсиш тенденциялари келтирилган, газни узатиш тизимидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегати қурилмалари моторини частотавий ростлагич орқали динамик ва иш режимларини бошқариш, тизимнинг энергия самарадорлигини ошириш, газ ҳайдаш агрегати синхрон двигателининг (СД) қўзғатиш тизимлари ва уларнинг автоматик ростлаш масалалари бўйича адабиётлар тизимлаштирилган ва тадқиқотларнинг таҳлили келтирилган. Ҳозирги кунда компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати юритма турлари ва технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда иш режимлари бўйича кўриб чиқилган. Компрессор станциядаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатларини технологик схемаси 1-расмда келтирилган.



1 - расм. Компрессор цехидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг технологик схемаси: 1- синхрон двигател; 2- марказдан қочма компрессор; 3 – қувурлар

Газни сиқиш ва узатиш жараёнларининг энергия самарадорлигини ошириш бўйича ишланмаларга бағишланган илмий адабиётларда нефтгаз саноатидаги технологик жараёнларнинг энергия самарадорлигини оширишни таъминлайдиган бошқарилувчи электр юритмаларга таълуқли масалалар етарлича ёритилмаганлиги келтирилган.

«Когон магистрал газ қувурлари бошқармаси» нинг компрессор цехида ўтказилган тадқиқот ишлари, олиб борилган илмий ва амалий ишлар таҳлили асосида тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари аниқланган.

Диссертациянинг “**Энергия тежамкор бошқарилувчи синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг математик моделлари ва структура схемалари**” деб номланган иккинчи бобида бошқарилувчи синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини структуравий схемаси ва математик моделлари ишлаб чиқилган. Компрессор қурилмасини частотавий бошқарилувчи синхрон электр юритмасининг энергетик параметрлари асосида газ ҳайдаш агрегатидаги синхрон электр юритмани асинхрон ишга тушириш режимининг имитацион модели ва структура схемаси ишлаб чиқилган. Газ ҳайдаш агрегатидаги синхрон электр юритмани кучланишни ростлаш, частота ўзгартиргич орқали ишга тушириш режимларининг имитацион модели ва структура схемаси ишлаб чиқилган.

d ва q ўқлари бўлган газ ҳайдаш агрегати синхрон электр юритманинг математик модели қуйидаги дифференциал тенгламалар билан тавсифланади.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_d}{dt} &= u_d + \omega \cdot \psi_d - R_c \cdot i_d \\ \frac{d\psi_q}{dt} &= u_q - \omega \cdot \psi_q - R_c \cdot i_q \\ \frac{d\psi_f}{dt} &= u_f - R_f \cdot i_f \\ \frac{d\psi_{yd}}{dt} &= -R_{yd} \cdot i_{yd} \\ \frac{d\psi_{yq}}{dt} &= -R_{yq} \cdot i_{yq} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

бу ерда u_f - тармоқнинг қўзғатиш кучланиши; $R_c, R_f, R_{yd} = R_{yq}$ - статор, қўзғатиш чулғами ва амортизаторнинг актив қаршиликлари; ψ_d, ψ_q - ўқлардаги магнит оқим илашувчанлиги, Вб; i_d, i_q - ўқлардаги тоқлар, А;

Барча келтирилган натижаларни инобатга олган ҳолда, бошқарилувчи электр юритмали компрессор қурилмаси учун статик момент тенгламасини қуйидагича ифодалаймиз.

$$M_c = M_{c\bar{o}} + (M_{cн} - M_{c\bar{o}}) \cdot (n/n_n)^2 = \frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta} + \frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot \eta} - \frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta} \cdot \left(\frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot p \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f^2 \cdot \eta \cdot 60} \right)^2 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (2)$$

Частотавий бошқарилувчи электр юритмалар орқали газ ҳайдаш агрегатларни ишга тушириш режимларини бошқариш масалалари кўриб

чиқилган. Частотавий бошқариладиган синхрон электр юритманинг асосий кўрсаткичларидан бири уларнинг энергетик кўрсаткичлари ҳисобланади. Газ ҳайдаш агрегатларида частотавий бошқарилувчи синхрон электр юритмасининг энергетик параметрларини технологик параметрлар орқали ифодалаймиз.

Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини сиқиш коэффициентини технологик ва энергетик кўрсаткичлар орқали қуйидагича аниқлаймиз.

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\left(\frac{m \cdot \eta \cdot \rho_z \cdot (K_e \cdot U \cdot i_e \sin \theta \cdot 2 \cdot x_\theta \cdot F + \rho_z \cdot U^2 \cdot \sin \cdot 2 \cdot \theta \cdot x_{ad})}{26,68 \cdot x_\theta \cdot x_{ad} \cdot F \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2}\right)^{10}} \quad (3)$$

Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг фойдали иш коэффициенти қуйидагича ифодаланади.

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{r_{a\delta}}{\frac{r_1}{F} + r_{a\delta}} + \frac{\left[\left(\frac{r_1}{F} + r_{a\delta}\right)^2 + (x_{1n} + x_{a\delta})^2\right] \left(r_b + K_e^2 f_n K_{cm} F\right)_b^2}{m \frac{U^2}{F} \left(\frac{r_1}{F} + r_{a\delta}\right)} \quad (4)$$

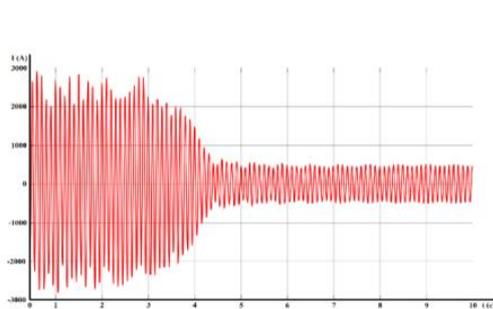
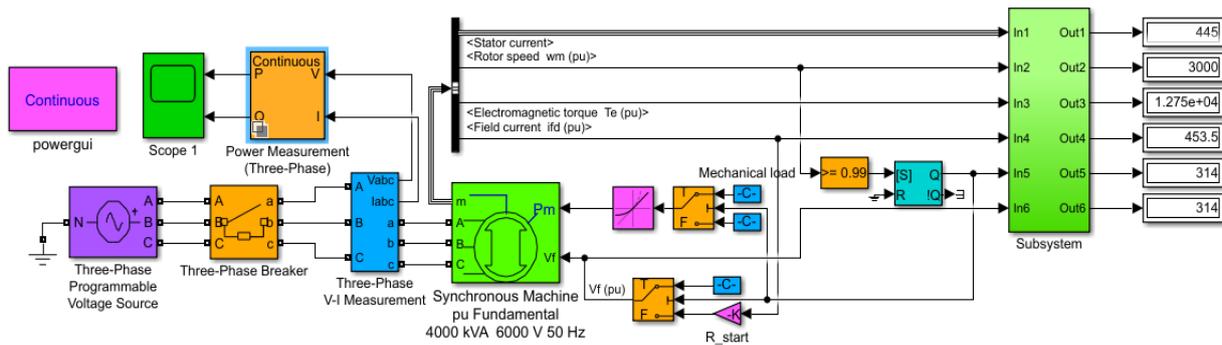
Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг қувват коэффициенти қуйидагича ифодаланади.

$$\cos \varphi = \frac{\frac{r_1}{F} + r_{a\delta}}{\sqrt{\left(\frac{r_1}{F} + r_{a\delta}\right)^2 + (x_{1n} + x_{a\delta})^2}} \quad (5)$$

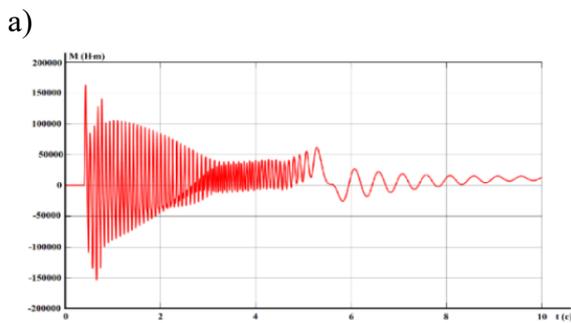
Ўзгарувчан бошқарув частотасида компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигатели энергетик кўрсаткичларининг математик моделлари бошқариш қонуниятлари асосида ишлаб чиқилган.

Ҳозирги кунда компрессор станциясидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини ишга тушириш масалалари жуда ҳам долзарб ҳисобланди. Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини қуйидаги 3 хил усулда ишга тушириш режимлари кўрилган (2-4 расмлар): 1. Газ ҳайдаш агрегатидаги синхрон электр юритмани асинхрон ишга тушириш; 2. Газ ҳайдаш агрегати синхрон электр юритмани кучланиш ўзгартиргич орқали ишга тушириш; 3. Газ ҳайдаш агрегати синхрон электр юритмани частота ўзгартиргич орқали ишга тушириш.

2-4 расмларда синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини асинхрон, кучланиш ва частота ўзгартиргич орқали ишга туширишнинг имитацион моделлари, вақт бўйича ишга тушириш токи ва электромагнит моментининг графиклари келтирилган.

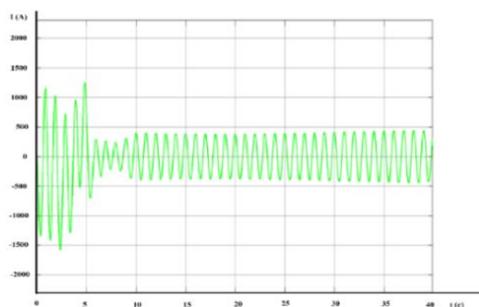
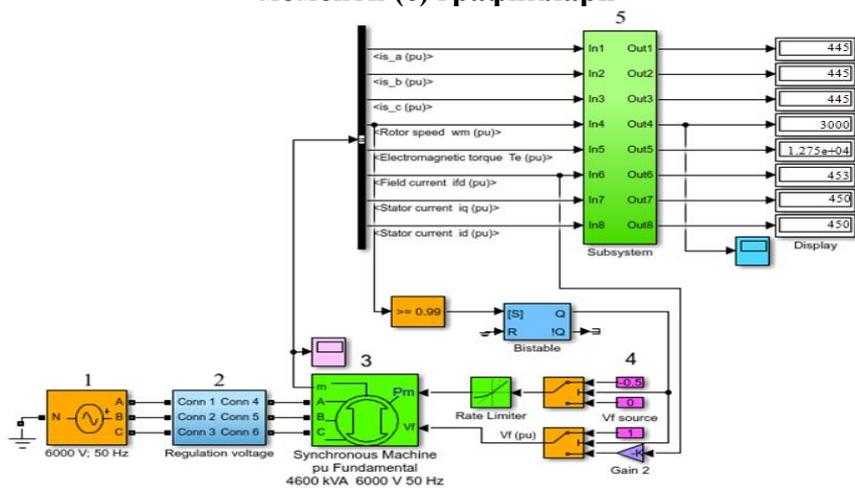


б)

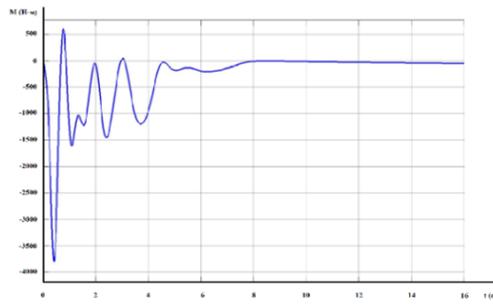


с)

2-расм. Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини асинхрон ишга туширишнинг имитацион модели (а), ишга тушириш токи (б) ва электромагнит momenti (с) графиклари

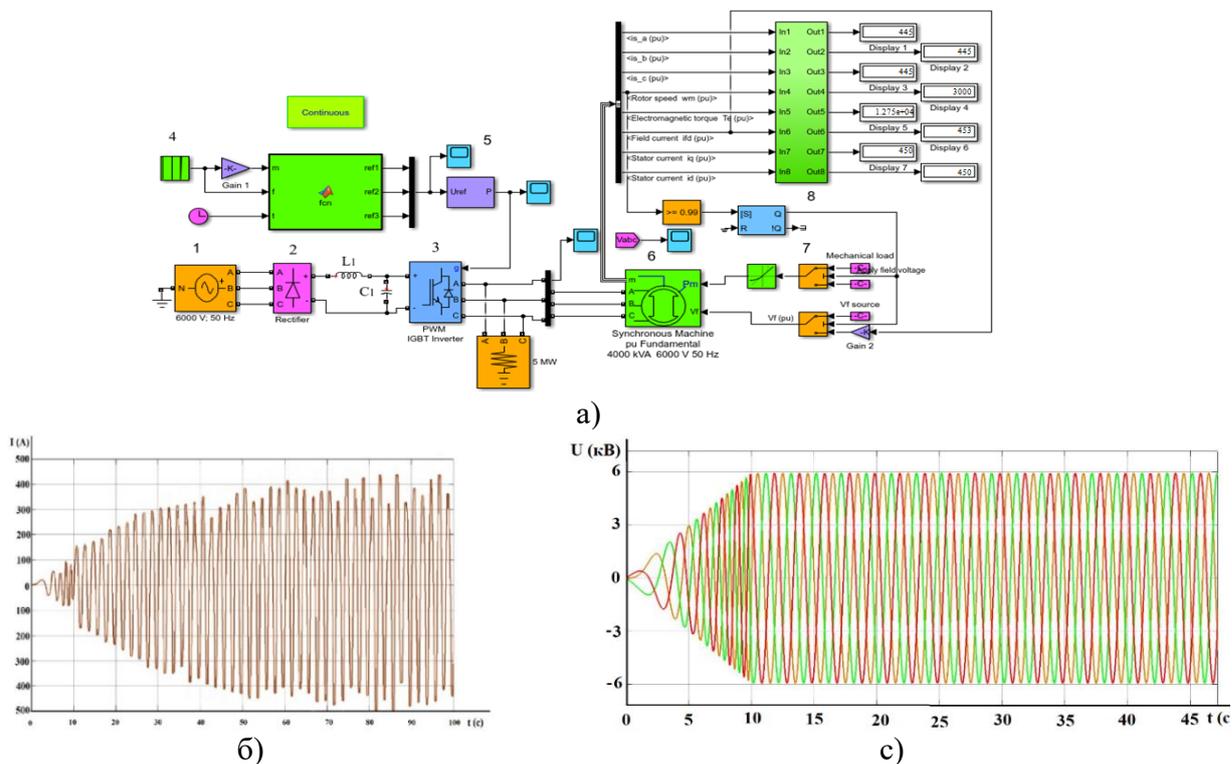


б)



с)

3-расм. Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини кучланиш ўзгартиргич орқали ишга туширишнинг имитацион модели (а), ишга тушириш токи (б) ва электромагнит момент (с) графиклари



4-расм. Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини частота ўзгартиргич орқали ишга туширишнинг имитацион модели (а), ишга тушириш токи (б) ва статорга берилган кучланишнинг (с) графиклари

Экспериментал тадқиқотлар асосида синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини ишга тушириш режимларини имитацион моделларида олинган графиклар асосида солиштириш қийматлари 1 - жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини турли бошқариш тизимларида ишга тушириш режимларини таққослаш

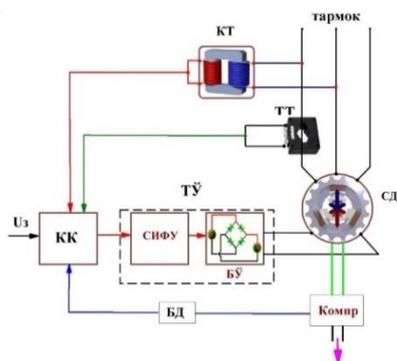
Кўрсаткичлар	Асинхрон ишга тушириш	ТКУ орқали силлиқ ишга тушириш	Частотали ишга тушириш	Частотали ишга тушириш / Асинхрон ишга тушириш
Статор токи, I (А)	3115	890	445	7
Электромагнит момент, М (кН*м)	38,1	25,46	12,73	3
Ишга тушириш вақти, t (с)	5	15	25	5
Қўзғатиш токи I, (А)	241	209	188	0,78
Юритманинг қуввати, P (МВт)	3,9	3,7	3,2	0,82

Натижалар таҳлили электр энергияси тизимларида қўлланиладиган синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини ишга тушириш усулини танлаш зарурлигини тасдиқлади. Синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини иш режимидан қатъий назар частота ўзгартиргич орқали ишга тушириш, кучланиш ўзгартиргич ва асинхрон ишга туширишга нисбатан динамик жараёнларни яхшилаш, энергия исрофларини камайтириш имконини беради. Натижада двигателнинг ишлаш муддатини оширишга олиб

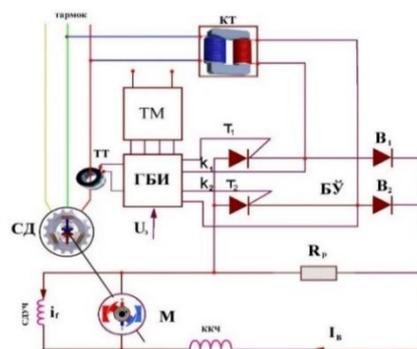
келади. Шунингдек, газ ҳайдаш агрегати синхрон электр юритмани ишга туширишнинг оптимал усулидан фойдаланиш орқали электромеханик ва электр таъминоти тизимларида авариявий ҳолатларнинг юзага келиш эҳтимолини камайтиради.

Диссертациянинг «Газни узатиш жараёнида бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларининг энергия самарадор иш режимлари» деб номланган учинчи бобида турли юкламаларда частотавий бошқарилувчи синхрон двигателнинг қўзғатиш токи ва кучланишнинг ростлаш қонуни аниқланган, қўзғатишни автоматик ростлаш (ҚАР) тизимига эга компрессор қурилмаси синхрон моторининг математик модели ва структура схемаси ишлаб чиқилган, газ ҳайдаш агрегатидаги синхрон электр юритмани технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда лойиҳаланган. Бошқарилувчи компрессор қурилмаларини турли юклама иш режимларида синхрон компенсатор сифатида қўллаш имкониятлари ўрганилган, бошқарилувчи синхрон электр юритмали компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси ишлаб чиқилган.

Компрессор станциясидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизимини энг кам энергия исрофлар орқали бошқаришнинг блок схемаси 5-расмда, ҳамда ўзгармас ток генераторли тизимни ўзгармас қувват коэффиценти ($\cos\phi$) орқали бошқаришнинг блок схемаси 6 расмда келтирилган.



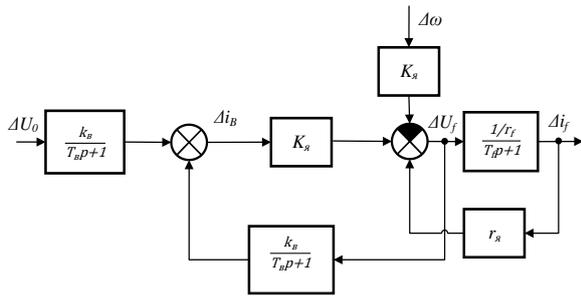
5-расм. СД ҚАР энг кам энергия исрофлар орқали бошқаришнинг блок схемаси



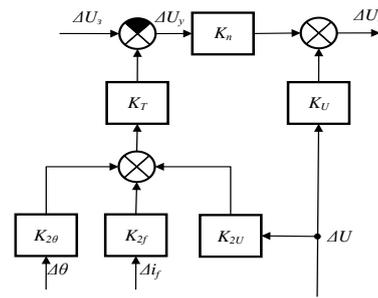
6-расм. $\cos\phi$ ўзгармас бўлган ҳол учун ҚАР нинг блок схемаси

Энг кам энергия исрофларни таъминловчи қўзғатиш токини бошқариш тизимини иккита тескари алоқа - статор кучланиши ёрдамида кучланиш (КТ) ва ток (ТТ) трансформаторлари орқали қуриш мумкин. 5 – расмда келтирилган блок схема бўйича қабул қилинган бошқариш қонунини амалга оширувчи қурилма (КК) орқали импульс фазали бошқариш тизими (ИФБТ) ва СД нинг қўзғатиш чулғамларидан таъминот олади. Бошқарилувчи ўзгартиргичдан (БЎ) иборат тиристорли ўзгартиргич (ТЎ) киришига таъсир этувчи сигналларга уланади. Технологик жараёнларни ҳамда юкламани эътиборга олган ҳолда компрессордан чиқувчи босимни ўзгармас сақлаш учун босим датчик орқали КК га тескари алоқа сифатида уланади. Натижада синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизимини энг кам энергия исрофлар орқали бошқариш имконияти яратилади.

Компрессор станциясидаги синхрон двигателнинг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизимини структура схемаси 7 ва 8 расмларда келтирилган.

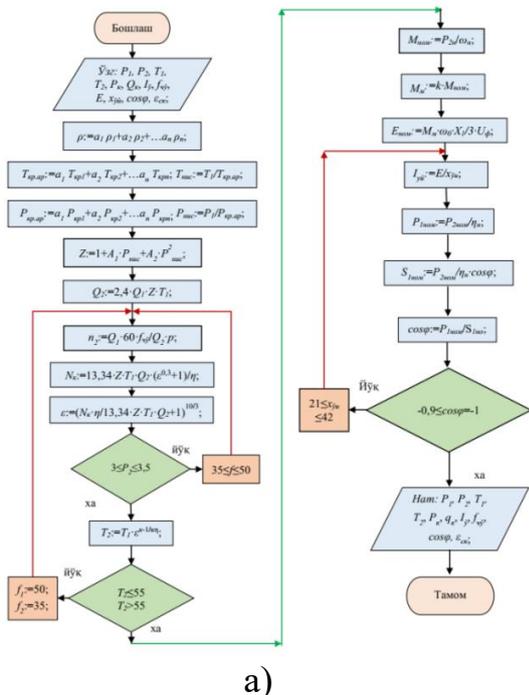


7 - расм. СД ҚАР тизимининг структура схемаси

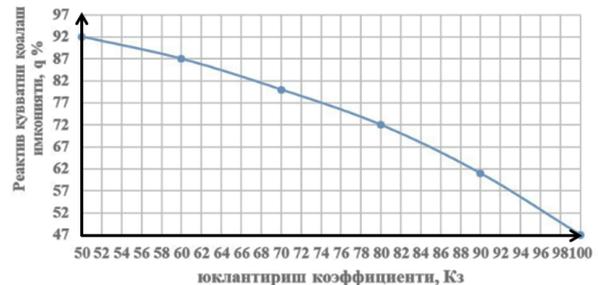


8 - расм. Қўзғатиш тизими тескари алоқа занжирининг структура схемаси

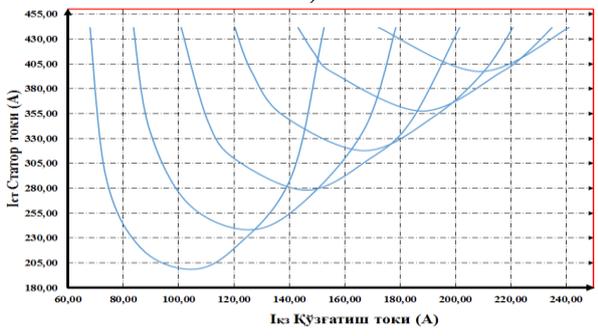
Тадқиқот ишида, газ ҳайдаш агрегатининг турли иш режимларидаги юкламаларни эътиборга олган ҳолда синхрон двигателнинг қўзғатиш токини автоматик тристорли бошқариш орқали реактив қувватни қоплаш компенсатори сифатида фойдаланиш имкониятларини ўрганилди. Натижада, турли юкламада технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда реактив қувватни қоплаш имконини берувчи алгоритм ишлаб чиқилди. Алгоритм асосида дастурий таъминот яратилди ва Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан ЭХМ дастурига гувоҳнома олинди. Синхрон машинанинг U симон тавсифларини қуриш асосида, реактив қувватни қоплаш имконияти аниқланди (9-расм).



а)



б)

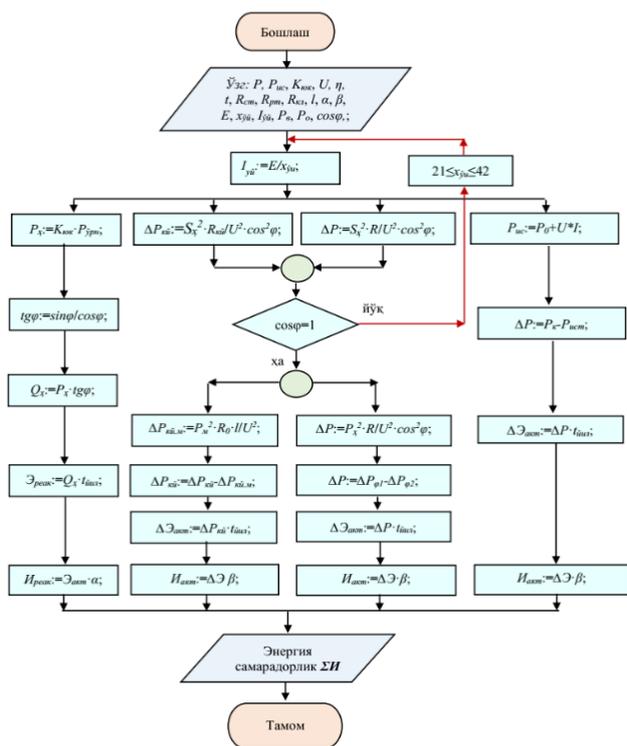


с)

9-расм. Компрессор станциясидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини технологик талабларни эътиборга олган ҳолда компенсатор сифатида қўллаш алгоритми (а), реактив қувватни қоплай олиш имконияти (б), синхрон двигателни U симон (с) графиклари

Компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон электр юритмани турли юклама иш режимларини ҳисобга олган ҳолда лойиҳалаш масалалари кўрилган, ҳамда газ босимини сиқиш коэффициентини аниқлашнинг математик ифодаси олинган. Натижада турли хил юкламаларда агрегатдан чиқувчи газнинг температурасини ва босимини аниқлаш имконини берган.

Синхрон двигателли компрессор қурилмасини қўзғатиш тизимига рақамли электрон тиристорни қўллаш орқали қувват коэффициенти бирга тенг ($\cos\varphi=1$) қийматда таъминланади, натижада электромеханик тизимнинг энергия самарадорлиги ошади. Тадқиқот ишида компрессор қурилмасининг турли иш режимларида қўзғатиш тизимини автоматик бошқариш орқали тежалган электр энергия масалалари кўриб чиқилган. Бошқарилувчи синхрон электр юритмали компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини аниқлаш 5 та асосий қисмга бўлиб ҳисобланади: синхрон двигателли компрессор қурилмаси томонидан истеъмол қилинган реактив қувватни компенсация қилиш орқали исрофларни камайтириш, синхрон двигателли компрессор қурилмасининг умумий токини камайтириш орқали кабел линиясидаги исрофларни камайтириш; синхрон двигателли компрессор қурилмаси қўзғатиш тизимини модернизация қилиш орқали истеъмол қувватини камайтириш; синхрон двигателли компрессор қурилмаси статоридаги исрофларни камайтириш;



10-расм. Компрессор станциясидаги тиристорли бошқарилувчи синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг энергия самарадорлигини аниқлаш алгоритми

Диссертациянинг «Газни узатиш жараёнида компрессор қурилмаларининг экспериментал тадқиқотлари ва энергия самарадорлигини баҳолаш» деб номланган тўртинчи бобида газни узатиш

синхрон двигателли компрессор қурилмаси номинал иш режими билан солиштирганда статор ва ротор чулғамларни қизишининг камайиши.

Компрессор станциясидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегати қўзғатиш тизимини энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилди (10-расм) ҳамда амалиётга жорий этилди. Компрессор станциясидаги тиристорли бошқарилувчи синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикасига ва алгоритмига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан ЭХМ дастурига гувоҳнома олинган.

жараёнида компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигига таъсир этувчи омиллар ўрганилган; газ узатиш жараёнида технологик ва эксплуатация омилларни эътиборга олган ҳолда қишки ҳамда ёзги иш режимларида компрессор қурилмалари энергия самарадорлигининг математик моделларини ишлаб чиқилган; бошқарилувчи электр юритмали компрессор қурилмаларини газни узатиш жараёнида жорий этишнинг техник-иқтисодий жиҳатдан асосланган.

Компрессор агрегатлари ишининг энергия самарадорлиги нефт-газ саноати корхонасининг умумий энергия самарадорлигига сезиларли таъсир кўрсатади. Ташқи ва ички омилларни ҳисобга олган ҳолда 1000 м³ табиий газни узатиш учун сарфланадиган электр энергияси меъёрларини аниқлашда комбинацияланган усул, яъни ҳисоблаш - аналитик, экспериментал ва ҳисобий – статистик усуллар қўлланилади. Компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегатини технологик жараёнининг математик моделини ишлаб чиқиш вазифага қараб, қуйидаги вазифаларни ўз ичига олади: энергия ресурслари сарфини минималлаштириш, энергия самарадорлигини ошириш бошқарувнинг ишончилиги ва тезлигини ошириш, ускуналарнинг энергия самарадорлик коэффициентини ошириш.

Компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегатининг энергия самарадорлигига қуйидаги асосий ташқи ва ички таъсир қилувчи омиллар ҳамда агрегатнинг иш режимлари таъсир қилади: компрессорга кирувчи газнинг босими ва температураси, компрессордан чиқувчи газнинг босими ва температураси, компрессорнинг сиқиш коэффициенти, ташқи ҳавонинг температура, синхрон двигателнинг қўзғатиш ва статор тоқлари, компрессорларнинг истеъмол қуввати ва энергияси, газ ҳайдаш агрегатидаги синхрон двигателнинг юклама коэффициенти, компрессорга кирувчи газнинг зичлиги, компрессорнинг унумдорлиги.

Бу омиллар бир вақтнинг ўзида газни узатиш учун сарфланадиган солиштирма электр энергия сарфи меъёрига ҳам таъсир кўрсатади. Газни узатиш жараёнига солиштирма электр энергия сарфи меъёри қуйидаги функциялардан иборат.

$$N = f(P_1, P_2, T_1, T_2, \varepsilon, T_x, I_k, I_{cm}, P, k_{\rho}, \rho, Q_{сум}, W) \quad (6)$$

11-расмда компрессор станциясидаги газ узатиш жараёнига таъсир қилувчи асосий омилларларнинг структураси келтирилган.



11-расм. Компрессор станциясидаги газ узатиш жараёнига таъсир қилувчи асосий омиллар структураси

Тадқиқот объектида ўлчовлар 2021-2022 йилларда амалга оширилган бўлиб, натижалар таққосланганда ёз ва қиш мавсумидаги солиштирма электр энергия сарфи 2 маротабагача фарқ қилиши аниқланди. Технологик жараёнларга ташқи ҳарорат таъсири ёзги вақт режимларини эътиборга олиб, 1000 м³ табиий газни узатиш учун сарфланадиган электр энергия миқдори ва экспериментал ўлчовлар натижалари асосида аниқланди.

Кореляцион ва дисперсион таҳлиллар асосида газни узатиш жараёнидаги электр энергиясининг солиштирма меъёрига таъсир этувчи кучсиз боғланган омиллар эътиборга олинмади.

Экспериментал маълумотлар ва регрессион таҳлиллар асосида, ёзги ва қишги вақт режимларини эътиборга олган ҳолда 1000 м³ газни узатишдаги электр энергияси солиштирма меъёрининг математик модели компрессорга кирувчи газнинг температураси T_1 , компрессордан чикувчи газнинг температураси T_2 , компрессорнинг сиқиш коэффициенти ε , ташқи ҳавонинг температура T_x , синхрон двигателнинг қўзғатиш токи I_k , компрессорлар томонидан истеъмол қилинган кунлик электр энергияси W , компрессордаги газнинг кунлик ҳажми $Q_{кун}$ функциясида олинган.

Компрессор станцияси ёзги режимлари учун 1000 м³ газни узатишдаги электр энергияси солиштирма меъёрининг математик модели.

$$N_{КС} = 23,23750 - 0,02795 \cdot T_1 + 0,04784 \cdot T_2 - 3,73921 \cdot \varepsilon - 0,03046 \cdot T_x - 0,0059 \cdot I_{кз} + 0,00013 \cdot W - 2,32758 \cdot Q_{сут} \quad (7)$$

Компрессор станцияси қишги режимлари учун 1000 м³ газни узатишдаги электр энергияси солиштирма меъёрининг математик модели.

$$N_{КС(қишқи)} = 13,47657 + 0,01093 \cdot T_1 - 0,00927 \cdot T_2 + 0,61327 \cdot \varepsilon - 0,00728 \cdot T_x - 0,00009 \cdot I_{кз} + 0,00013 \cdot W_{сут} - 1,83150 \cdot Q_{сут} \quad (8)$$

Технологик жараёнларни ҳисобга олган ҳолда, 1000 м³ газни узатишдаги электр энергиясининг солиштирма меъёрининг модели адекватликга текшириш шуни кўрсатдики, СТМ-4000 типидagi синхрон юритмали газ ҳайдаш агрегати учун ҳақиқий натижалар билан моделлашнинг натижаларининг номуносивлиги 2,09% дан кам эканлиги аниқланди. Моделнинг дастлабки маълумотларга мослигини таҳлил этиш олинган натижаларнинг етарли даражада аниқлигини кўрсатади.

ХУЛОСА

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси «Бошқарилувчи электр юритмалар асосида компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини ошириш» илмий иши натижалари бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Ўзгарувчан бошқарув частотасида компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигателининг автоматик бошқарилувчи тиристорли қўзғатиш тизимини математик модели ва структура схемаси бошқариш қонуниятларини эътиборга олган ҳолда ишлаб чиқилди. Натижада компрессор қурилмаси синхрон двигателининг қўзғатиш тизимини автоматик бошқариш имконини берди.

2. Компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигателининг ишга тушириш режимларини турли бошқариш тизимларида таҳлил қилинди ва имитацион моделлаштирилди. Натижада частотавий ростланувчи электромеханик тизимнинг ишга тушириш токи 6 мартага, моменти эса 3 мартага камайиши ҳисобига силлиқ ишга тушириш жараёнлари таъминланиши, газ ҳайдаш агрегатларнинг динамик режимларини яхшилаш ҳисобига эксплуатация муддати ошиши аниқланди.

3. Бошқариш қонуниятларини ва технологик жараёнларни ҳисобга олган ҳолда ўзгарувчан бошқарув частотасида компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегати синхрон двигатели энергетик кўрсаткичларининг математик ифодалари ишлаб чиқилди. Натижада турли юклама режимларида энергетик кўрсаткичлар асосида электромеханик тизимнинг самарадорлиги аниқланди.

4. Технологик жараёнларга таъсир этувчи асосий омилларни ҳисобга олган ҳолда, табиий газни узатувчи компрессор станциясининг энергия самарадорлигини ва қурилмада сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёрини аниқлаш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилди. Натижада “Ўзтрансгаз” АЖ “Когон магистрал газ қувурлари бошқармаси” даги СТМ-4000 типидagi синхрон двигателли компрессор агрегати учун 1000 м³ табиий газни узатишда сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёри аниқланиб амалиётга жорий этилди, ҳамда электр энергия истеъмолини 3% га тежаш имконини берди.

5. Компрессор станциясидаги газ ҳайдаш агрегатларини энергия самарадорлик кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида СТМ-4000 типидagi синхрон двигателнинг мавжуд ўзгармас ток генераторли кўзғатиш тизимини автоматик бошқарилувчи тиристорли кўзғатиш тизимига модернизация қилиш ва “Когон магистрал газ қувурлари бошқармаси” бўйича турли бошқарув тизимлари билан ишлайдиган компрессор қурилмасининг энергия самарадорлигини аниқлаш усули жорий этилди. Натижада йиллик иқтисодий самарадорлик мавжуд бошқариш тизимига нисбатан 1000 м³ табиий газни узатишда сарфланадиган электр энергиясининг солиштирма меъёрини 2,5 кВт·соатга камайтириш имконини берди.

6. Нефт-газ саноатидаги магистрал газ қувурлари корхонасида фойдаланиб келинаётган газоконпрессор станцияларда реактив қувватни қоплаш имконияти ва чегараси технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда аниқланди. Натижада тармоқни қувват коэффициентини ошиши, кабел линиясидаги ҳамда двигателнинг статор чулғамидаги актив қувват исрофларининг камайиши ҳисобига йилига 5198400 кВт·соат реактив энергиясини қоплаш имконияти яратилди. Иқтисодий самарадорлиги йилига 332 697 600 сўмни ташкил этди.

7. Газ узатиш жараёнида асосий технологик ва эксплуатация омилларни эътиборга олган ҳолда қишқи ҳамда ёзги иш режимларида компрессор қурилмалари энергия самарадорлигининг математик моделлари регрессион таҳлиллар асосида ишлаб чиқилди. Натижада синхрон двигателнинг иш режимларидаги энергия самарадорликни аниқлаш, ҳамда экспериментал натижалар билан таққослаш имконини берди.

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

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МИРХОНОВ УТКИР КАХРАМОНОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ
УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2020.2.PhD/T1618.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

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

Научный руководитель:	Тоиров Олимжон Зувурович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Каршибаев Аскарбек Илашевич доктор технических наук, профессор Хошимов Урал Хошимович доктор философии по техническим наукам, PhD
Ведущая организация:	Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «__» _____ 2023 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 « ____ » _____ 2023 года.

(протокол рассылки № « ____ » от « ____ » _____ 2023 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.

О.Х. Ишназаров

председателя научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии PhD)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире энергоэффективность является одним из определенных средств достижения целей устойчивого развития в экономической, социальной и экологической сферах. В частности, спрос на природный газ быстро растет в промышленности и электроэнергетике. Ожидается, что в ближайшие 5 лет мировой спрос на газ будет расти в среднем на 1,4% в год и к 2040 году достигнет¹ 5400 млрд м³. Учитывая данные потребности, особое внимание уделяется оптимизации режимов работы газотранспортных компрессорных станций, анализу факторов, влияющих на энергетическую эффективность компрессорных устройств на основе электрических приводов, управляемых в процессе транспортировки газа, разработке методики и алгоритма определения энергоэффективности электромеханической системы, повышению энергоэффективности на основе оценки и моделирования энергетических показателей агрегата.

В мире проводится ряд научных исследований, направленных на определение влияния внешних факторов и эксплуатационных характеристик на технические показатели газоперекачивающих агрегатов, а также энергоэффективность и оптимальные режимы работы оборудования, на разработку методов энергосбережения в динамическом и статическом режимах частотно-регулируемого электропривода в процессе транспортировки газа. В связи с этим поддержание температуры газа на выходе из агрегата на оптимальном уровне на основе управления частотно-регулируемыми синхронными двигателями при транспортировке газа, определение оптимальных критериев при регулировке синхронных двигателей является одной из важных задач. Кроме того, в зависимости от характера технологического процесса, разработка критерия и способа управления регулирующими электроприводами газоперекачивающих агрегатов, обеспечение статической и динамической устойчивости регулируемого электропривода и реализация ее на практике является одной из актуальных задач.

В нашей республике проводятся масштабные реформы по повышению энергоэффективности за счет снижения энергозатрат в процессе транспортировки газа, созданию новых энергосберегающих технологий, комплексному управлению и совершенствованию электромеханических систем с учетом технологических процессов. Конкретные задачи в реализации данной работы предусмотрены в стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы «Непрерывное обеспечение экономики электроэнергией и активное внедрение технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышение энергоэффективности экономики на 20 процентов...»². При реализации данных задач важно разработать систему автоматического управления электроприводом газоперекачивающего агрегата с учетом изменения технологических параметров на газоконпрессорных станциях.

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

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022г № УП-60 «Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Данное диссертационное исследование в определенной степени послужит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № ПП-60 от 28 января 2022 года «О новой стратегии развития Республики Узбекистан на 2022-2026 годы», № УП-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», № УП-4779 от 10 июля 2020 года «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 сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями, предусмотренными в 2 разделе «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Ряд зарубежных ученых, в том числе В.К. Kumar, М. Malinovski, L.G. Franquelo, L.M. Tolbert, J. Rodriguez, S. Kouro, D.V. Benn, М.А. Perez, R.E. Kalman, K.D. Lyuis, С.Е. Shannon, S.A. Makridakis, G.R. Schwartz, А.М. Абакумов, В.Н. Мосин, Л.А. Мигачева, С.В. Алимов и другие внесли свой вклад в решение вопросов эффективного использования энергоресурсов в газоперекачивающих агрегатах компрессорных станций в системе магистральных газопроводов, совершенствования систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами на основе нормативных показателей. Среди наших отечественных ученых Р.А. Захидов, К.Р. Аллаев, Т.Х. Насиров, Х.М. Муратов, Ф.А. Хошимов, Н.Х. Бозоров, Н.Б. Пирматов, Н.Н. Садуллаев, А.И. Каршибаев и другие добились значительных результатов в плане достижения энергоэффективности за счет оптимизации режимов работы потребителей промышленных предприятий, внедрения новых энергоэффективных технологий.

Зарубежными учеными А.С. Хлынином, О.В. Крюковым, С.В. Михалевым, А.Л. Жеребцовым, А.В. Мигачевым, Д.Г. Садиковым, Л.А. Зипманом, И.И. Артюковым проведены научные исследования по вопросам автоматического управления приводами синхронных электроприводных газоперекачивающих агрегатов, применения регулируемых двигателей газоперекачивающего агрегата компрессорной станции, отечественными учеными М.З. Хамудхановым, Т.С. Камаловым, А.А. Хошимовым, Н.М. Ариповым, О.Х. Ишназаровым, М.М. Хамудхановым, О.З. Тоировым и другими были проведены научные исследования в решении таких задач, как достижение энерго- и ресурсосбережения за счет управления динамикой и режимами работы, управления работой компрессорных установок при транспортировке газа.

В то же время недостаточно изучены вопросы по управлению синхронными электроприводами в установках газоперекачивающих агрегатов с учетом технологических требований, определения факторов, влияющих на потребление электроэнергии и режимы работ, повышения

энергоэффективности компрессорной установки на основе управляемых электроприводов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высших учебных заведений, где выполнена работа.

Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов ФА-А3-90053 «Разработка энергоресурсосберегающих режимов энергопотребления на энергоемких объектах отраслей экономики» (2015-2017) согласно научно-исследовательским планам Института энергетики и автоматики Академии наук Республики Узбекистана и ИЛ-442105947 «Создание автоматической установки, обеспечивающей стабильную по частоте передачу электроэнергии фазных роторных асинхронных генераторов микроГЭС и ШЭЦ» (2022-2023) согласно научно-исследовательским планам Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Целью исследования является повышение энергоэффективности компрессорных установок на основе управляемых электроприводов.

Задачи исследования:

анализ методов управления синхронными двигателями компрессорных установок, динамических режимов работы, систем возбуждения и вопросов их автоматического регулирования в процессе транспортировки газа;

разработка математической модели и структурной схемы автоматически управляемой тиристорной системы возбуждения на основе анализа существующей системы возбуждения синхронного двигателя газоперекачивающего агрегата компрессорной станции;

установление возможности компенсации реактивной мощности за счет автоматического регулирования тока возбуждения синхронного двигателя с учетом нагрузок в различных режимах работы для использования в качестве компенсатора реактивной мощности в газоперекачивающих агрегатах;

анализ энергетических показателей частотно-регулируемого синхронного двигателя газоперекачивающей установки компрессорной станции с учетом технологических процессов;

анализ и моделирование пусковых режимов синхронного двигателя газоперекачивающей установки компрессорной станции в различных системах управления;

анализ факторов, влияющих на энергоэффективность компрессорных установок на основе электроприводов, управляемых при транспортировке газа, а также разработка методики и алгоритма определения энергоэффективности электромеханической системы;

разработка математических моделей энергоэффективности компрессорных установок в зимнем и летнем режимах работы с учетом технологических и эксплуатационных факторов при транспортировке газа.

Объектом исследования является управляемый синхронный электропривод компрессорных установок в процессе транспортировки газа.

Предметом исследования являются энергосберегающие режимы работы синхронного электропривода компрессорной установки, система автоматического регулирования возбуждения и алгоритм оценки энергоэффективности электромеханической системы.

Методы исследования. В работе использованы современные методы теории синхронного электропривода, обработки и хранения данных, математической статистики, математического моделирования синхронных двигателей, определения энергоэффективности и мощности в процессе сжатия газа, статистические и аналитические методы расчета результатов, полученных в разработанных математических моделях.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны математическая модель и структурная схема автоматически управляемой тиристорной системы возбуждения синхронного двигателя компрессорной станции;

разработаны система энергосбережения и алгоритм определения возможности компенсации реактивной мощности путем автоматического регулирования тока возбуждения синхронного двигателя с учетом нагрузок в различных режимах работы для использования газоперекачивающего агрегата в качестве компенсатора компенсации реактивной мощности;

разработаны математические модели энергетических параметров синхронного двигателя газоперекачивающего агрегата компрессорной станции при переменной частоте управления с учетом законов управления;

разработана методика определения энергоэффективности газоконпрессорной станции на основе определения удельной нормы расхода электроэнергии с учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы;

разработаны математические модели энергоэффективности компрессорных установок в сезонных режимах работы с учетом технологических и эксплуатационных факторов, влияющих на энергоэффективность при транспортировке газа.

Практический результат исследования состоит в следующем:

усовершенствована методика определения энергоэффективности компрессорной установки, работающей с различными системами управления на основе модернизации существующей системы возбуждения генератора постоянного тока синхронного двигателя на автоматически управляемую тиристорную систему возбуждения;

с учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы газоперекачивающего агрегата, разработаны энерго- и ресурсосберегающие режимы работы электромеханической системы «преобразователь частоты - двигатель - компрессор»;

разработана методика и алгоритм определения энергоэффективности газоконпрессорной станции с учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы.

Достоверность результатов исследования. Результаты проведенных исследований были эффективно обработаны с применением методов, используемых на основе модели надежности и математических моделей, охватывающих соответствующие разделы теории электропривода, обработки экспериментальных результатов, систематического анализа полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость исследования заключается в том, что на основе автоматически управляемой тиристорной системы возбуждения синхронного

двигателя компрессорной станции разработаны его математическая модель и структурная схема; разработаны математические выражения энергетических показателей частотно-регулируемых электроприводных компрессорных установок на основе законов управления; разработаны математические модели энергоэффективности компрессорных установок в сезонных режимах работы в процессе транспортировки газа.

Практическая значимость исследования заключается в том, что для использования газоперекачивающих агрегатов в качестве компенсатора реактивной мощности разработана энергосберегающая система и программное обеспечение для определения возможности компенсации реактивной мощности путем автоматического регулирования тока возбуждения синхронного двигателя с учетом нагрузок в различных режимах работы; разработана методика и алгоритм определения энергоэффективности газоконпрессорной станции с учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных научных результатов по повышению энергоэффективности компрессорной станции на основе управляемых электроприводов:

с учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы, в «Каганское магистральное газопроводное управление» АО «Узтрансгаз» внедрена методика определения энергоэффективности газотранспортной компрессорной станции и удельной нормы расхода электроэнергии в установке (справка Минэнерго №13-3631 от 15 июля 2022 года). В результате была определена и внедрена удельная норма расхода электроэнергии при транспортировке природного газа, что позволило сэкономить потребление электроэнергии на 3%;

разработана система энерго- и ресурсосбережения путем автоматического регулирования тока возбуждения синхронного двигателя для использования газоперекачивающего агрегата в качестве компенсатора реактивной мощности с учетом нагрузок в различных режимах работы, и установлена возможность компенсации реактивной мощности (справка Минэнерго №13-3631 от 15 июля 2022 года). В результате удалось покрыть 5 198 400 кВар·ч реактивной энергии в год за счет увеличения коэффициента мощности сети, снижения потерь активной мощности в кабельной линии и обмотке статора двигателя. Экономический эффект составил 332 697 600 (триста тридцать два миллиона шестьсот девяносто семь тысяч шестьсот) сум

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 12 научно-технических конференциях, в том числе на 10 международных и 2 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, из них 1 учебное пособие, 7 научных статей, в том числе 4 - в республиканских и 3 - в зарубежных научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, а также получено 5 свидетельств на программу ЭВМ Агентства по

интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 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 «**Современное состояние газоперекачивающего агрегата в нефтегазовой отрасли, перспективы развития и вопросы управления**» систематизирована литература и представлен анализ исследований по вопросам тенденции роста потребления природного газа в республике за последние годы, динамики и управления режимами работы синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата в газотранспортной системе через частотный регулятор, повышения энергоэффективности системы, систем возбуждения синхронного двигателя (СД) газоперекачивающего агрегата и их автоматической регулировки. В настоящее время газоперекачивающий агрегат компрессорной станции рассматривается по режимам работ с учетом типов приводов и технологических процессов. Технологическая схема синхронных электроприводных газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции представлена на рис. 1.

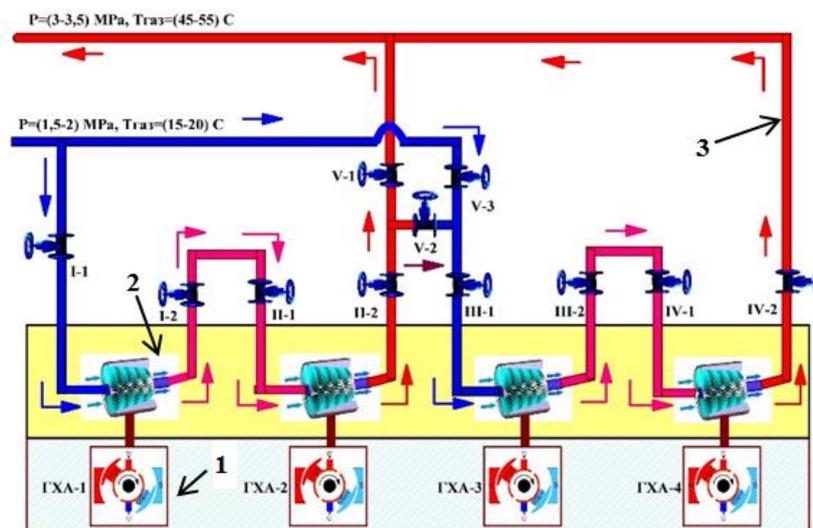


Рис. 1. Технологическая схема синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата компрессорного цеха: 1-синхронный двигатель; 2- центробежный компрессор; 3 – трубопровод

Определено, что публикации посвященные развитию энергоэффективности процессов сжатия и транспортировки газа, не достаточно освещены, особенно вопросы, касающиеся управляемыми электроприводами, обеспечивающими повышение энергоэффективности технологических процессов в нефтегазовой отрасли.

На основании проведенного научного анализа и наших исследовательских и практических работ в проведенной в компрессорном цехе «Когонского управления магистральных газопроводов» определены цели и задачи исследования.

Во второй главе диссертации «**Математические модели и структурные схемы энергосберегающего управляемого синхронного электропривода газоперикачивающего агрегата**» разработаны структурная схема и математические модели управляемого синхронного электропривода ГПА. На основании энергетических параметров частотно-регулируемого синхронного электропривода компрессорного устройства разработаны имитационная модель и структурная схема режима асинхронного пуска синхронного электропривода в ГПА. Разработаны имитационная модель и структурная схема регулирования напряжения синхронного электропривода, режимы пуска с преобразователя частоты в ГПА.

Математическая модель синхронного электропривода ГПА d и q осями описывается следующими дифференциальными уравнениями.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_d}{dt} &= u_d + \omega \cdot \psi_q - R_c \cdot i_d \\ \frac{d\psi_q}{dt} &= u_q - \omega \cdot \psi_d - R_c \cdot i_q \\ \frac{d\psi_f}{dt} &= u_f - R_f \cdot i_f \\ \frac{d\psi_{yd}}{dt} &= -R_{yd} \cdot i_{yd} \\ \frac{d\psi_{yq}}{dt} &= -R_{yq} \cdot i_{yq} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где, u_f - напряжение возбуждения сети; $R_c, R_f, R_{yd} = R_{yq}$ - активные сопротивления статора, катушки возбуждения и амортизатора; ψ_d, ψ_q - упругость магнитного потока в осях, Вб; i_d, i_q - токи по осям, А.

С учетом всех представленных результатов, уравнение статического момента для управляемой электроприводной компрессорной установки выражается следующим образом:

$$M_c = M_{c.б} + (M_{c.н} - M_{c.б}) \cdot (n/n_n)^2 = \frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta} + \left(\frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot \eta} \right) - \text{Н} \cdot \text{м} \quad (2)$$

$$\frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \eta} \cdot \left(\frac{13,34 \cdot Z \cdot T_1 \cdot p \cdot Q_2 (\varepsilon^{0.3} + 1)}{2 \cdot \pi \cdot f^2 \cdot \eta \cdot 60} \right)^2$$

Рассмотрены вопросы управления пусковыми режимами газоперекачивающих агрегатов с помощью частотно-регулируемых электроприводов. Одними из основных показателей частотно-регулируемых синхронных электроприводов являются их энергетические параметры. Энергетические параметры частотно-регулируемого синхронного электропривода в газоперекачивающих агрегатах выражаются через технологические параметры.

Коэффициент сжатия синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата по технологическим и энергетическим показателям определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\left(\frac{m \cdot \eta \cdot \rho_z \cdot (K_e \cdot U \cdot i_{\theta} \sin \theta \cdot 2 \cdot x_{\theta} \cdot F + \rho_z \cdot U^2 \cdot \sin \cdot 2 \cdot \theta \cdot x_{ad})}{26,68 \cdot x_{\theta} \cdot x_{ad} \cdot F \cdot Z \cdot T_1 \cdot Q_2} - 1 \right)^{10}} \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата выражается следующим образом:

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{r_{a\theta}}{\frac{r_1}{F} + r_{a\theta}} + \frac{\left[\left(\frac{r_1}{F} + r_{a\theta} \right)^2 + (x_{1n} + x_{a\theta})^2 \right] \left(r_b + K_{\theta}^2 f_n K_{cm} F \right)_b^2}{m \frac{U^2}{F} \left(\frac{r_1}{F} + r_{a\theta} \right)} \quad (4)$$

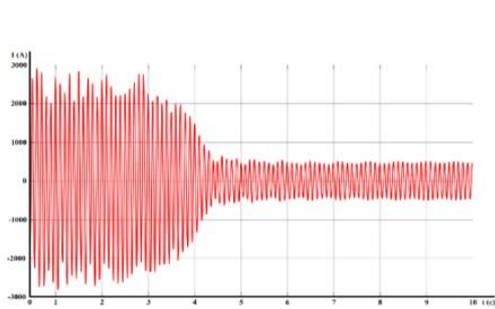
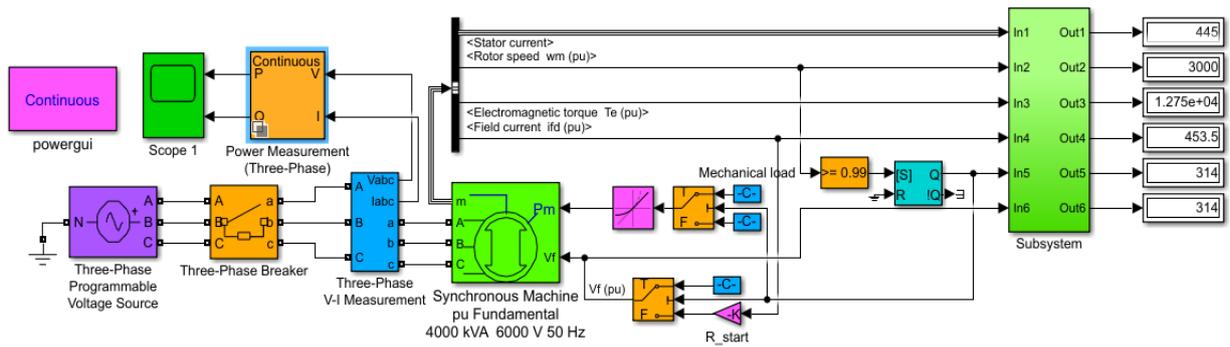
Коэффициент мощности синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата выражается следующим образом:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{r_1}{F} + r_{a\theta}}{\sqrt{\left(\frac{r_1}{F} + r_{a\theta} \right)^2 + (x_{1n} + x_{a\theta})^2}} \quad (5)$$

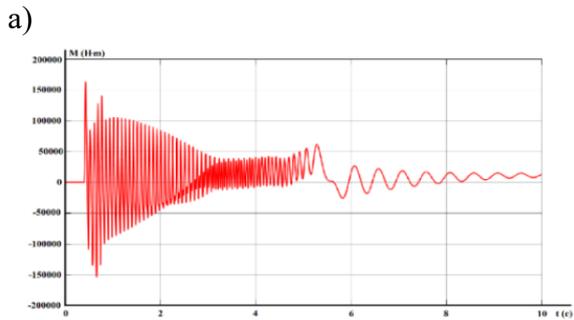
На основе законов управления разработаны математические модели энергетических параметров синхронного двигателя газоперекачивающего агрегата компрессорной станции с переменной частотой регулирования.

В настоящее время достаточно актуальным является вопрос пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции. Режимы пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата рассматриваются в следующих 3-х различных вариантах (рис. 2-4): 1. Асинхронный пуск синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата; 2. Пуск синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата через тристорный преобразователь напряжения; 3. Пуск синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата через преобразователь частоты.

На рисунках 2-4 представлены имитационные модели пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата с помощью асинхронного пуска, преобразователя напряжения и частоты, графики изменения пускового тока и электромагнитного момента во времени.

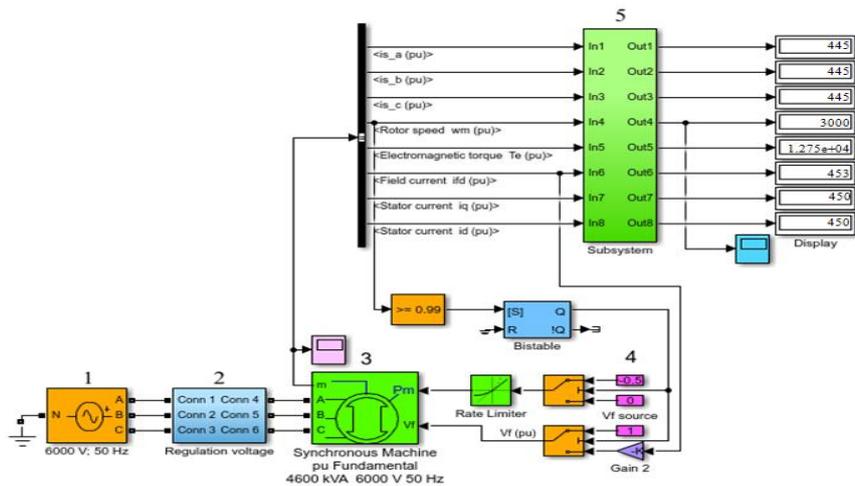


б)

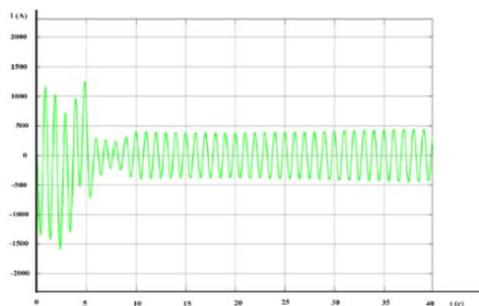


в)

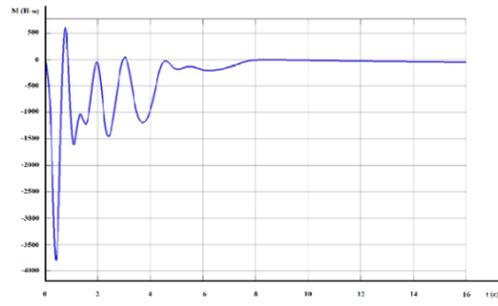
Рис. 2. Имитационная модель (а), графики пускового тока (б) и электромагнитного момента (с) асинхронного пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата



а)



б)



в)

Рис. 3. Имитационная модель (а), графики пускового тока (б) и электромагнитного момента (с) пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата через

преобразователь напряжения

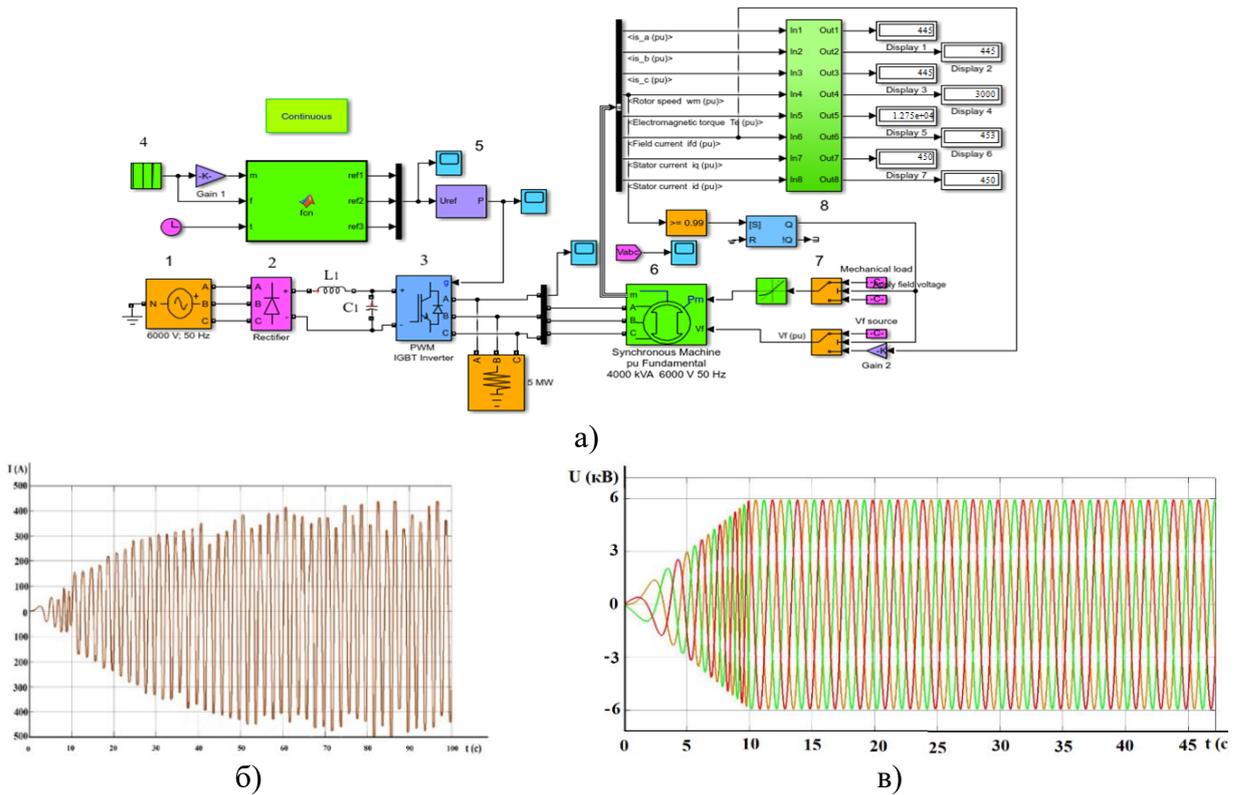


Рис. 4. Имитационная модель (а), графики пускового тока (б) и напряжения, подаваемого на статор (с) пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата через преобразователь частоты

На основании экспериментальных исследований, сравнительные значения режимов пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на основе графиков, полученных в имитационных моделях, представлены в таблице 1.

Таблица 1
Сравнение пусковых режимов синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата в различных системах управления

Показатель	Асинхронный пуск	Плавный пуск с ТПН	Частотный пуск	Частотный пуск / асинхронный пуск
Ток статора, I (А)	3115	890	445	7
Электромагнит момент, М (кН*м)	38,1	25,46	12,73	3
Время пуска, т (с)	5	15	25	5
Ток возбуждения I _f (А)	241	209	188	0,78
Мощность привода, Р (МВт)	3,9	3,7	3.2	0,82

Анализ результатов подтвердил необходимость выбора способа пуска синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата, применяемого в электроэнергетических системах. Запуск синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата через преобразователь частоты независимо от

режима работы по сравнению с преобразователем напряжения и асинхронным пуском, позволяет улучшить динамические процессы, снизить потери энергии. Как следствие, это приводит к увеличению продолжительности работы двигателя. Также за счет использования оптимального способа пуска синхронного электропривода, газоперекачивающий агрегат снижает вероятность аварийных ситуаций в системах электромеханического и электроснабжения.

В третьей главе диссертации «**Энергоэффективные режимы работы компрессорных установок на основе регулируемых электроприводов в процессе транспортировки газа**» установлен закон регулирования тока возбуждения и напряжения частотно-регулируемого синхронного двигателя при различных нагрузках, разработана математическая модель и структурная схема синхронного электропривода компрессорной установки с системой автоматического регулирования возбуждения (АРВ), спроектирована синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата с учетом технологических процессов. Исследована возможность использования управляемых компрессорных установок в качестве синхронного компенсатора при различных режимах нагрузки и разработана методика определения энергоэффективности управляемых синхронных электроприводных компрессорных установок.

На рис. 5 представлена блок-схема управления автоматически управляемой тиристорной системой возбуждения синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции за счет наименьших энергозатрат, на рисунке 6 представлена блок-схема управления системой с генератором постоянного тока за счет постоянного коэффициента мощности ($\cos\varphi$).

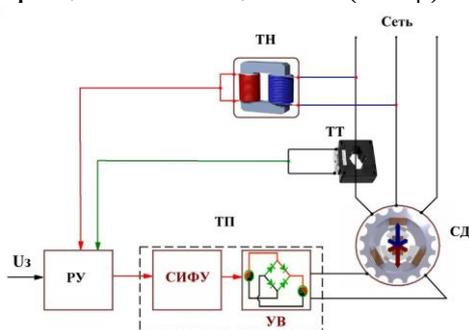


Рис. 5. Блок-схема управления АРВ СД с наименьшими потерями энергии

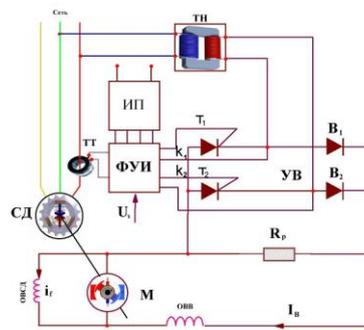


Рис. 6. Блок-схема АРВ при постоянном $\cos\varphi$

Система регулирования тока возбуждения, обеспечивающая наименьшие потери энергии, может быть построена с использованием двух обратных связей - трансформаторов напряжения (ТН) и тока (ТТ) через напряжение статора. Согласно блок-схеме, представленной на рис. 5, установка, реализующая закон управления (УУ), получает питание через систему импульсно-фазового управления (СИФУ) и цепи возбуждения СД. Ко входу воздействующих сигналов подключен тиристорный преобразователь (ТП), состоящий из управляющего преобразователя (УБ). Для поддержания постоянного давления от компрессора с учетом технологических процессов и нагрузки, давление в качестве обратной связи подключается к КК через датчик давления. В результате возможно

управление автоматически управляемой тиристорной системой возбуждения синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата с минимальными энергозатратами.

Структурная схема автоматически управляемой тиристорной системы возбуждения синхронного двигателя компрессорной станции представлена на рисунках 7 и 8.

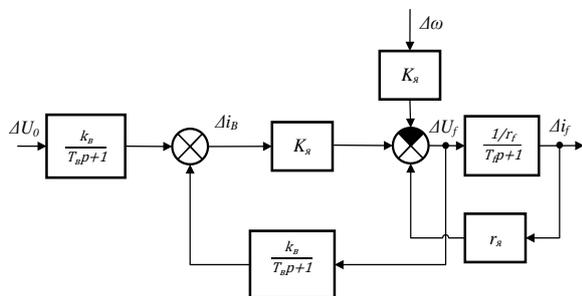


Рис. 7. Структурная схема системы АВР СД

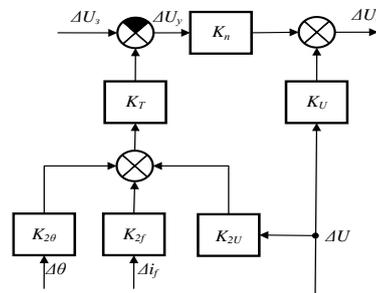
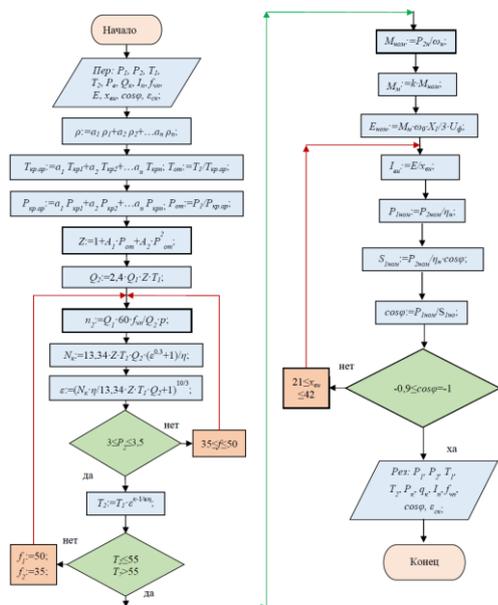
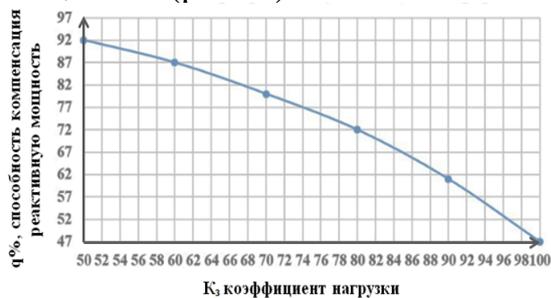


Рис. 8. Структурная схема петли обратной связи системы возбуждения

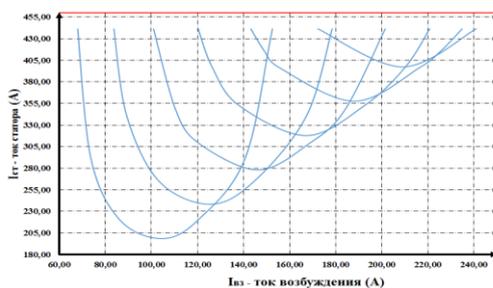
В исследовательской работе с учетом нагрузок при различных режимах работы газоперекачивающего агрегата изучалась возможность использования синхронного двигателя в качестве компенсатора реактивной мощности путем автоматического тиристорного регулирования тока возбуждения. В результате был разработан алгоритм, позволяющий осуществлять компенсацию реактивной мощности с учетом технологических процессов при различных нагрузках. На основе алгоритма создано программное обеспечение и получено свидетельство на программу ЭВМ Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. На основе построения U-образной характеристики синхронной машины определена возможность компенсации реактивной мощности (рис. 9).



а)



б)



в)

Рис. 9. Алгоритм использования синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции в качестве компенсатора с учетом технологических требований (а), возможности компенсации реактивной мощности (б), U-образные графики синхронного двигателя (с)

Рассмотрены вопросы проектирования синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции с учетом различных нагрузочных режимов работы и получено математическое выражение для определения коэффициента сжатия давления газа. В результате удалось определить температуру и давление газа, выходящего из агрегата при различных нагрузках.

За счет применения цифрового электронного тиристора в системе возбуждения компрессорной установки с синхронным двигателем обеспечивается коэффициент мощности, равный единице ($\cos\varphi=1$), в результате повышается энергоэффективность электромеханической системы. В исследовательской работе рассмотрены вопросы экономии электроэнергии за счет автоматического управления системой возбуждения при различных режимах работы компрессорной установки. Определение энергоэффективности управляемых синхронных электроприводных компрессорных установок делится на 5 основных частей: снижение потерь за счет компенсации реактивной мощности, потребляемой компрессорной установкой с синхронным двигателем; снижение потерь в кабельной линии за счет снижения суммарного тока компрессорной установки с синхронным двигателем; снижение потребления мощности за счет модернизации системы возбуждения компрессорной установки с синхронным двигателем; снижение потерь в статоре компрессорной установки с синхронным двигателем;

снижение нагрева катушек статора и ротора по сравнению с номинальным режимом работы компрессорной установки с синхронным двигателем.

Разработаны и внедрены в практику алгоритм и методика определения энергии эффективности системы возбуждения синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции (рис. 10). Получено свидетельство на программу ЭВМ Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на методику и алгоритм определения энергоэффективности тиристорно-управляемого синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции.

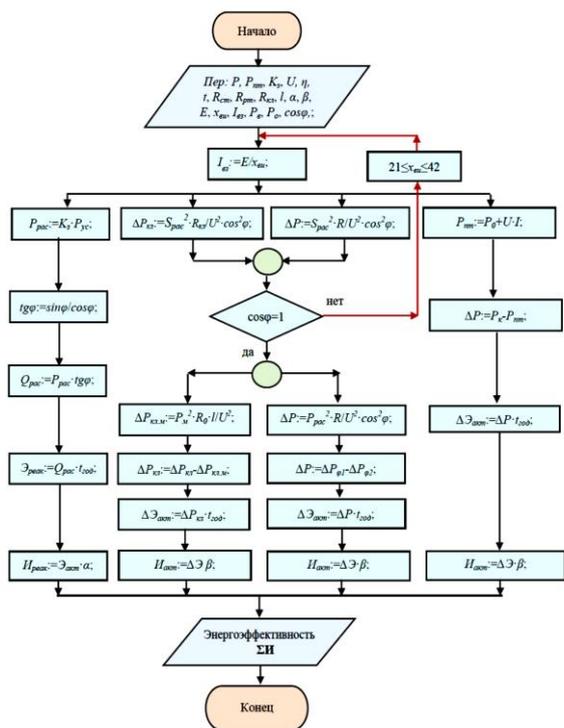


Рис. 10. Алгоритм определения энергоэффективности тиристорно-управляемого синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции

В четвертой главе диссертации «**Экспериментальные исследования и оценка энергоэффективности компрессорных устройств при транспортировке газа**» исследуются факторы, влияющие на энергоэффективность компрессорных установок при транспортировке газа; Разработаны математические модели энергоэффективности компрессорных установок в зимнем и летнем режимах работы с учетом технологических и эксплуатационных факторов в процессе транспортировки газа; исходя из целесообразности внедрения управляемых электроприводов компрессорных устройств в процесс транспортировки газа.

Энергоэффективность компрессорных агрегатах оказывает существенное влияние на общую энергоэффективность предприятия нефтегазовой отрасли. С учетом внешних и внутренних факторов для определения удельных норм расхода электроэнергии на транспортировку 1000 м³ природного газа применяют комбинированный метод, расчетно-аналитический, экспериментальный и расчетно-статистический методы. Разработка математической модели технологического процесса ГПА компрессорной станции в зависимости от поставленной задачи включает в себя следующие задачи: минимизация расхода энергоресурсов, повышение энергоэффективности, повышение надежности и скорости управления, а также повышение коэффициента энергоэффективности оборудования.

На энергоэффективность ГПА компрессорной станции влияют следующие основные внешние и внутренние факторы и режимы работы агрегата: давление и температура газа на входе в компрессор, давление и температура газа на выходе из компрессора, коэффициент сжатия компрессора, температура наружного воздуха, токи возбуждения и статора синхронного двигателя, потребляемая мощность и энергия компрессоров, коэффициент нагрузки синхронного двигателя ГПА, плотность поступающего газа компрессор, КПД компрессора.

В то же время эти факторы влияют на удельную норму расхода электроэнергии на транспортировку газа. Удельная норма расхода электроэнергии на газотранспортный процесс состоит из следующих функций.

$$N = f(P_1, P_2, T_1, T_2, \varepsilon, T_x, I_k, I_{cm}, P, k_{ю}, \rho, Q_{сут}, W) \quad (6)$$

На рисунке 11 представлена структура основных факторов, влияющих на процесс транспортировки газа на компрессорной станции.



Рис. 11. Структура основных факторов, влияющих на процесс транспортировки газа на компрессорной станции

Измерения на исследовательском объекте проводились в 2021-2022 гг., и при сравнении результатов было установлено, что относительное потребление электроэнергии в летний и зимний сезоны различались в 2 раза. Влияние температуры наружного воздуха на технологические процессы определяли по результатам экспериментальных измерений и количеству электроэнергии, расходуемой на транспортировку 1000 м³ природного газа, с учетом режимов летнего времени.

Незначительные факторы на основе корреляционного и дисперсионного анализа, влияющие на удельный расход электроэнергии в процессе транспортировки газа, не учитывались.

На основе экспериментальных данных и регрессионного анализа построена математическая модель удельной нормы электрической энергии при транспортировке 1000 м³ газа с учетом летнего и зимнего временных режимов в зависимости от температуры газа, поступающего в компрессор T_1 , температуры газа, выходящего из компрессора T_2 , коэффициента сжатия компрессора ε , температуры наружного воздуха T_x , тока возбуждения синхронного двигателя $I_{вз}$, суточной электроэнергии, потребляемой компрессорами W , суточного объема газа в компрессоре $Q_{сут}$.

Математическая модель удельной нормы расхода электроэнергии при транспортировке 1000 м³ газа для летних режимов компрессорной станции:

$$N_{KC} = 23,23750 - 0,02795 \cdot T_1 + 0,04784 \cdot T_2 - 3,73921 \cdot \varepsilon - 0,03046 \cdot T_x - 0,0059 \cdot I_{вз} + 0,00013 \cdot W - 2,32758 \cdot Q_{сут} \quad (7)$$

Математическая модель удельной нормы расхода электроэнергии при передаче 1000 м³ газа для зимних режимов компрессорной станции:

$$N_{KC(зимний)} = 13,47657 + 0,01093 \cdot T_1 - 0,00927 \cdot T_2 + 0,61327 \cdot \varepsilon - 0,00728 \cdot T_x - 0,00009 \cdot I_{вз} + 0,00013 \cdot W_{сут} - 1,83150 \cdot Q_{сут} \quad (8)$$

С учетом технологических процессов проверка адекватности модели удельной нормы электроэнергии при транспортировке 1000 м³ газа показала, что расхождение между результатами моделирования и фактическими результатами для газоперекачивающего агрегата с синхронным приводом СТМ-4000 составило менее 2,09%. Анализ соответствия модели исходным данным показывает, что полученные результаты являются достаточно точными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам научной работы «Повышение энергоэффективности компрессорных установок на базе управляемых электроприводов» диссертации доктора философских наук (PhD) представлены следующие выводы:

1. С учетом законов управления разработаны математическая модель и структурная схема автоматически управляемой тиристорной системы возбуждения синхронного двигателя газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции с переменной частотой управления. В результате компрессорная установка позволила автоматически управлять системой

возбуждения синхронного двигателя.

2. Проанализированы и смоделированы пусковые режимы синхронного двигателя газоперекачивающих агрегатов на компрессорной станции в различных системах управления. В результате установлено, что плавность пусковых процессов обеспечивается за счет снижения пускового тока частотно-регулируемой электромеханической системы в 6 раз, крутящего момента в 3 раза, срок службы увеличивается за счет улучшения динамических режимов газоперекачивающих агрегатов.

3. Разработаны математические выражения энергетических параметров синхронного двигателя газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции с переменной частотой регулирования с учетом законов управления и технологических процессов. В результате был определен КПД электромеханической системы по энергетическим показателям в различных режимах нагрузки.

4. С учетом основных факторов, влияющих на технологические процессы, разработана методика и алгоритм определения энергоэффективности газоконпрессорной станции и удельной нормы расхода электроэнергии в установке. В результате определена и внедрена в практику АО «Узтрансгаз» АО «Каганского магистрального газопроводного управления» сравнительная норма расхода электроэнергии на транспортировку 1000 м³ природного газа для компрессорной установки с синхронным двигателем СТМ-4000, что позволило сэкономить потребление электроэнергии на 3%.

5. С целью улучшения показателей энергоэффективности газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции модернизирована существующая система возбуждения генератора постоянного тока синхронного двигателя СТМ-4000 на автоматически управляемую тиристорную систему возбуждения и «Каганским управлением магистральных газопроводов» внедрена методика определения энергоэффективности компрессорного устройства, работающего с различными системами управления. В результате годовая экономическая эффективность позволила снизить сравнительную норму расхода электроэнергии при передаче 1000 м³ природного газа на 2,5 кВт·ч по сравнению с существующей системой управления.

6. С учетом технологических процессов определена возможность и предел компенсации реактивной мощности на газоконпрессорных станциях, используемых на предприятии магистральных газопроводов нефтегазовой отрасли. В результате удалось покрыть 5 198 400 кВар·ч реактивной энергии в год за счет увеличения коэффициента мощности сети, снижения потерь активной мощности в кабельной линии и статорной обмотке двигателя. Экономическая эффективность составила 332 697 600 сум в год.

7. Разработаны математические модели энергоэффективности компрессорных установок в зимнем и летнем режимах работы на основе регрессионного анализа с учетом основных технологических и эксплуатационных факторов в процессе транспортировки газа. В результате удалось определить энергоэффективность в режимах работы синхронного двигателя, а также сравнить ее с экспериментальными результатами.

**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**

BUKHARA ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL INSTITUTE

MIRKHONOV UTKIR KAKHRAMONOVICH

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF COMPRESSOR UNITS
BASED ON CONTROLLED ELECTRIC DRIVES**

05.05.01 – Energy systems and complexes

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

Tashkent – 2023

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 № B2020.2.PhD/T1618

The dissertation was completed at the Bukhara engineering-technological institute.

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.ziynet.uz).

Scientific supervisor:	Toirov Olimjon Zuvurovich Doctor of Technical Sciences, Professor
Official opponents:	Karshibaev Askarbek Ilashevich Doctor of Technical Sciences, Professor Khoshimov Ural Khoshimovich Doctor of Philosophy in Engineering Sciences, PhD
Leading organization:	Fergana Polytechnic Institute

The defense will take «__» _____ 2023 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 «__» _____ 2023 year.
(mailing report № «__» on «__» _____ 2023 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

O.KH. Ishnazarov
Chairman of the scientific seminar under Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research in improving the energy efficiency of compressor devices based on controlled electric drives.

The tasks of the research analysis of control methods for synchronous motors, compressor devices, dynamic modes of operation, excitation systems and issues of their automatic control during gas transportation;

development of a mathematical model and block diagram of an automatically controlled thyristor excitation system based on the analysis of the existing excitation system of a synchronous motor of a gas compressor unit of a compressor station;

determine the possibility of reactive power compensation by automatic control of the excitation current of a synchronous motor, taking into account loads in various operating modes for use as a compensator for reactive power compensation of gas compressor units;

analysis of the energy efficiency of a frequency-controlled synchronous motor of gas pumping units at a compressor station, taking into account technological processes;

analysis and simulation of start-up modes of a synchronous motor of a gas compressor unit of a compressor station in various control systems;

analysis of factors affecting the energy efficiency of compressor devices based on an electric drive controlled during gas transportation, and development of a methodology and algorithm for determining the energy efficiency of an electromechanical system;

development of mathematical models of energy efficiency of compressor units in winter and summer operating modes, taking into account technological and operational factors in gas transportation.

The object of research is the controlled synchronous electric drive operation of compressor devices in the process of pumping gas.

The scientific novelty of the work is as follows:

on the basis of an automatically controlled thyristor excitation system of a synchronous motor of a compressor station, its mathematical model and block diagram have been developed;

to use gas pumping units as a reactive power compensation compensator, an energy saving system and an algorithm for determining the possibility of reactive power compensation due to automatic control of the excitation current of a synchronous motor, taking into account loads in various operating modes, have been developed;

on the basis of control laws, mathematical models of the energy efficiency of a synchronous motor of a gas compressor unit of a compressor station with a variable control frequency have been developed;

taking into account the main factors influencing technological processes, a methodology has been developed for determining the energy efficiency of a gas transmission compressor station based on determining the specific norms of consumed electricity;

seasonal compressor devices are developed on the basis of mathematical models of energy efficiency, technological and operational factors that affect energy efficiency in gas transportation.

Implementation of the research results.

Based on the obtained scientific results on improving the energy efficiency of a compressor station based on controlled electric drives:

taking into account the main factors influencing technological processes, a methodology for determining the energy efficiency of a compressor station transporting natural gas and the specific rate of electricity consumed in the device has been introduced in the Kogon Department of Main Gas Pipelines of Uztransgaz JSC. (Certificate No. 13-3631 Ministry of Energy dated July 15, 2022). As a result, the specific rate of electricity consumption for the transmission of natural gas was determined and implemented, which made it possible to save electricity consumption by 3%.

In order to use gas pumping units as a reactive power compensator, a system of energy and resource saving was developed by automatically regulating the excitation current of a synchronous motor, taking into account loads in various operating modes, as well as the possibility of reactive power compensation was determined (Certificate No. 13-3631 Ministry of Energy dated July 15, 2022). As a result, it was possible to cover 5,198,400 kvar•hours of reactive energy per year by increasing the power factor of the network, reducing active power losses in the cable line and the motor stator winding. The economic effect amounted to 332,697,600 (three hundred thirty-two million six hundred ninety-seven thousand six hundred) soums.

The structure and volume of the research work.

The structure of the dissertation consists of an introduction and four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (часть; I part)

1. Тоиров О.З., Бекишев А.Е., Мирхонов У.К. Электр машиналари // Ўқув қўлланма. – Тошкент: Наврўз, 2021. – 200 б.

2. Toirov O.Z., Toirov Z.T., Mirkhonov U.K., Otayarov J.O. Overview of Compressor Installations and Issues of Their Energy saving // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2019. Vol.6, N10. P.11446-11452. (05.00.00; №8).

3. Toirov O.Z., Mustafaqulova G.N., Mirkhonov U.K. Principles for Controlling the Excitation of Synchronous Motors of the Compressor Installation // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2020. Vol.7, N5. P.13876-13881. (05.00.00; №8).

4. Тоиров О.З., Тошев Ш.Э., Бекишев А.Е., Мирхонов У.К. Возможности управления током возбуждения синхронных двигателей Джизакской насосной станции в качестве синхронного компенсатора // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2020. №6. С 53-62. (05.00.00; №21).

5. Камалов Т.С., Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Компрессор қурилмаларида синхрон моторларнинг қўзғатишини бошқариш принциплари // Фан ва технологиялар тараққиёти. Бухоро, 2021. №4. С. 151-159. (05.00.00; № 24).

6. Махмудов М.И., Ражабов Ф.З., Мирзаев Н.Н. Проектирование микропроцессорного оптоэлектронного измерителя частоты вращения вала двигателя и разработка алгоритма // Фан ва технологиялар тараққиёти. Бухоро, 2021. №1. С. 165-172. (05.00.00; № 24).

7. Toirov O.Z., Sharopov F.Q., Mirkhonov U.K. Issues of Determining Energy Efficiency When Replacing Lightly Loaded Motors in General Industrial Mechanisms // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. -India, 2022. Vol.9, №9. P.19802 -19809. (05.00.00; №8).

8. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. «Нефт - газ саноатидаги тиристорли бошқарилувчи синхрон двигателли компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси // Информатика ва энергетика муаммолари. Тошкент, 2022. №2. 58-67 бет (05.00.00; №21).

II бўлим (II часть; II part)

9. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Компрессорлар хақида умумий маълумот // «Замонавий ишлаб чиқаришнинг муҳандислик-технологик муаммоларининг инновацион ечимлари» мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжуман материаллари. Бухоро, 2019 й. 231-233 б.

10. Тоиров О.З., Мирхонов У.К., Отаяров Ж.О. Компрессор станцияларида энергияни тежашнинг замонавий усуллари // «Энергетика соҳасини ривожлантиришда муқобил энергия манбаларининг роли» мавзусидаги халқаро илмий - амалий анжуман материаллари. - Наманган, 2021. 40-44 б.

11. Тоиров О.З., Бекишев А.Е., Мирхонов У.К. Использование синхронных двигателей на насосной станции в качестве синхронных компенсаторов при работе нагрузкой // «Энергетика соҳасини ривожлантиришда муқобил энергия манбаларининг роли» мавзусидаги халқаро илмий - амалий анжуман материаллари. - Наманган, 2021. 44-47 б.

12. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Управления токам возбуждения синхронных двигателей компрессорных установок нефтегазовой промышленности // Материалы международной научно - технической конференции «Актуальные проблемы системы электроснабжения». - Ташкент, 2021. С. 81-82.

13. Тоиров О.З., Мирхонов У.К., Уроков С.Э., Жумаева Д.Ж. Математическая модель и структурная схема синхронного двигателя компрессорной установки с системой автоматического регулирования возбуждения // Материалы международного симпозиума «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021: SUSE-2021». -Казан, 2021. С. 50.

14. Kamalov T.S., Toirov O.Z., Mirkhonov U.K., Urokov S.E., Jumaeva D.J. The mathematical model and a block diagram of a synchronous motor compressor unit with a system of automatic control of the excitation // E3S Web of Conferences, SUSE-2021 (2021), 01116 (Scopus).

15. Toirov O.Z., Mirkhonov U.K. Automatic control of synchronous motor excitation // «Саноат инженериясининг долзарб муаммолари» мавзусидаги республика илмий - техник анжуман материаллари. - Бухоро, 2021. 404-407 б.

16. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Оптимизация энергопотребления // «Саноат инженериясининг долзарб муаммолари» мавзусидаги республика илмий - техник анжуман материаллари. - Бухоро, 2021. 513-514 б.

17. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Компрессор станциясидаги синхрон электр юритмали газ ҳайдаш агрегатини “тўғридан-тўғри” ишга туширишни имитацион модели // «Иқтисодиётни рақамлаштириш шароитларида энергетиканинг долзарб муаммолари» мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжумани материаллари. – Бухоро, 2022. 431- 435 б.

18. Тоиров О.З., Амонов Н.С., Мирхонов У.К. Компрессор станциялардаги синхрон двигателларни қўзғатиш тизимининг самарадорлигини аниқлаш услуги // «Нефт ва газ саноатида таълим ва ишлаб чиқариш кластерини ривожлантиришда инновацион ёндашувлар» мавзусидаги халқаро илмий - техник анжуман материаллари. -Тошкент, 2022. 248-250 б.

19. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Электр юритмали газ ҳайдаш агрегатларининг асосий турлари ва қурилмалари таҳлили // «Нефт ва газ саноатида таълим ва ишлаб чиқариш кластерини ривожлантиришда инновацион ёндашувлар» мавзусидаги халқаро илмий-техник анжуман

материаллари. -Тошкент, 2022. 250-252 б.

20. Тоиров О.З., Мирхонов У.К. Компрессор станцияларни модернизация қилиш ҳолатларини таҳлили // «Нефт ва газ саноатида таълим ва ишлаб чиқариш кластерини ривожлантиришда инновацион ёндашувлар» мавзусидаги халқаро илмий - техник анжуман материаллари. -Тошкент, 2022. 260-261 б.

21. Тоиров О.З., Бекишев А.Е., Мирхонов У.К., Нематов Ш.Н. Юкломани ҳисобга олган ҳолда қўзғатиш тоқини бошқариш орқали синхрон двигателларда қопланадиган реактив қувватни ҳисоблашнинг дастурий таъминоти // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги DGU №20211492 14.06.2021.

22. Тоиров О.З., Амонов Н.С., Мирхонов У.К. Нефт-газ саноатидаги тиристорли бошқарилувчи синхрон двигателли компрессор қурилмаларининг энергия самарадорлигини аниқлаш методикаси // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги DGU №20220592 14.02.2022.

23. Тоиров О.З., Шатурсунов Ш.Ш., Мирхонов У.К. Нефт-газ саноатидаги тиристорли бошқарилувчи синхрон двигателли компрессор қурилмаларини юклама иш режимларидаги реактив қувватни қоплаш имконияти // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги DGU №20220597 14.02.2022.

24. Тоиров О.З., Жумаева Д.Ж., Мирхонов У.К. Газ сўргич агрегатидаги синхрон электр юритмани технологик жараёнларни эътиборга олган ҳолда лойиҳалаш ва турли юклама иш режимларида синхрон компенсатор сифатида қўллаш имконияти // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги DGU №20221051 09.03.2022.

25. Toirov O.Z., Sharopov F.Q., Mirxonov U.K. Умумсаноат механизмларида кам юкланган моторларни алмаштиришда энергия самарадорлигини аниқлашнинг дастурий таъминоти // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги DGU №20224588.10.10.2022.