

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАМСУТДИНОВ ҲУСНИДДИН ФАЗЛИДДИНОВИЧ

**ШАРЛИ ТЕГИРМОНЛАРНИНГ АСИНХРОН ЭЛЕКТР
ЮРИТМАСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергетик станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

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

Тошкент – 2023

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

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

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

Шамсутдинов Хусниддин Фазлиддинович Шарли тегирмонларнинг асинхрон электр юритмасини такомиллаштириш	3
Шамсутдинов Хусниддин Фазлиддинович Усовершенствование асинхронного электропривода шаровых мельниц	21
Shamsutdinov Khusniddin Fazliddinovich Improvement of the asynchronous electric drive ball mills.....	39
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАМСУТДИНОВ ҲУСНИДДИН ФАЗЛИДДИНОВИЧ

**ШАРЛИ ТЕГИРМОНЛАРНИНГ АСИНХРОН ЭЛЕКТР
ЮРИТМАСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергетик станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

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

Тошкент – 2023

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.4.PhD/Т1626 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация иши Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рисмухамедов Даулетбек Аманович
техника фанлари номзоди, доцент

Расмий оппонентлар:

Пирматов Нурали Бердиёрович
техника фанлари доктори, профессор

Болтаев Отабек Ташмухамматович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

Етакчи ташкилот:

Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «24» март соат 13:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй). Тел.: (99871) 246-46-00, факс.: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ ____ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./ факс: (99871) 227-03-41.

Диссертация автореферати 2023 йил «11» март куни тарқатилди.

(2023 йил «9» март 3- рақамли реестр баённомаси).



КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда тоғ-кон, металлургия, лак-бўёқ, кимё саноати соҳаларида, шунингдек, қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда шарли тегирмонларни ишга тушириш ва аниқ тўхтатиш муаммоларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги даврда ривожланган мамлакатларда «... ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва технологик жараёни автоматлаштириш ҳамда ишлаб чиқаришга янги технологияларни жорий этиш масалаларини ўрганиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда»¹. Шу муносабат билан ушбу юқори инерцияли механизмларни ишга тушириш жараёнини енгиллаштириш, шунингдек уларнинг аниқ тўхташтини таъминлаш орқали қурилманинг актив қисмларининг хизмат қилиш муддатини ошириш имконини берувчи, энергия ва ресурсларни тежайдиган янги электр юритмаларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ростланувчи электр юритмалари ёрдамида ушбу механизмларни такомиллаштириш орқали мавжуд электр юритмаларининг иш фаолиятини яхшилашга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, майдалаш механизмларининг электр эритмаси талабларига жавоб берадиган кўп тезликли моторлар асосида ростланувчи электр юритмаларини ишлаб чиқиш устувор вазифалардан биридир. Шу билан бирга, кўп тезликли моторларда қўлланиладиган яхшилланган электр магнит хусусиятларга ва содда ишлаб чиқариш технологиясига эга қутблар сони ўзгарувчан чулғамларнинг янги схемаларини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда электр энергияси ва ресурсларидан оқилона фойдаланишга хизмат қилувчи янги технологияларни ишлаб чиқиш ва амалиётга жорий этиш бўйича кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида Ўзбекистон энергетика тизимини янада ривожлантириш, хусусан, «Саноат тармоқларидаги исрофларни камайтириш ва ресурслардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш»² вазифалари белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда юқори инерцияли майдалаш механизмларини поғонали ишга тушириш ва аниқ тўхтатишни таъминлайдиган битта қутблар сони ўзгарувчан чулғамли кўп тезликли асинхрон моторларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш учун ечимни ишлаб чиқиш долзарб ва муҳим вазифалардан бири деб ҳисобланади.

Мазкур диссертация тадқиқотлари Ўзбекистон Республикаси Президентининг қуйида кўрсатилган Фармон ва қарорларида белгиланган вазифаларни бажаришга маълум даражада хизмат қилади: 2022 йил 28 январдаги ПФ-60 сон Фармони «2022-2026 йилларда янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида», 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сон

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

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

Фармони «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида», 2016 йил 13 июлдаги ПҚ-2559 сон «Электр энергетика соҳасида илмий-техникавий фаолиятни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012 сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», шунингдек, ушбу соҳада қабул қилинган бошқа норматив–ҳуқуқий ҳужжатларда кўзда тутилган масалаларни бажаришда маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс-тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёнинг йирик саноат компанияларида, етакчи илмий ва олий таълим муассасаларида, жумладан Германиянинг Siemens AG, RWTH Aachen University, ASEA (Швеция), Бухарест политехника университети, Huazhong University of Science and Technology (Хитой), Одесса миллий политехника университети (Украина), Волга давлат муҳандис-педагогика университети (Россия) ҳамда Тошкент давлат техника университетида кўп тезликли моторлар учун қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини ишлаб чиқишда долзарб муаммоларни ҳал қилишга қаратилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда R.Dahlander, W.Fong, G.H.Rawcliffe, R.Rihter, H.Auinger, A.W.Broadway, А.А. Войтек, J.F.Eastham, А.М.Харитонов, В.И.Попов, А.И.Антоненко, М.К.Захаров, В.Н.Ванурин, Л.Я.Беликова каби қатор хорижий олимлар илмий тадқиқотлар олиб боришган.

Республикамиз олимлари орасидан Х.Ғ.Каримов, Ю.А.Тупогуз, М.Қ.Бобожанов, Д.А.Рисмухамедов ва Ф.Н. Тўйчиевлар томонидан қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини ишлаб чиқиш бўйича бир қатор илмий ишларини қайд этиш мумкин.

Эришилган натижаларга қарамай, яратилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамларининг аксарияти клеммалар сонининг кўплиги, энергетик кўрсаткичлари юқори эмаслиги ва тайёрлаш технологияси мураккаблиги туфайли ишлаб чиқаришга кенг жорий этилмаган, шунингдек, оғир иш режимларида ишловчи механизмларнинг электр юритмасида қўлланиладиган ва сўнгги йилларда ишлаб чиқарилаётган моторлар учун қутблар нисбати 2/5 бўлган чулғам схемалари ишлаб чиқилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот режаларига мувофиқ ОТ-Атех-2018-357 «Контактсиз қурилмаларни қўллаш орқали электр таъминоти тизимларининг ишончилиги ва энергия самарадорлигини ошириш» (2018-2020 й.й.) амалий лойиҳаси ҳамда Т-ОТ -2021-229 «Қутблар сони ўзгарувчан чулғамли мотор

асосидаги турбомеханизм қурилмасини яратиш» (2021 й.) мавзусидаги тижоратлаштириш лойиҳаси доирасида бажарилди.

Тадқиқотнинг мақсади шарли тегирмон электр юритмасини қутблар сони ўзгарувчан чулғамли электр моторларни қўллаш орқали такомиллаштириш.

Тадқиқотнинг вазифалари:

майдалаш механизмларини поғонали ишга тушириш ҳамда аниқ тўхтатиш учун икки тезликли моторлардан фойдаланишнинг мақсадга мувофиқлигини асослаш;

2m-2m зонали қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини олиш учун дискрет берилган фазовий функциялар усулини такомиллаштириш;

икки тезликли моторлар учун янги қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқиш ва хоссаларини таҳлил қилиш;

ишлаб чиқилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамга эга бўлган икки тезликли моторларни экспериментал тадқиқ қилиш ва уни майдалаш механизмларининг электр юритмаси талабларига мувофиқлигини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти шарли тегирмонларнинг юритмаларида ишлатиладиган асинхрон моторлардир.

Тадқиқотнинг предмети қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон моторларнинг электр магнит ва энергетик характеристикалари.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида электр машиналари назарияси, қутблар сони ўзгарувчан чулғамларни олиш усуллари, формализациялашган мантиқ, чизиқли алгебра назарияси, электр моторлар иш режимларининг энергетик ва электр магнит характеристикаларини ҳисоблаш усулларида фойдаланган ҳолда вектор ва гармоник таҳлил усулларига асосланган статик ва механик характеристикаларини экспериментал тадқиқ қилиш.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

магнит юритувчи кучларининг тенг тақсимоти асосида дискрет берилган фазовий функциялар усули такомиллаштирилган;

дискрет берилган фазовий функциялар усулини қўллаш асосида янги қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаси ишлаб чиқилган;

Парк-Горев тенгламалари асосида яққа чулғамли икки тезликда ишловчи асинхрон моторнинг математик модели ишлаб чиқилган;

ишга тушириш токи давомийлигининг минимал қийматларини таъминлаш асосида икки тезликли асинхрон моторнинг тезликдан тезликка ўтказиш алгоритми тузилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

янги қутблар сони ўзгарувчан чулғамга эга икки тезликли моторнинг тажриба намунаси ишлаб чиқилган;

экспериментал тадқиқотлар асосида янги икки тезликли моторнинг энергетик ва механик характеристикалари аниқланган;

моторнинг механик характеристикалари майдалаш механизмларининг электр юритмаларига қўйиладиган талабларига мувофиқлиги тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ҳисоблаш йўли ва экспериментал маълумотлар билан олинган икки тезликли мотор параметрлари назарий тадқиқот натижалари билан ўзаро мувофиқлигига асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти 2m-2m зонали кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини олиш учун дискрет берилган фазовий функциялар усулини такомиллаштиришда, шунингдек, шарли тегирмонларнинг электр юритмасидаги статор пазлари сони 30 га тенг бўлган электр моторлари учун электр магнит хусусиятлари яхшиланган ва содда тайёрлаш технологиясига эга кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаси ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, ишлаб чиқилган кутблар сони ўзгарувчан чулғам билан жиҳозланган асинхрон моторни қўллаш, майдалаш механизмларини поғонали ишга тушириш имконини беради ҳамда аниқ тўхтатишни таъминлайди, шунингдек, бир иш цикл давомидаги узиб-улашлар сонининг кескин камайиши сабабли қурилманинг механик қисмларини ва моторнинг ишлаш муддати узайиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Шарли тегирмонларнинг асинхрон электр юритмасини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

икки тезликли асинхрон моторлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасига Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан ихтирога патент олинган (№ IAP 06203, 20.03.2020 й.). Натижада, статор пазлар сони 30 га тенг бўлган магнит ўтказгич асосида кутблар нисбати 2/5 бўлган ҳамда яхшиланган электр магнит хоссалари ва содда тайёрлаш технологиясига эга кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи асинхрон мотор яратилган;

якка кутблар сони ўзгарувчан чулғам билан жиҳозланган икки тезликли асинхрон мотор «Олмалиқ КМК» акциядорлик жамиятига қарашли нодир металлар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқариш бўйича илмий ишлаб чиқариш бирлашмасида ўрнатилган МШ-1 типли шарли тегирмон юритмасида жорий этилган («Олмалиқ КМК» АЖнинг 2022 йил 22 ноябрдаги СЛ-7359 сонли маълумотномаси). Натижада, тегирмоннинг бир кунда қўшимча 450 кг маҳсулотни майдалаши ҳисобига йиллик иқтисодий самарадорлик 132 192 000 сўмни ташкил этган

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 5 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган республика журналларида 4 та, 3 та Scopus базасига кирувчи тўпламларда чоп этилган, шунингдек, 1 та

ихтирога патент сифатида ҳуқуқий муҳофаза ҳамда 1 та ЭҲМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 119 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети келтирилган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва олинган натижаларнинг илмий-амалий аҳамияти, тадқиқот натижалари ишлаб чиқаришга жорий қилинганлиги, диссертация иши мавзуси бўйича тадқиқот натижалари апробацияси ва нашр этилган илмий ишлар тўғрисидаги, шунингдек, диссертация таркиби ва ҳажми тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Шарли тегирмонларнинг электр юритмаларига кутблар сони ўзгарувчан чулғамли электр моторларини қўллашнинг назарий асослари**» деб номланган биринчи бобида майдалаш механизмларининг электр юритмаларида ростланмайдиган асинхрон мотор ўрнига ростланадиган электр моторидан фойдаланишнинг мақсадга мувофиқлиги асосланади.

Шарли тегирмонларни ишга туширишни енгиллаштириш ва кичик тезликдан фойдаланган ҳолда шарли тегирмонларнинг туйнугини аниқ тўхтатишни таъминлаш вазифаси кўриб чиқилган. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, электр юритмаларида тезликни икки тезликли моторларни қўллаш орқали ростлаш оддий, арзон ва ишончли вариантдир.

Мавжуд икки тезликли моторларнинг статор пазларида иккита алоҳида чулғамлар жойлаштирилган, шу сабабли мотор магнит ўзагидан самарали фойдаланилмайди, ўз навбатида статор пазида ягона кутблар сони ўзгарувчан чулғамдан (ҚСЎЧ) фойдаланиш моторнинг энергетик кўрсаткичларини яхшилаш, чулғам миси ва изоляцияловчи материалларни тежаш имконини беради.

Икки тезликли моторлар учун кутблари сони ўзгарувчан чулғам схемаларини қуришнинг мавжуд усуллари ва принципларини қўллаган ҳолда, ишлаб чиқилган чулғам схемаларининг аксариятида клеммалар ва узиб-уловчи контактлар сонининг кўплиги, электр магнит хусусиятларининг ёмонлиги ҳамда тайёрлаш технологиясининг мураккаблиги сабабли амалиётда кенг қўламда қўлланилмайди.

Ишга тушириш жараёнини енгиллаштириш ва ресурсларни тежаш нуқтаи назаридан (моторнинг ўзини ишлаш вақтини ошириш) майдалаш механизмларининг иш режимларини таҳлил қилиш асосида кутблар нисбати 2:5 бўлган кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли мотор яратиш ва

уни қўллаш орқали мавжуд электр юритма тизимларини такомиллаштириш мақсадга мувофиқлиги асослаб берилган.

Диссертациянинг «Қутблар нисбати 2/5 бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиш» деб номланган иккинчи боби «Дискрет-берилган фазовий функциялар» (ДБФФ) усулини қўллаган ҳолда икки тезликли моторлар учун ҚСЎЧ схемаларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Ушбу бобда тақдим этилган ҚСЎЧ қуриш методи ДБФФ кўринишида берилган иккита нормал икки қатламли чулғамнинг тоқлар тақсимотини биргаликда кўриб чиқиш тамойилига асосланади. Мавжуд базавий схемалар (БС) асосида қутблар нисбати бутун сон бўлмаган ҚСЎЧ схемасини ишлаб чиқиш ўзига хос хусусиятларга эга, масалан, «У/УУ» ёки «Δ/УУ» базавий схемалари асосидаги ҚСЎЧ магнит юритувчи куч (МЮК) картинасига қутблар нисбатининг касрлилик таъсирини юмшатиш учун, уни 2m-2m-зонали шаклда ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқ. Шу тариқа моторнинг виброакустик хусусиятларини яхшилаш мумкин. Бундан ташқари, 2m-2m зонали чулғамлар юқори гармоникаларнинг таркиби минимал бўлгани учун, ушбу хосса уларни оғир иш режимида ишловчи моторларда, хусусан, поғонали ишга тушириш учун майдалаш механизмларининг электр юритмаларида ишлатиш имконини беради.

«У/УУ» ёки «Δ/УУ» базавий схемалари асосида ҚСЎЧ схемасини олиш учун қутблардан бирига мос келадиган ДБФФ ни синтез қилиш керак.

Мисол тариқасида, статор пазлар сони $Z=30$ ва қутблар нисбати 2/5 бўлган ҚСЎЧ схемасини олиш жараёнини кўриб чиқамиз. 1-жадвалда «бошланғич» чулғам сифатида қутблар сони $p_2=5$ бўлган нормал 2m зонали чулғам ва «намунавий» чулғам сифатида эса $p_1=2$ бўлган 2m зонали чулғам қабул қилинган.

Ушбу чулғамлар бир қатламининг ток тақсимотини (ДБФФ) иккинчисининг остига ёзамиз:

1-жадвал

2p₁=4 қутбли чулғамни синтезлаш

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Пазлар
a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	p ₂ =5 бошл.
a	a	a	c	c	b	b	b	a	a	c	c	c	b	b	a	a	c	c	c	b	b	a	a	a	c	c	b	b	b	p ₁ =2 намун.
a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	p ₁ =2 син.

Синтезланган чулғамнинг ДБФФ си бошланғич чулғамнинг ДБФФ ни намунавий чулғамнинг ДБФФ билан «модуляция қилиш» орқали олинади. Ушбу жараён асоси сифатида қутблар сони ўзгарувчан чулғам 2p₁ қутб томони тоқлар тақсимланиши ва МЮК чизмасининг намунавий чулғам тоқлар тақсимланиши ва МЮК чизмасига яқинлаштириш принципи қўлланилган. Ўтказгич ҳолатини «яқинлаштириш» деган тушунчанинг маъноси ҳар бир пазда синтезланадиган чулғам ўтказгичи ҳолатининг

намунавий чулғам ўтказгичи ҳолати ва уч фазали системани фаза тоқларига боғлиқ ҳолда аниқлашдан иборат.

Олинган ДБФФ асосида ғалтакларни БС шохобчаларига гуруҳлаш мумкин (2-жадвал).

Олинган чулғам иккала кутб томони учун ҳам таъминлаш манбаига нисбатан мутлақо симметрикдир, ҳар бир фазанинг бир хил номли шохобчаларининг электр юритувчи куч векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, чулғам қадами $u=8$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ кутбли томон учун чулғам коэффициенти мос равишда $k_{чул1}=0,644$ ва $k_{чул2}=0,866$ га тенг (3- ва 4-жадвал) бўлади.

2-жадвал

«Δ/ΥΥ» БС ғалтакларини шохобчаларга гуруҳлаш

Шохобча	Ғалтак рақамлари	Шохобча	Ғалтак рақамлари	Шохобча	Ғалтак рақамлари
A1	-4, 7, 13, -16, 25	B1	-24, 27, 3, -6, 15	C1	-14, 17, 23, -26, 5
A2	19, -22, -28, 1, -10	B2	9, -12, -18, 21, -30	C2	29, -2, -8, 11, -20

3-жадвал

$p_1=2$ томон учун чулғам маълумотлари

	Δ/ΥΥ базавий схема шахобчаси					
	A-D	D-0	B-E	E-0	C-F	F-0
A	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
$k_{чул}$	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644
φ	42	42	162	162	282	282

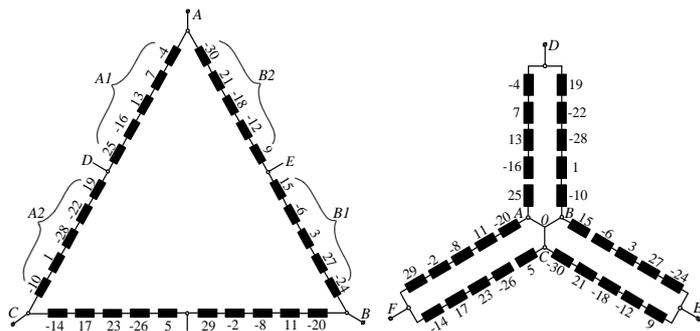
4-жадвал

$p_2=5$ томон учун чулғам маълумотлари

	Δ/ΥΥ базавий схема шахобчаси		
	A	B	C
A	17,32	17,32	17,32
$k_{чул}$	0,866	0,866	0,866
φ	0	120	240

1-расмда «Δ/ΥΥ» базавий схемаси асосида ишлаб чиқилган ҚСЎЧнинг электр схемаси кўрсатилган. Уч фазали манба D, E, F клеммаларга уланганда (бунда A, B, C чиқишлар бир-бири билан ўзаро уланган), ҳаво оралиғида тўрт кутбли айланувчан магнит майдон ҳосил бўлади, бунда барча 30 та ғалтаклар схемага уланган, ҳар бир фазанинг ЭЮК векторлари амплитуда бўйича тенг ва фазалар бўйича 120° га силжиган, яъни $2p_1=4$ кутб томондан чулғам электр манбаига нисбатан тўлиқ симметрикдир.

Уч фазали манба А, В, С клеммаларга уланганда эса (D, E, F клеммалар



1-расм. «Δ/ΥΥ» базавий схема асосида ҚСЎЧ
электрик схема.

ўзаро уланмаган) ҳаво оралиғида ўн қутбли айланувчан магнит майдон ҳосил бўлади, бунда барча 30 та ғалтаклар схемага уланган, ҳар бир фазанинг ЭЮК векторлари амплитуда бўйича тенг ва фазалар бўйича 120^0 га силжийди, яъни $2p_2=10$ қутб томондан чулғам қувват манбаига нисбатан тўлиқ

симметрикдир.

Диссертациянинг «Қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг электр магнит таркибини таҳлил қилиш» деб номланган учинчи бобида иккала қутб томондан ҳам электр магнит хусусиятлари яхшиланган ҚСЎЧ қадамни аниқлаш учун чулғам хоссаларини таҳлил қилишга бағишланган.

Статор чулғамининг ν -тартибли юқори гармоник майдони таъсирида пайдо бўлган ротор чулғамидаги ток ўз навбатида роторда алоҳида майдонни ҳосил қилади. Моторнинг номинал иш режимида барча юқори гармоникаларнинг моментлари асосий гармоника моментига тескари таъсир этиши натижасида моторда қўшимча исрофлар пайдо бўлади.

Юқори гармоникалар амплитудаларини аниқлаш учун, синусоидал бўлмаган МЮК эгри чизиқлари турли частоталарининг оддий гармоник тебранишлари тўпламидан ташкил топган мураккаб гармоник тебранишлар сифатида қаралади. Бу ерда Дирихле шартларини қаноатлантирадиган $f(\omega t)$ вақтнинг даврий функцияси, тригонометрик Фурье қатори билан ифодаланади.

$$f(\omega t) = E_0 + \sum_{\nu=1}^{\infty} (a_{\nu} \cos \nu\omega t + b_{\nu} \sin \nu\omega t) \quad (1)$$

бу ерда, E_0 – доимий ташкил этувчи; ν – гармоника тартиби; a_{ν}, b_{ν} – Фурье қаторининг коэффициентлари.

ҚСЎЧ қадами иккала қутб учун бир хил бўлади (бир қутб томон учун қисқартирилган, иккинчи қутб томон учун узайтирилган бўлиши мумкин) ва чулғам коэффициентининг қийматига сезиларли таъсир қилади.

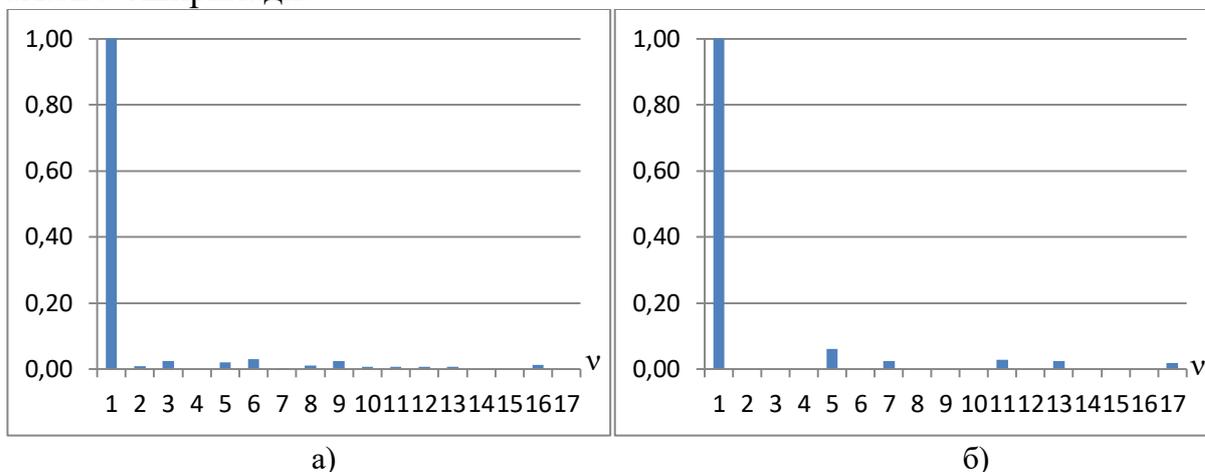
Тригонометрик Фурье қаторига асосланиб, МЮК нинг гармоник таркиби ва 3 га қаррали статор пазлари сониде «Δ/ΥΥ» БС да жуфт қутбларнинг 2/5 нисбати учун чулғам коэффициентлари қиймати иккала қутб томонида учта мумкин бўлган қадамларда ҳисобланди.

2-расмда гармоника амплитудаларининг қийматлари чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда кўрсатилган.

Дифференциал сочилиш коэффициенти σ_0 (ҳаво бўшлиғида) чулғам хоссаларини баҳолаш мезонларидан бири, хусусан энг юқори гармониканинг

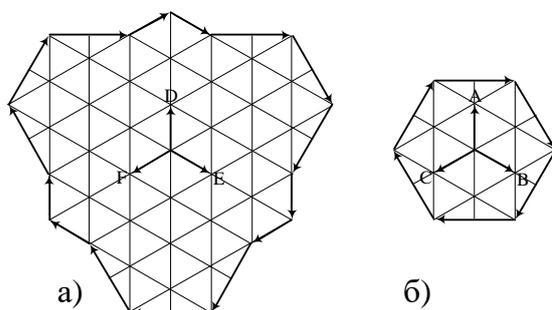
реактив қаршилиги билан чулғамнинг асосий реактив қаршилигига нисбати кўрсаткичи ҳисобланади.

Дифференциал сочилиш коэффициентини ҳисоблаш Крондл теоремасига биноан Гёргес магнитловчи кучлар (МК) кўпбурчаги ёрдамида амалга оширилади.



2-расм. Чулғам гармоник амплитуда қийматларининг диаграммалари:
а) $p_1=2$ томон учун; б) $p_2=5$ томон учун

3-расмда « Δ/YU » БС га асосланган жуфт кутблар нисбати 2/5 бўлган, пазлар сони 30 га тенг ($Z=30$), $y=8$ чулғам қадамларида ҚСЎЧ учун Гёргес диаграммалари кўрсатилган.



3-расм. « Δ/YU » БС схема бўйича $Z = 30$
ва $y = 8$ бўлган ҚСЎЧ нинг Гёргес
диаграммаси:

- а) $2p=4$ томон учун, $\sigma_0=3,65\%$;
- б) $2p=10$ томон учун, $\sigma_0=9,66\%$

ҚСЎЧ нинг электр магнит хусусиятларини таҳлил қилганда, ҳисобланган маълумотлар бир вақтнинг ўзида ҳар хил чулғам қадамларида иккала кутб томонидан кўриб чиқилади. Ҳисобланган маълумотларни таҳлил қилиш асосида иккала кутбнинг талабларига жавоб берадиган оптимал чулғам қадами сифатида $y=8$ аниқланди. Бу ҳолда чулғамнинг кўрсаткичлари электр магнит ҳамда технологик нуқтаи назардан энг юкори ҳисобланади.

Чулғам қадами $y=8$ бўлганда, $2p_1=4$ кутб томонида биринчи гармоникадан ташқари 2-, 3-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10-, 11-, 12-, 13-, 15-, 16-, 17- гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитуда қиймати биринчи гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 10,463%, 6,688%, 7,307%, 4,989%, 1,443%, 3,742%, 4,059%, 2,845%, 1,824%, 1,744%, 7,692%, 6,667%, 1,308%, 1,18% ни ташкил этади. Чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда (3.2-жадвал), уларнинг таъсири мос ҳолда кескин камаяди, яъни 0,835%, 2,443%, 1,966%, 2,949%, 0,24%, 1,06%, 2,39%, 0,76%, 0,746%, 0,637%, 0,614%, 1,308%, 0,094% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma = 3,65\%$, $2p=10$ кутб томонида биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13-, 17-

гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитуда қиймати биринчи гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 20%, 14,286%, 9,0941%, 7,692%, 5,882% ни ташкил этади. Чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда (3.2-жадвал), уларнинг таъсири мос ҳолда 6,143%, 2,474%, 2,792%, 2,363%, 4,468% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma = 9,66\%$.

Диссертациянинг «Қутблар сони ўзгарувчан икки тезликли моторни экспериментал тадқиқ қилиш» деб номланган тўртинчи бобида статик ва динамик режимларда экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган.

Ҳисоблаш натижалари асосида «Energy Motors» хусусий корхонасида қутблар нисбати 4/10 ва базавий схемаси «Δ/ΥΥ» бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғамни (патент № IAP 06203) қўллаган ҳолда АИР112М4 ва АИР225М4 серияли электр машинаси магнит ўзагида яқка чулғамли икки тезликда ишловчи асинхрон машинанинг экспериментал моделлари яратилди.

Тошкент давлат техника университетининг «Электр таъминоти тизимида электр энергияни тежовчи технологиялар» илмий тадқиқот лабораториясида статик режимларда салт ишлаш ва қисқа туташувдаги исрофларни аниқлаш учун (5- ва 6- жадваллар) экспериментал синовлар ўтказилди, шунингдек, қутблар нисбати 2/5 бўлган АИР112М10/4 типидagi ҚСЎЧ янги икки тезликли моторнинг ишчи ва механик характеристикалари олинди.

5-жадвал

Салт ишлаш тажрибасининг маълумотлари

№	U ₁	p ₁ =2 томон					p ₂ =5 томон				
		I ₀	P ₀	cosφ ₀	P _{эл}	P _{мех} +P _м	I ₀	P ₀	cosφ ₀	P _{эл}	P _{мех} +P _м
	В	А	Вт		Вт	Вт	А	Вт		Вт	Вт
1	60	0,9	145	0,62	5,95	139,05	0,95	144	0,4	14,86	126,13
2	80	1	147	0,43	7,35	139,65	1,24	158	0,25	30,44	127,55
3	100	1,21	150	0,3	10,76	139,24	1,57	176	0,18	48,8	127,19
4	140	1,65	160	0,17	20,01	139,99	2,3	232	0,12	94,74	137,25
5	180	2,2	180	0,11	35,57	144,43	3,5	411	0,11	242,5	168,45
6	220	3,18	261	0,08	84	177	5,3	780	0,1	556,2	223,8

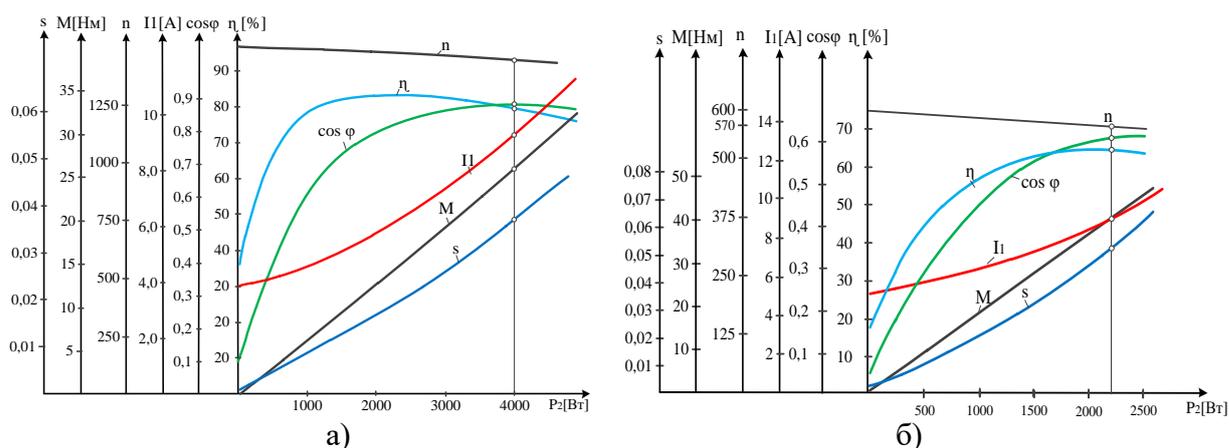
6-жадвал

Қисқа туташув тажрибасининг маълумотлари

№	p ₁ =4 томон				p ₂ =10 томон			
	U _{1к}	P _к	I _{1к}	cosφ _к	U _{1к}	P _к	I _{1к}	cosφ _к
	В	Вт	А		В	Вт	А	
1	30	160	3,4	0,52	40	240	3,1	0,551
2	40	280	4,8	0,49	60	420	5,3	0,501
3	50	440	6,2	0,47	70	525	6,1	0,452
4	60	650	7,7	0,47	80	650	7,2	0,447
5	70	940	9,4	0,48	90	790	8,4	0,423
6	80	1250	10,9	0,48	110	1000	10,3	0,414

Моторнинг ишчи характеристикалари бевосита юклама режимида

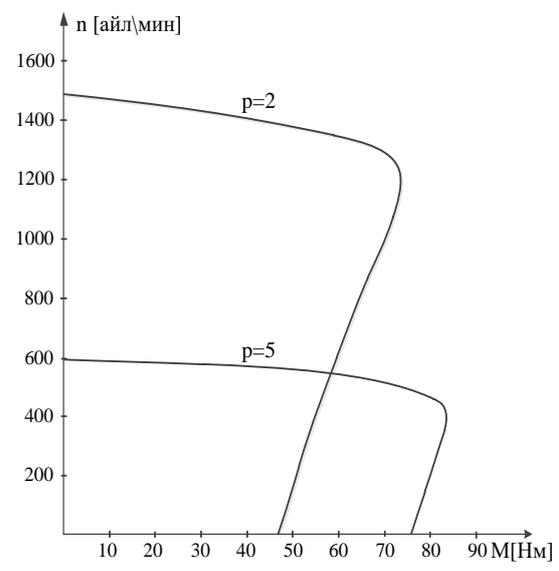
олинган (4-расм). Юклама сифатида мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори қўлланилган.



4-расм. Янги икки тезликли моторнинг ишчи характеристикалари:
 а) $2p_1=4$ томон учун; б) $2p_2=10$ томон учун

Янги икки тезликли моторнинг механик характеристикаси 5-расмда кўрсатилган.

Шарли тегирмонлар учун қисқа туташган роторли моторларнинг кенг қўлланилиши муносабати билан ишга тушириш вақтида моторларнинг ўзини тутиши катта қизиқиш уйғотади.



5-расм. Янги икки тезликли моторнинг механик характеристикаси

Асинхрон моторларнинг электр механик ўткинчи жараёнларини ўрганиш учун динамик режимлар катталикларини ҳисоблаш дифференциал тенгламалар тизими билан тавсифланади ва маълум икки фазали d, q координаталар тизимида ечилади, бу эса электр мувозанат тенгламалари тизимини сезиларли даражада соддалаштиришга имкон беради. Ротор чулғамининг стерженларида токнинг оқинини, шунингдек ротор магнит ўзагининг сочилиш оқимлари билан тўйинганлигини ҳисобга олиш учун стерженларнинг пазли қисми ва қисқа

туташган ҳалқалар баландлик бўйича n -та қатламларга бўлинади.

d, q координаталар тизимида қабул қилинган дастлабки маълумотларни ҳисобга олган ҳолда дифференциал тенгламанинг тўлиқ тизими эквивалент контурлар учун тузилган тенгламалардан иборат:

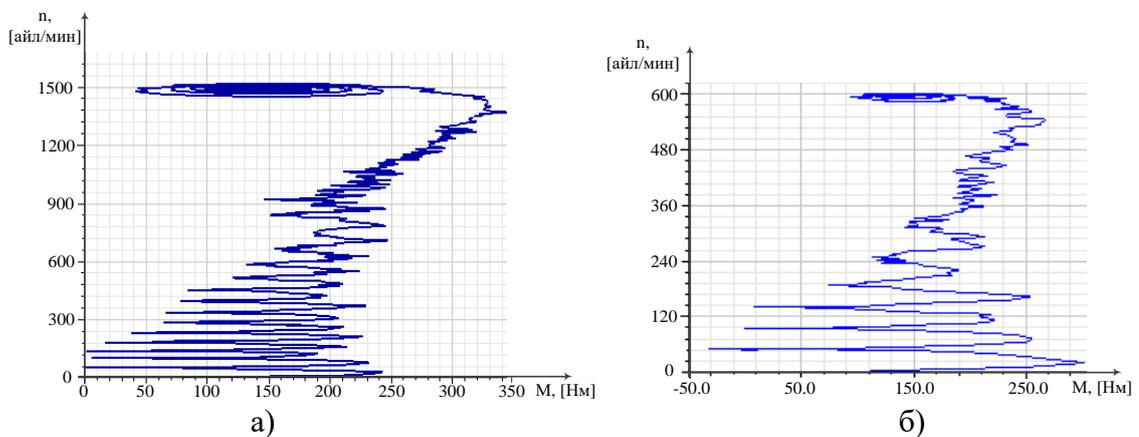
$$\frac{d\psi_{sd}}{dt} = k_{\psi s} \cdot \omega_0 \cdot \psi_{sq} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sd} + u_{sd};$$

$$\frac{d\psi_{sq}}{dt} = -k_{\psi s} \cdot \omega_0 \cdot \psi_{sd} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sq} + u_{sq};$$

$$\begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= \frac{u_{sd} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sd}}{L}, \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{u_{sq} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sq}}{L}, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{k_p \cdot p_0}{J} \cdot (k_m \cdot M_e - M_c); \\ \frac{d\psi_{rd}}{dt} &= k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{rq} - k_{rd} \cdot r_r \cdot i_{rd}; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} &= -k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{rd} - k_{rq} \cdot r_r \cdot i_{rq}; \\ &\vdots \\ \frac{d\psi_{nd}}{dt} &= k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{nq} - k_{rd} \cdot r_n \cdot i_{nd}; \\ \frac{d\psi_{nq}}{dt} &= -k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{nd} - k_{rq} \cdot r_n \cdot i_{nq}; \\ M_e &= 1,5 \cdot p_0 (\psi_{sx} \cdot i_{sy} - \psi_{sy} \cdot i_{sx}), \end{aligned}$$

бу ерда ψ_{sd} , ψ_{sq} , ψ_{rd} , ψ_{rq} , ..., ψ_{nd} , ψ_{nq} - ўзгартирилган контурларнинг оқим илашувчанлиги; ω_0 - манба кучланишининг частотаси, рад/с; r_s , r_r , ... r_n - статор ва роторнинг актив қаршилиги; $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ - роторнинг сирпаниши; ω - роторнинг бурчак айланиш тезлиги рад/с; p_0 - жуфт қутблар сони; J - электр юритма тизимининг инерция моменти; M_c - мотор валидаги қаршилик моменти; M_e - d , q координаталар тизимидаги асинхрон моторнинг электр магнит моменти, $k_{\psi s}$ - статорда оқим илашувчанлигини ҳисобга олувчи коэффициент, p_2 қутб томон учун $k_{\psi s} = 1,2$, p_5 қутб томон учун $k_{\psi s} = 1$; k_{rs} - статор қаршилигини ҳисобга олувчи коэффициент, p_2 қутб томон учун $k_{rs} = 1$, p_5 қутб томон учун $k_{rs} = 2,4$; $k_{\psi r}$ - роторда оқим илашувчанлигини ҳисобга олувчи коэффициент, p_2 қутб томон учун $k_{\psi r} = 1,05$, p_5 қутб томон учун $k_{\psi r} = 1$; k_{rd} - ротор қаршилигини ҳисобга олувчи коэффициент, p_2 қутб томон учун $k_{rd} = 1,05$, p_5 қутб томон учун $k_{rd} = 1$; k_p - қутблар ўзгаришини ҳисобга олувчи коэффициент, p_2 қутб томон учун $k_p = 1$, p_5 қутб томон учун $k_p = 2,5$.

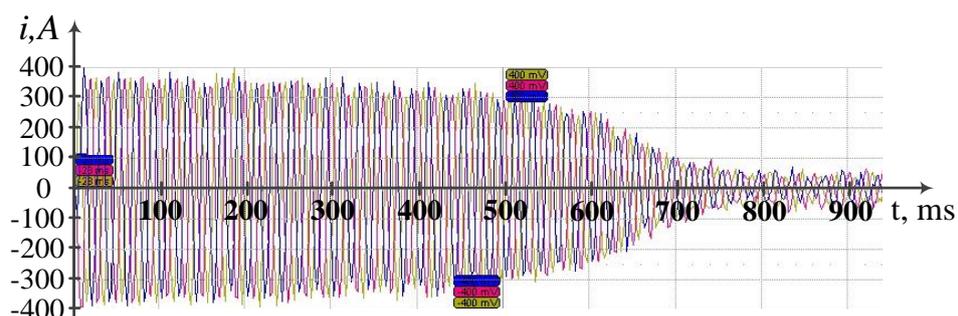
6-расмда АИР225М10/4 моторини иккала қутб томонидан ишга туширишда ўткинчи жараёнларни ҳисоблаш натижалари кўрсатилган.



6-расм. АИР225М10/4 моторининг механик характеристикаси :
а) $2p=4$ томон учун; б) $2p=10$ томон учун

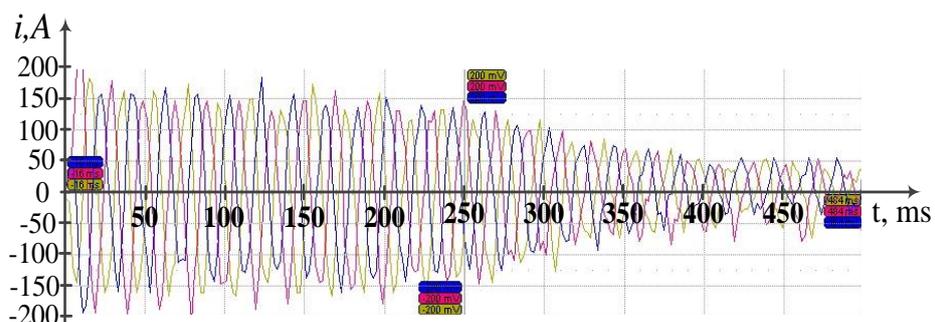
«Олмалиқ КМК» акциядорлик жамиятининг нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқариш бўйича илмий-ишлаб чиқариш бирлашмасида янги АИР225М10/4 икки тезликли мотор шарли тегирмоннинг электр юритмасининг ишлаши қуйидаги режимларда ўрганилди: ишга тушириш, доимий тезликда ишлаши, иккинчи тезликка (секинлашув) ўтиш ва тўхтатиш (барча тоқлар амплитуда қийматида кўрсатилган).

7-расмда мотор $p_1=2$ қутб томонидан ишга туширилгандаги статор тоқининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиғи кўрсатилган. Бундан кўринадики ишга тушириш тоқи 385 Амперни ташкил этади, 800 мс дан сўнг барқарор иш режимига эришади.



7-расм. АИР225М 10/4 типдаги электр моторни $p_1=2$ қутб томондан ишга туширилганда статор тоқининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиғи

8-расмда мотор $p_2=5$ қутб томонидан ишга туширилгандаги статор тоқининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиғи кўрсатилган. Бундан кўринадики ишга тушириш тоқи 185 Амперни ни ташкил этади, 400 мс дан сўнг мотор барқарор иш режимига эришади.

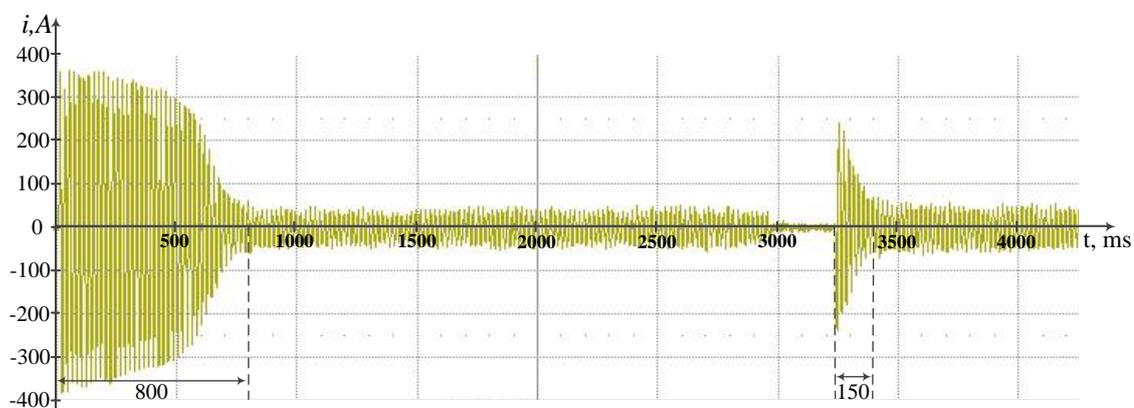


8-расм. АИР225М 10/4 типдаги электр моторни $p_2=5$ қутб томондан ишга туширилганда статор тоқининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиғи

Тўғридан-тўғри юқори тезликдан кичик тезликка ўтишда моторда номинал моментдан анча юқори ва мотор режимда критик моментлардан ошиб кетиши мумкин бўлган катта динамик моментлар пайдо бўлади. Юқори тезликдан кичик тезликка ўтишда мотордаги динамик моментларни камайтириш учун тормозлаш вақтида моторни тармоқдан узиш керак ва кичик тезликли чулғамга мос келадиган синхрон тезликка эришганда моторнинг кичик тезлигини тармоқ кучланишига улаш керак.

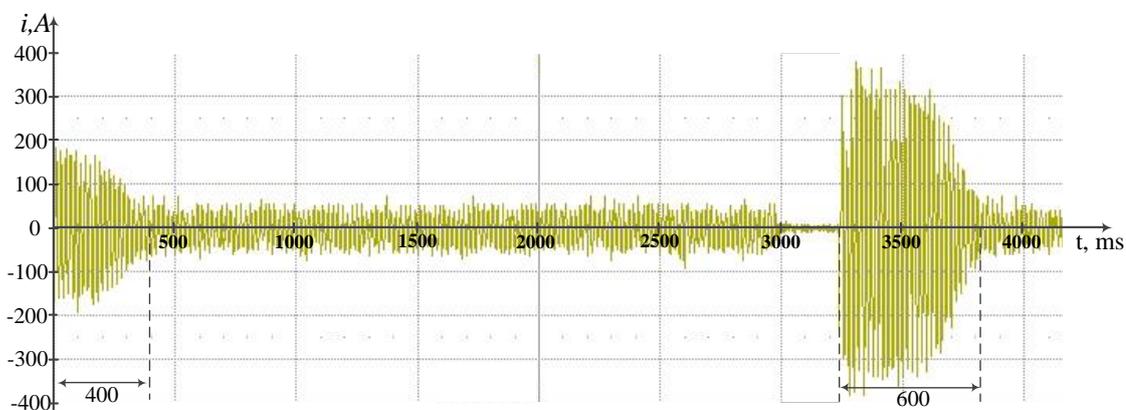
Ушбу усул иккинчисига қараганда содда, аммо у жуда кенг ўлчов диапазониغا эга бўлган тезлик ёки кривошип бурчакли жойлашув sensori бўлишини талаб қилади. Кичик тезликка ўтиш вақтида моторнинг тезлигини назорат қилиш керак, чунки юкнинг ўзгарувчанлиги туфайли тормозлаш йўлини олдиндан ҳисоблаш мумкин эмас.

9-расмда мотор тинч турган ҳолатда $p_1=2$ қутб томонидан ишга туширилган ҳамда $p_2=5$ қутб томонига қайта уланган ҳолдаги статор токининг вақтга боғлиқлик эгри чизиқлари кўрсатилган. Ушбу эгри чизиқдан кўриниб турибдики, моторнинг барқарор ишлаш ҳолатининг бошланиши 800 мс ичида содир бўлади, ишга тушириш токи 375 Амперни ташкил қилади. $p_1=2$ қутб томони барқарорлашган иш режимда ишлай бошлагандан 2,15 с ўтгач, электр мотори $p_2=5$ қутб томонига қайта уланди. Ушбу эгри чизиқдан кўриниб турибдики, моторнинг барқарорлашган иш ҳолати 140-150 мс содир бўлади, ишга тушириш токи 245 Амперни ташкил қилади.



9-расм. АИР225М10/4 типдаги электр моторини $p_1=2$ қутб томонидан ишга тушириганда ҳамда $p_2=5$ қутб томонига қайта улангандаги статор токининг вақтга боғлиқлик эгри чизиғи

10-расмда мотор тинч турган ҳолатда $p_2=5$ қутб томонидан ишга туширилганда ҳамда $p_1=2$ қутб томонига қайта улангандаги статор токининг вақтга боғлиқлик эгри чизиқлари кўрсатилган.



10-расм. АИР225М10/4 типдаги электр моторини $p_2=5$ қутб томонидан ишга туширилганда ҳамда $p_1=2$ қутб томонига қайта улангандаги статор токининг вақтга боғлиқлик эгри чизиғи

Ушбу эгри чизикдан кўриниб турибдики, моторнинг барқарор иш режимининг бошланиши 400 мс да содир бўлади, ишга тушириш токи 190 Амперни ташкил қилади. $p_2=5$ кутб томони барқарорлашган иш режимда ишлай бошлагандан 2,65 с ўтгач, электр мотори $p_1=2$ кутб томонига қайта уланди. Ушбу эгри чизикдан кўриниб турибдики, моторнинг барқарорлашган иш ҳолати 600 мс содир бўлади, ишга тушириш токи 385 Амперни ташкил қилади.

Шундай қилиб, тўғридан-тўғри ишга туширилганда, мотор 400 Ампер ишга тушириш токида 800 мс да барқарор ҳолатга эришади, поғонали ишга туширилганда эса 385 Ампер ишга тушириш токида 600 мс да яъни, поғонали тушириш билан, кичик ишга тушириш токида электр мотор тезроқ барқарор ҳолатга эришади ва шу билан бирга ишга туширишни енгиллаштиради ҳамда ишга тушириш токи томонидан чиқарилган камроқ иссиқлик миқдори туфайли ресурсларни тежаш (моторнинг ўзи ва ток ўтказувчи қисмларининг ишлаш вақтини оширади) имконини беради, шунингдек, шарли тегирмон механик қисмларининг эскириш жараёнини секинлаштиради, бундан ташқари, у кўп ишга туширмасдан механизмнинг аниқ тўхташини таъминлайди, бу ҳам умуман ресурсларни тежашга таъсир этади.

ХУЛОСА

«Шарли тегирмонларнинг асинхрон электр юритмасини такомиллаштириш» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин:

1. Кончилик, қурилиш, шунингдек кимё корхоналарида турли материалларни майдалашда қўлланиладиган шарли тегирмонлар иш режимларини ўрганиш асосида ушбу механизм электр юритмаларини кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи электр моторларини қўллаш орқали такомиллаштириш зарурияти асосланди.

2. Дискрет берилган фазовий функциялар усули ёрдамида «Δ/ΥΥ» базавий схемаси асосида кутблар нисбати 2:5 бўлган ва юқори электр магнит хоссаларига эга, кутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг янги схемаси ишлаб чиқилди ва Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан ихтирога патент шаклида ҳуқуқий муҳофазага олинди.

3. АИР112М4 ва АИР225М4 серияли электр машиналари магнит ўзакларида янги чулғамни қўллаган ҳолда икки тезликда ишловчи асинхрон машинанинг экспериментал моделлари яратилди ва саноат шароитларида экспериментал тадқиқ қилинди. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, янги моторлар шарли тегирмон электр юритмаларига қўйиладиган талабларга тўлиқ жавоб беради ва поғонали ишга туширишни ҳамда барабаннинг аниқ тўхташини таъминлайди.

4. Оғир иш режимларида ишловчи механизмлар учун кичик тезлик томонида керакли ишга тушириш моменти катталигини таъминлаш учун

ҳаво бўшлиғида магнит индукциялар нисбати $1,15 \div 1,2$ оралиғида бўлиши илмий асосланди.

5. Шарли тегирмон юритмасидаги моторни ишга тушириш ва генератор иш режимидаги тоқларни чеклаш мақсадида кичик тезликдан катта тезликка ўтказиш вақти 0,2 секундни ҳамда катта тезликдан кичик тезликка ўзгартириш қурилманинг айланиш тезлиги кичик тезликка эришган вақтда амалга оширилиши илмий асосланди.

6. Янги ишлаб чиқилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли электр мотор «Олмалиқ КМК» акциядорлик жамиятига қарашли нодир металллар ва қаттиқ котишмалар ишлаб чиқариш бўйича илмий ишлаб чиқариш бирлашмасининг 35-цеҳида ўрнатилган МШ-1 типли шарли тегирмон электр юритмаларига татбиқ этиш натижасида йиллик 132 192 000 сўм иқтисодий самарадорликка эришилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШАМСУТДИНОВ ХУСНИДДИН ФАЗЛИДДИНОВИЧ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетические станции, системы.
Электротехнические комплексы и установки**

**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 №В2022.4.PhD/Т1626.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

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

Научный руководитель:

Рисмухамедов Даулетбек Аманович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Пирматов Нурали Бердиерович
доктор технических наук, профессор

Болтаев Отабек Ташмухамматович
доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Ведущая организация:

Навоийский государственный горно-технологический университет

Защита диссертации состоится «24» марта 2023 г. в 13:00 часов на заседании Научного совета DSc. 03/10.12.2019.Т.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - ____). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «11» марта 2023 года.

(протокол рассылки № 3 от «9» марта 2023 года).



ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире во многих предприятиях горной, металлургической, лакокрасочной, химической промышленности, а также при производстве строительных материалов уделяется особое внимание проблемам пуска и точной остановки шаровых мельниц. В настоящее время в развитых странах мира «...проводятся исследования по изучению вопроса повышения эффективности производства и автоматизации технологического процесса, а также по внедрению новых технологий в производство»¹. Исходя из этого, особое внимание уделяется созданию новых энерго- и ресурсосберегающих электроприводов, позволяющих увеличить срок службы активных частей высокоинерционных измельчающих механизмов путём облегчения процесса пуска и обеспечения точной остановки.

В мире ведутся научные исследования по улучшению эксплуатационных характеристик существующих электроприводов путём усовершенствования этих механизмов применением регулируемых электроприводов. В этом направлении одной из приоритетных задач является разработка регулируемых электроприводов на основе многоскоростных двигателей, отвечающих требованиям электропривода измельчающих механизмов. Наряду с этим актуальными задачами являются разработка новых схем полюсопереключаемых обмоток с улучшенными электромагнитными свойствами и простой технологии изготовления, применяемых в многоскоростных двигателях.

В нашей Республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по разработке и практическому внедрению новых технологий, способствующих рациональному использованию электроэнергии и ресурсов. В стратегии развития нового Узбекистана на 2022 – 2026 годы определены задачи дальнейшего развития энергетической системы Узбекистана, в частности: «Снижение потерь в отраслях промышленности и повышение эффективности использования ресурсов»². При реализации этих задач важными считаются разработка и исследование многоскоростных асинхронных двигателей с одной полюсопереключаемой обмоткой, обеспечивающих ступенчатый пуск и точную остановку высокоинерционных измельчающих механизмов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан: № УП-60 от 28.01.2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы», №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

² Указ Президента Республики Узбекистан, от 28.01.2022 г. № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы»

по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы», №ПП-2559 от 13 июля 2016 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики» и №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

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

Степень изученности проблемы. В ведущих ВУЗах и научно-исследовательских учреждениях мира, в частности, в Siemens AG (Германия), RWTH Aachen University (Германия), ASEA (Швеция), University Politehnica of Bucharest (Румыния), Huazhong University of Science and Technology (Китай), Волжском государственном инженерно-педагогическом университете (Россия), Одесском национальном политехническом университете (Украина) ведутся научно-исследовательские работы, направленные на решение актуальных задач по разработке схем полюсопереключаемых обмоток для многоскоростных двигателей. В этом направлении большой вклад внес ряд зарубежных ученых, таких как R.Dahlander, W.Fong, G.H.Rawcliffe, R.Rihter, H.Auinger, A.W.Broadway, A.A. Войтек, J.F.Eastham, А.М.Харитонов, В.И.Попов, А.И.Антоненко, М.К.Захаров, В.Н.Ванурин, Л.Я.Беликова и др.

В Республике также достигнут ряд научных результатов по разработке схем полюсопереключаемых обмоток учеными Ташкентского государственного технического университета Х.Г. Каримовым, М.К. Бобожановым, Ю.А. Тупогузом, Д.А. Рисмухамедовым и Ф.Н. Туйчиевым.

Несмотря на достигнутые результаты, большинство полученных полюсопереключаемых обмоток не находят широкого применения из-за большого количества выводов, низких энергетических показателей и сложной технологии изготовления, кроме того, для электродвигателей применяемых в электроприводах механизмов с тяжелым режимом работы, выпускаемых в последнее время, еще не разработаны схемы полюсопереключаемых обмоток с соотношением полюсов 2/5.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова в рамках проектов ОТ-Атех-2018-357 «Повышение надежности и энергоэффективности систем электроснабжения путем применения бесконтактных устройств» (2018-2020 гг.) и проекта коммерциализации Т-ОТ

-2021-229 - «Создание устройства турбомеханизма на основе двигателя с полюсопереключаемой обмоткой» (2021 г.).

Целью исследования является усовершенствование электропривода шаровых мельниц путём применения электродвигателей с полюсопереключаемой обмоткой.

Задачи исследования:

обоснование целесообразности применения двухскоростных двигателей для ступенчатого пуска, а также для точной остановки измельчающих механизмов;

усовершенствование метода дискретно-заданных пространственных функций для получения схем $2m-2m$ -зонных полюсопереключаемых обмоток;

разработка и анализ свойств новой схемы полюсопереключаемой обмотки для двухскоростных двигателей;

экспериментальные исследования двухскоростных двигателей с разработанной полюсопереключаемой обмоткой и определение соответствия его требованиям, предъявляемым к электроприводу измельчающих механизмов.

Объектом исследования являются асинхронные двигатели, применяемые на приводах измельчающих механизмов.

Предметом исследования являются электромагнитные и энергетические характеристики двухскоростных асинхронных двигателей с полюсопереключаемыми обмотками.

Методы исследований. В процессе исследования применены теория электрических машин, способы формирования полюсопереключаемых обмоток, формализованная логика, теория линейной алгебры, экспериментальные исследования статических и механических характеристик на основе методов векторного и гармонического анализа с использованием методов расчета энергетических и электромагнитных показателей рабочих режимов электрических двигателей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе равномерного распределения магнитодвижущих сил усовершенствован метод дискретно-заданных пространственных функций;

на основе метода дискретно-заданных пространственных функций разработана новая схема полюсопереключаемой обмотки;

на основе уравнений Парка-Горева разработана математическая модель двухскоростного асинхронного двигателя с одной обмоткой;

на основе обеспечения минимального значения продолжительности пускового тока составлен алгоритм переключения скоростей двухскоростного асинхронного двигателя.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан и изготовлен опытный образец двухскоростного двигателя с новой полюсопереключаемой обмоткой;

на основе экспериментальных исследований получены энергетические и механические характеристики нового двухскоростного двигателя;

выявлены соответствия механических характеристик двигателя к требованиям, предъявляемым к электроприводам измельчающих механизмов.

Достоверность результатов исследования обосновывается на взаимной согласованности теоретических результатов исследований параметров двухскоростного двигателя, полученных расчетным путём и экспериментальных данных.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследований заключается в усовершенствовании метода дискретно-заданных пространственных функций для получения схем $2m-2m$ -зонных полюсопереключаемых обмоток, а также в разработке схемы полюсопереключаемой обмотки, имеющей улучшенные электромагнитные свойства и упрощенную технологию изготовления для электрических двигателей с числом пазов статора равным 30 электропривода шаровых мельниц.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что применение асинхронного двигателя с разработанной полюсопереключаемой обмоткой дает возможность осуществить ступенчатый запуск измельчающих механизмов, а также замедлить процесс износа механических частей механизма и выхода из строя самого двигателя из-за существенного уменьшения числа переключений в течение одного цикла.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов:

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан (№ IAP 06203, 20.03.2020) на схему полюсопереключаемой обмотки для двухскоростной электрической машины. В результате стало возможным создание двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой, имеющей улучшенные электромагнитные свойства и упрощенную технологию изготовления на основе магнитопровода с числом пазов статора равным 30;

в результате внедрения нового двухскоростного электродвигателя с разработанной полюсопереключаемой обмоткой в электроприводы шаровых мельниц типа МШ-1, установленных в 35-м цехе Научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов при АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» СЛ-7359 от 22-ноября 2022 года), за счет увеличения производительности мельницы на 450 кг в день достигнут годовой экономический эффект в 132 192 000 сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 3 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ. Из них 3 научные работы опубликованы в сборниках, входящих в базу Scopus и 4 статьи в республиканских журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получена правовая охрана в виде 1-го патента на изобретение и 1-го свидетельства на программный продукт для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обосновываются актуальность и востребованность выполненных исследований, формулируются цели и задачи исследований, приводятся объект и предмет исследований, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна исследований и научно-практическая значимость полученных результатов, внедрение результатов исследований в практику, представлены сведения по апробации результатов исследований и по опубликованным научным трудам по теме диссертационной работы, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Теоретические основы применения электродвигателей с полюсопереключаемыми обмотками в электроприводах шаровых мельниц»** обоснована целесообразность применения в электроприводах измельчающих механизмов регулируемого электродвигателя вместо нерегулируемого асинхронного двигателя.

Рассмотрена задача облегчения пуска шаровых мельниц и обеспечения точного останова горловины шаровых мельниц применением низшей скорости. Как показал обзор литературы, регулирование скорости вращения в электроприводах с использованием двухскоростных двигателей является простым, дешёвым и надежным вариантом.

Во многих существующих двухскоростных двигателях в пазы статора укладываются две независимые обмотки, по этой причине не эффективно используется магнитопровод двигателя, в свою очередь, использование одной полюсопереключаемой обмотки (ППО) позволяет улучшить энергетические показатели двигателя и сэкономить обмоточную медь и изоляционные материалы.

Многие из разработанных схем ППО, полученные с использованием существующих методов и принципов построения полюсопереключаемых обмоток для двухскоростных двигателей, не находят практического применения из-за большого количества выводных концов, переключающих контактов, ухудшенных электр магнитных свойств, а также сложной технологии изготовления.

На основе анализа режимов работы измельчающих механизмов, с точки зрения облегчения пуска и ресурсосбережения (увеличения время работы самого двигателя), обоснована целесообразность создания двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой на соотношение полюсов 2:5 и

усовершенствования существующих систем электроприводов с его применением.

Вторая глава диссертации «**Разработка схем полюсопереключаемых обмоток на соотношение полюсов 2/5**» посвящена разработке схем ППО для двухскоростных двигателей на основе метода «Дискретно-заданных пространственных функций» (ДЗПФ).

Представленный в этой главе метод построения схем ППО основан на принципе совместного рассмотрения токораспределений двух обычных обмоток, выраженных в виде дискретно-заданной пространственной функции. Разработка схем ППО с дробным соотношением полюсов на основе существующих базовых схем (БС) имеет свои особенности, например, для смягчения влияния дробности обмоток на картину магнитодвижущих сил (МДС) ППО по БС «Y/YU» или «Δ/YU» целесообразно выполнять обмотки 2m-2m-зонными, которая дает возможность улучшить виброакустические характеристики двигателя. Кроме того, 2m-2m-зонные обмотки имеют наименьший состав высших гармонических, что дает возможность использовать их в двигателях с напряженным режимом работы, в частности, электроприводов измельчающих механизмов для ступенчатого пуска.

При получении ППО на основе схем «Y/YU» или «Δ/YU» необходимо синтезировать ДЗПФ, соответствующую одной из полюсностей.

В качестве примера рассмотрим процесс получения схемы ППО на соотношение полюсов 2/5 при числе пазов $Z=30$. В (1) за «исходную» обмотку взята нормальная 2m-зонная обмотка с числом полюсов $p_2=5$, а за «типовую» взята также нормальная 2m-зонная обмотка с $p_1=2$.

Запишем ДЗПФ одного слоя этих обмоток друг под другом:

Таблица 1

Синтезирование $2p_1=4$ полюсной обмотки

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Пазы
a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	$p_2=5$ исх.
a	a	a	c	c	b	b	b	a	a	c	c	c	b	b	a	a	c	c	c	b	b	a	a	a	c	c	b	b	b	$p_1=2$ тип.
a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	$p_1=2$ син.

ДЗПФ синтезированной обмотки получается «модулированием» ДЗПФ исходной обмотки с помощью ДЗПФ типовой обмотки. В основе этого процесса лежит принцип приближения токораспределения к картине МДС ППО со стороны полюсности $2p_1$ к токораспределению и картине МДС типовой обмотки. Смысл «приближения» заключается в определении в каждом пазу знака состояния проводника ДЗПФ синтезируемой обмотки в зависимости от состояния проводника ДЗПФ типовой обмотки в этом пазу и исходя из взаимного расположения векторов фазных токов в трёхфазной системе.

По полученной ДЗПФ можно сгруппировать катушки в ветви БС (табл. 2).

Таблица 2

Группировка катушек в ветви БС «Δ/ΥΥ»

Ветви	Номер катушки	Ветви	Номер катушки	Ветви	Номер катушки
A1	-4, 7, 13, -16, 25	B1	-24, 27, 3, -6, 15	C1	-14, 17, 23, -26, 5
A2	19, -22, -28, 1, -10	B2	9, -12, -18, 21, -30	C2	29, -2, -8, 11, -20

Таблица 3

Обмоточные данные со стороны $p_1=2$

	Ветви БС Δ/ΥΥ					
	A-D	D-0	B-E	E-0	C-F	F-0
A	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
$k_{\text{кул}}$	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644
φ	42	42	162	162	282	282

Таблица 4

Обмоточные данные со стороны $p_2=5$

	Ветви БС Δ/ΥΥ		
	A	B	C
A	17,32	17,32	17,32
$k_{\text{кул}}$	0,866	0,866	0,866
φ	0	120	240

Полученная обмотка (рис. 1) совершенно симметрична по отношению к источнику питания со стороны обеих полюсностей, векторы ЭДС одноименных ветвей каждой из фаз симметричны между собой, т.е. равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$ эл. рад., при $y=8$ обмоточные коэффициенты с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{\text{обм}1}=0,644$ и $k_{\text{обм}2}=0,866$ (табл. 3 и табл. 4).

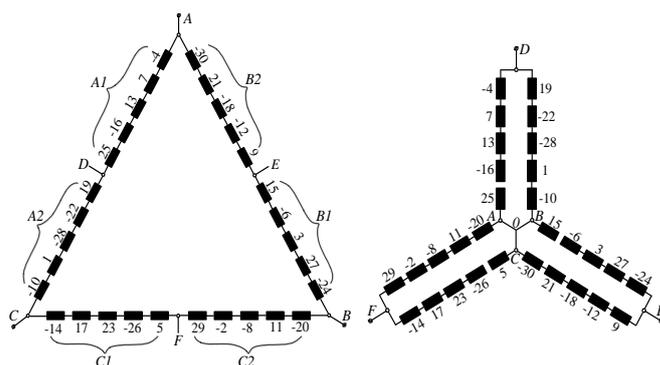


Рис. 1 Электрическая схема ППО по БС «Δ/ΥΥ»

Полученная ППО работает следующим образом:

При подключении трехфазного питания к зажимам D, E, F (выводы A, B, C объединены в общую точку) в воздушном зазоре возникает четырехполюсная вращающаяся магнитная волна, в схему включены все 30 катушек,

вектора ЭДС каждой фазы равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на 120^0 , то есть обмотка со стороны $2p_1=4$ полюсов совершенно симметрична по отношению к источнику питания.

При подключении трехфазного питания к зажимам A, B, C (выводы D, E, F свободны) в воздушном зазоре возникает десятиполюсная вращающаяся

магнитная волна, в схему включены все 30 катушки, вектора ЭДС каждой фазы равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на 120^0 , то есть обмотка со стороны пар полюсов совершенно симметрична по отношению к источнику питания.

Третья глава диссертации «Анализ электр магнитных свойств полюсопереключаемой обмотки» посвящена анализу свойств ППО с целью определения оптимального шага, при котором электр магнитные свойства со стороны обеих полюсностей будут наилучшими.

Ток в обмотке ротора, вызванный полем высшей гармонической v -го порядка обмотки статора, образует соответствующее поле ротора. При номинальном режиме работы двигателя моменты всех высших гармонических противодействуют моменту основной гармонической и в результате чего в двигателе появляются добавочные потери.

Для определения амплитуд высших гармонических несинусоидальные кривые МДС рассматриваются как сложные гармонические колебания, состоящие из совокупности простых гармонических колебаний различных частот. Здесь периодическая функция времени $f(\omega t)$, удовлетворяющая условиям Дирихле, представлена тригонометрическим рядом Фурье:

$$f(\omega t) = E_0 + \sum_{v=1}^{\infty} (a_v \cos v\omega t + b_v \sin v\omega t), \quad (1)$$

где E_0 – постоянная составляющая; v – номер гармоники; a_v, b_v – коэффициенты ряда Фурье.

Шаг ППО является одинаковым для обеих полюсностей (для одной полюсности может быть укороченным, а для другой удлиненным) и существенно влияет на величину обмоточного коэффициента.

На основе тригонометрического ряда Фурье рассчитан гармонический состав МДС и величина обмоточного коэффициента на соотношение пар полюсов $2/5$ при БС « Δ/Y » в числах пазов статора кратным для трех возможных шагов каждой ППО со стороны обеих полюсностей.

Величины амплитуды гармонических с учетом обмоточных коэффициентов приведены на рис. 2.

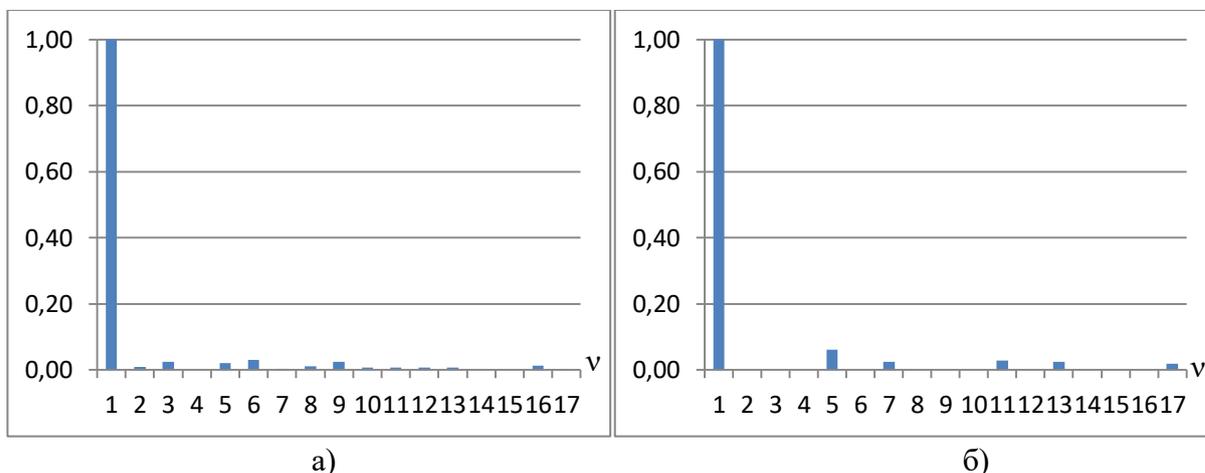


Рис. 2. Диаграммы величин амплитуды гармонических ППО:
а) со стороны $p_1=2$, б) со стороны $p_2=5$

Коэффициент дифференциального рассеяния σ_0 (в воздушном зазоре) является одним из критериев при оценке свойств обмотки, а именно показателем отношения реактивного сопротивления высших гармонических к главному реактивному сопротивлению обмотки.

Расчет коэффициента дифференциального рассеяния проводится на основе теоремы Кронделя с использованием многоугольника намагничивающих сил (НС) Гёргеса.

На рис. 3 показаны диаграммы Гёргеса для ППО на основе БС « Δ/YU » и на соотношение пар полюсов 2/5 в 30 пазах статора ($Z = 30$) при шагах обмотки $y=8$.

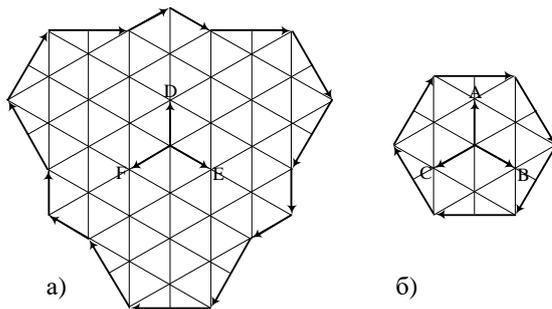


Рис.3 Диаграмма Гергеса ППО по БС « Δ/YU » при $Z=30$ и $y=8$:
а) со стороны $2p=4$, $\sigma_0=3,65\%$;
б) со стороны $2p=10$, $\sigma_0=9,66\%$

При анализе электр магнитных свойств ППО одновременно рассматриваются расчетные данные со стороны обеих полюсностей при различных шагах обмотки. Посредством анализа полученных расчетных данных был определен оптимальный шаг обмотки $y=8$, который удовлетворяет требованиям со стороны обеих полюсностей, при котором показатели, с точки зрения, как электр магнитных, так и

технологических, самые высокие. При шаге $y=8$ со стороны $2p=4$ полюсов кроме первой гармоники, присутствуют 2-я, 3-я, 5-я, 6-я, 7-я, 8-я, 9-я, 10-я, 11-я, 12-я, 13-я, 15-я, 16-я и 17-я гармонические, их амплитуда в процентном соотношении с учетом обмоточных коэффициентов составляет 0,835%, 2,443%, 1,966%, 2,949%, 0,242%, 1,068%, 2,399%, 0,766%, 0,746%, 0,637%, 0,614%, 1,308%, 0,094% соответственно, а коэффициент дифференциального рассеяния $\sigma_0=3,65\%$, со стороны $2p=10$ полюсов кроме первой гармоники, присутствуют 5-я, 7-я, 11-я, 13-я и 17-я гармонические, их амплитуда в процентном соотношении с учетом обмоточных коэффициентов составляет 6,143%, 2,474%, 2,792%, 2,366%, 4,468% соответственно, а коэффициент дифференциального рассеяния $\sigma_0=9,66\%$

В четвертой главе диссертации «**Экспериментальное исследование полюсопереключаемого двухскоростного двигателя**» приводятся результаты экспериментального исследования в статических и динамических режимах.

На основе расчетных данных предприятием ЧП «ENERGY MOTORS» были изготовлены экспериментальные модели ДД с разработанной ППО (№ IAP 06203, 20.03.2020) на соотношение полюсов 4/10 при БС « Δ/YU » на основе магнитопроводов серийных машин типа АИР112М4 и АИР225L4.

В научно-исследовательской лаборатории «Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения» ТГТУ были проведены экспериментальные испытания в статических режимах для определения

потерь холостого хода и короткого замыкания (см. табл. 5 и 6), а также рабочих и механических характеристик нового двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой на соотношение пар полюсов 2/5 типа АИР112М10/4.

Таблица 5

Данные опыта холостого хода

№	U ₁	со стороны p ₁ =4					со стороны p ₂ =10				
		I ₀	P ₀	cosφ ₀	P _{эл}	P _{см} +P _{маг}	I ₁₀	P ₀	cosφ ₀	P _{эл}	P _{см} +P _{маг}
	В	А	Вт		Вт	Вт	А	Вт		Вт	Вт
1	60	0,9	145	0,62	5,95	139,05	0,95	144	0,4	14,86	126,13
2	80	1	147	0,43	7,35	139,65	1,24	158	0,25	30,44	127,55
3	100	1,21	150	0,3	10,76	139,24	1,57	176	0,18	48,8	127,19
4	140	1,65	160	0,17	20,01	139,99	2,3	232	0,12	94,74	137,25
5	180	2,2	180	0,11	35,57	144,43	3,5	411	0,11	242,5	168,45
6	220	3,18	261	0,08	84	177	5,3	780	0,1	556,2	223,8

Таблица 6

Данные опыта короткого замыкания

№	со стороны p ₁ =2				со стороны p ₂ =5			
	U _{1к}	P _к	I _{1к}	cosφ _к	U _{1к}	P _к	I _{1к}	cosφ _к
	В	Вт	А		В	Вт	А	
1	30	160	3,4	0,52	40	240	2,1	0,551
2	40	280	4,8	0,49	60	420	2,8	0,501
3	50	440	6,2	0,47	70	525	3,2	0,452
4	60	650	7,7	0,47	80	650	3,5	0,447
5	70	940	9,4	0,48	90	790	4	0,423
6	80	1250	10,9	0,48	110	1000	4,6	0,381

Рабочие характеристики электродвигателя получены в режиме непосредственной нагрузки (рис. 4). В качестве нагрузочной машины использовался генератор постоянного тока независимого возбуждения.

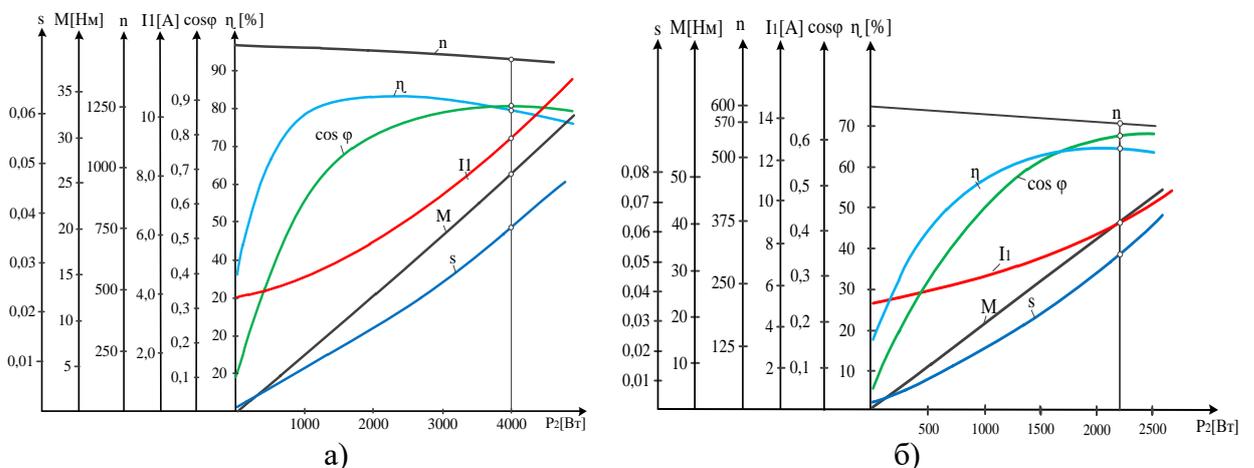


Рис. 4 Рабочие характеристики нового ДД: а) для p₁=2 полюсов; б) для p₂=5 полюсов

Механические характеристики нового ДД показаны на рис. 5.

В связи с широким применением двигателей с короткозамкнутым

ротором для шаровых мельниц вопросы поведения двигателей при пуске представляют весьма большой интерес.

Электр магнитные процессы в динамических режимах асинхронного двигателя описываются системой дифференциальных уравнений. Данная задача решается в двухфазной системе координат d, q , что позволяет существенно упростить систему уравнений электрического равновесия. С целью учета вытеснения тока в стержнях обмотки ротора, а также насыщения магнитопровода ротора потоками рассеивания пазовая часть стержней и короткозамыкающие кольца разбиваются по высоте на n слоев.

Для расчета электромеханического переходного процесса с учетом уравнений механического равновесия полная система дифференциальных уравнений в системе координат d, q состоит из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{sd}}{dt} &= k_{\psi s} \cdot \omega_0 \cdot \psi_{sq} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sd} + u_{sd}; \\ \frac{d\psi_{sq}}{dt} &= -k_{\psi s} \cdot \omega_0 \cdot \psi_{sd} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sq} + u_{sq}; \\ \frac{di_d}{dt} &= \frac{u_{sd} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sd}}{L}; \\ \frac{di_q}{dt} &= \frac{u_{sq} - k_{rs} \cdot r_s \cdot i_{sq}}{L}; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{k_p \cdot p_0}{J} \cdot (k_m \cdot M_e - M_c); \\ \frac{d\psi_{rd}}{dt} &= k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{rq} - k_{rd} \cdot r_r \cdot i_{rd}; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} &= -k_{\psi r} \cdot s \cdot \omega_0 \cdot \psi_{rd} - k_{rq} \cdot r_r \cdot i_{rq}; \\ &\vdots \\ \frac{d\psi_{nd}}{dt} &= k_{\psi r} \cdot s \omega_0 \cdot \psi_{nq} - k_{rd} \cdot r_n \cdot i_{nd}; \\ \frac{d\psi_{nq}}{dt} &= -k_{\psi r} \cdot s \omega_0 \cdot \psi_{nd} - k_{rq} \cdot r_n \cdot i_{nq}; \\ M_e &= 1,5 \cdot p_0 (\psi_{sx} \cdot i_{sy} - \psi_{sy} \cdot i_{sx}), \end{aligned}$$

здесь $\psi_{sd}, \psi_{sq}, \psi_{rd}, \psi_{rq}, \dots, \psi_{nd}, \psi_{nq}$ - потокосцепление преобразованных контуров; ω_0 - частота напряжения питания, рад/с; r_s, r_r, \dots, r_n - активное

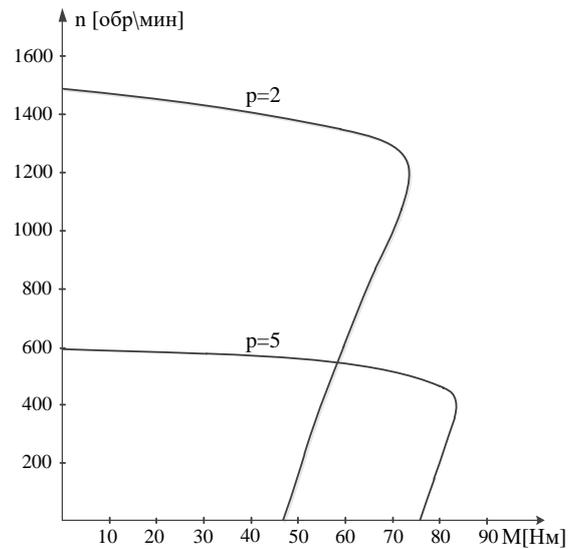
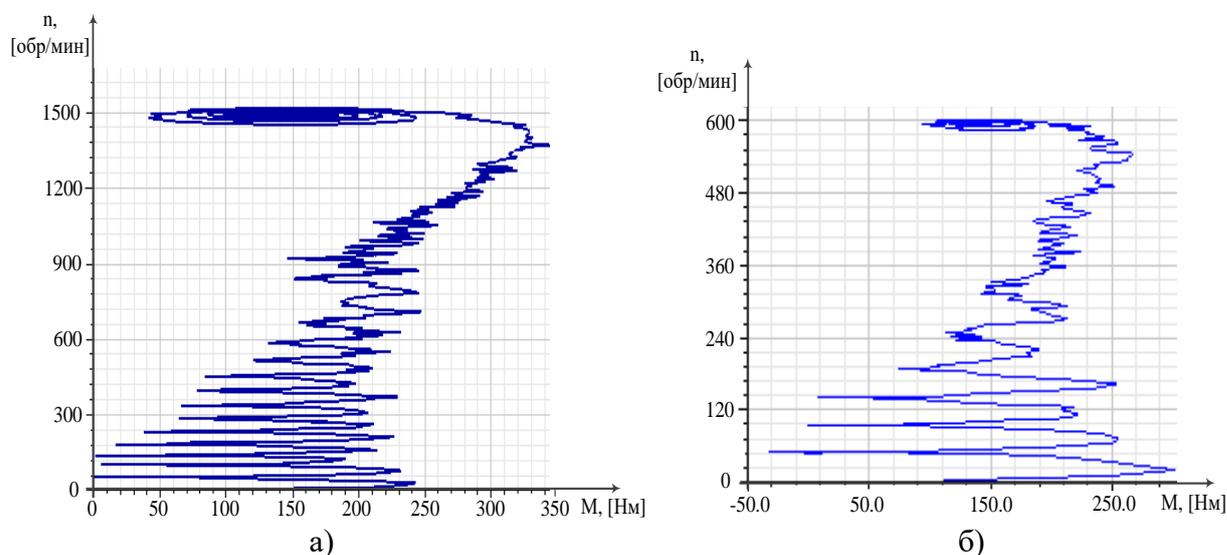


Рис. 5 Механические характеристики нового ДД

сопротивление контуров (причем индекс s для статора и r для ротора); $s=(\omega_0 - \omega)/\omega_0$ - скольжение ротора; ω - угловая скорость вращения ротора, рад/с, p_0 - число пар полюсов; J - момент инерции электропривода; M_e - момент сопротивления нагрузки на валу двигателя; M_e - электр магнитный момент асинхронного двигателя в ортогональных координатах d, q , $k_{\psi s}$ - коэффициент, учитывающий потокосцепление в статоре, для p_2 полюсности $k_{\psi s}=1,2$, для p_5 полюсности $k_{\psi s}=1$; k_{rs} - коэффициент, учитывающий сопротивление статора, для p_2 полюсности $k_{rs} = 1$, для p_5 полюсности $k_{rs} = 2,4$, $k_{\psi r}$ - коэффициент, учитывающий потокосцепление в роторе, для p_2 полюсности $k_{\psi r} = 1,05$, для p_5 полюсности $k_{\psi r} = 1$; k_{rd} - коэффициент учитывающий сопротивление ротора, для p_2 полюсности $k_{rd} = 1,05$, для p_5 полюсности $k_{rs} = 1$, k_p - коэффициент, учитывающий изменение полюсов, для p_2 полюсности $k_p = 1$, для p_5 полюсности $k_p = 2,5$.

В Научно-производственном объединении по производству редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский ГМК» изучена работа электропривода шаровой мельницы с новым ДД типа АИР225М10/4 в режимах: пуск, работа на постоянной скорости, переключение на вторую скорость (замедление) и остановка (далее все токи указаны в амплитудном значении).

На рис. 6 представлены результаты расчета переходных процессов при пуске двигателя АИР225М10/4 со сторон обеих полюсностей



**Рис. 6 Механическая характеристика двигателя АИР225М10/4:
а) со сторон $p_1=2$, б) со сторон $p_2=5$**

На рис. 7 показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_1=2$ полюсности. Как можно заметить из этой кривой наступление установившегося режима работы двигателя происходит 800 мс, пусковой ток 385 Ампер.

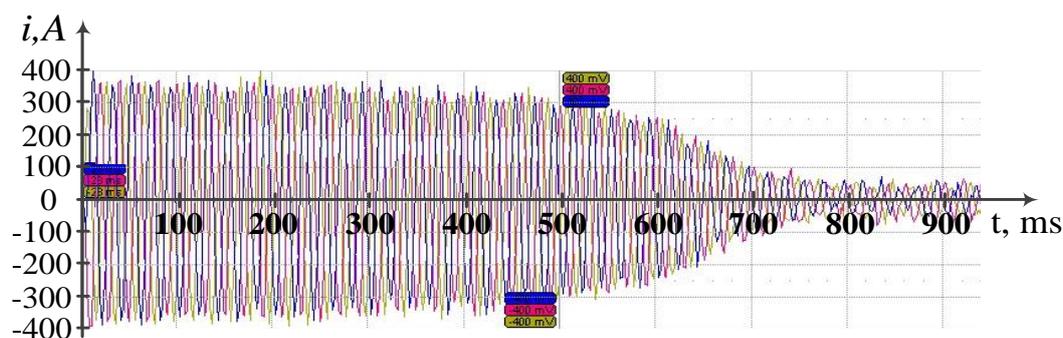


Рис. 7 Кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя электродвигателя типа АИР225М10/4 со стороны $p_1=2$ полюсности

На рис. 8 показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_2=5$ полюсности. Как можно заметить, из этой кривой наступление установившегося режима работы двигателя происходит 400 мс, пусковой ток 185 Ампер.

При прямом переключении с высокой на низкую скорость в электроприводе возникают большие динамические моменты, которые значительно выше номинального момента и могут превосходить критические моменты в двигательном режиме. Для уменьшения динамических моментов в электроприводе при переключении с высокой скорости на низкую необходимо на время торможения отключить двигатель от сети и в момент достижения синхронной скорости, соответствующей низкоскоростной обмотке, вновь подать напряжение сети на двигатель.

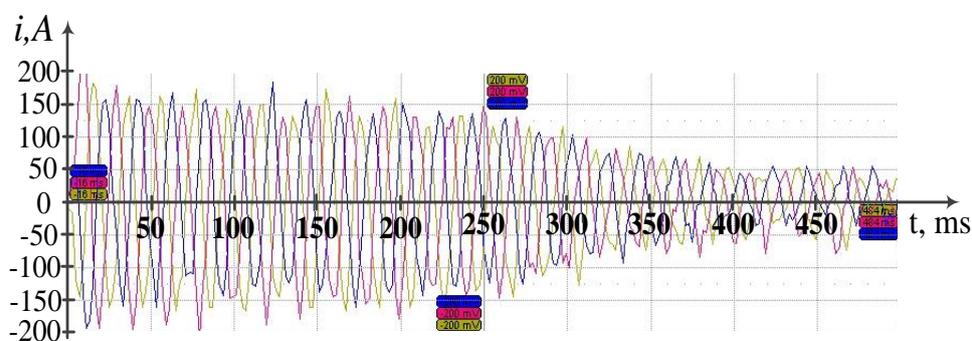


Рис. 8 Кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя электродвигателя типа АИР225М10/4 со стороны $p_2=5$ полюсности

Этот способ является более простым, однако требует наличия датчика скорости или углового положения кривошипа с достаточно широким диапазоном измерения. Во время перехода на низкую скорость необходимо контролировать скорость двигателя, так как из-за непостоянства нагрузки нельзя заранее рассчитать путь торможения, а, следовательно, время свободного выбега двигателя и переключения контакторов.

На рис. 9 показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_1=2$ полюсности и переключения ДД на $p_2=5$ полюсность. Как можно заметить, из этой кривой

наступление установившегося режима работы двигателя настает в течение 800 мс, пусковой ток 376 Ампер.

Через 2,15 с после установившегося режима работы на стороне $p_1=2$ полюсности электродвигатель был переключен на $p_2=5$ полюсность. Как видно из этой кривой, установившейся режим работы двигателя наступает за 140-150 мс, пусковой ток 245 Ампер.

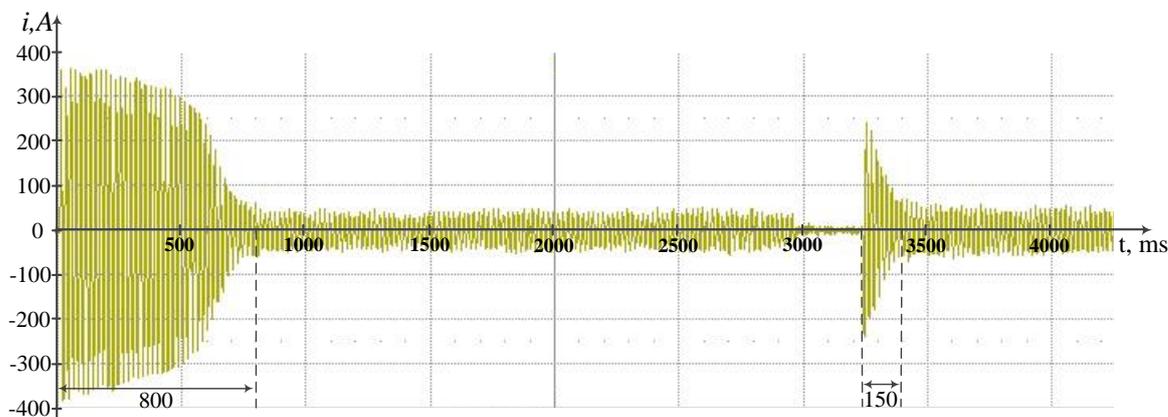


Рис. 9 Кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя электродвигателя типа АИР225М10/4 со стороны $p_1=2$ полюсности и переключение на $p_2=5$ полюсность

На рис. 10 показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_2=5$ полюсности и переключения ДД на $p_1=2$ полюсность.

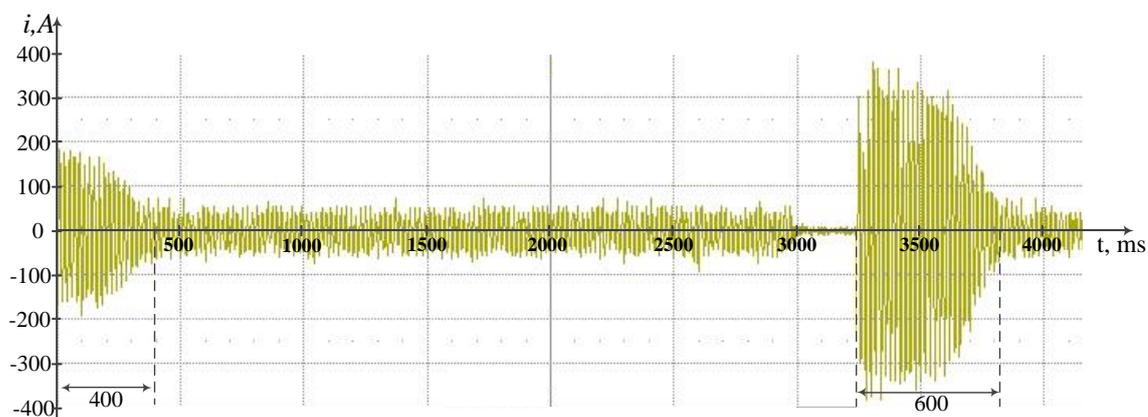


Рис.10 Кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя электродвигателя типа АИР225М10/4 со стороны $p_2=5$ полюсности и переключение на $p_1=2$ полюсность

Как можно заметить из этой кривой наступление установившегося режима работы двигателя настает в течение 400 мс, пусковой ток 190 Ампер. Через 2,65 с после установившегося режима работы на стороне $p_2=5$ полюсности электродвигатель был переключен на $p_1=2$ полюсность. Как видно из этой кривой, установившейся режим работы двигателя наступает в течение 600 мс, пусковой ток 385 Ампер.

Таким образом, при прямом пуске электродвигатель достигает установившегося режима за 800 мс при пусковом токе 400 Ампер, а при ступенчатом пуске за 600 мс, при пусковом токе 385 Ампер. Как видно при ступенчатом пуске электродвигатель при меньшем пусковом токе быстрее достигает установившегося режима, тем самым обеспечивается облегчение пуска и ресурсосбережение (увеличение времени работы самого двигателя и токоведущих частей) из-за меньшего количества теплоты выделяемого пусковым током, а также замедляется процесс износа механических частей шаровой мельницы, кроме того, обеспечивается точная остановка механизма без многократных пусков, что также влияет на ресурсосбережение в целом.

ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах исследования по диссертации на тему «Усовершенствование асинхронного электропривода шаровых мельниц», можно сделать следующие выводы:

1. На основе изучения режимов работы шаровых мельниц, применяемых при дроблении различных материалов на горнодобывающих, строительных, а также на химических предприятиях была обоснована необходимость усовершенствования электроприводов этих механизмов путем применения двухскоростных электродвигателей с полюсопереключаемой обмоткой.

2. С помощью метода дискретных заданных пространственных функций на основе базовой схемы «Δ/ΥΥ» разработана новая схема полюсопереключаемой обмотки с соотношением полюсов 2:5 с высокими электр магнитными свойствами и изобретение защищено в форме патента Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

3. Были изготовлены экспериментальные модели двухскоростных двигателей с разработанной полюсопереключаемой обмоткой на основе магнитопроводов серийных машин типа АИР112М4 и АИР225L4, которые прошли экспериментальные исследования в промышленных условиях. Результаты исследований показали, что новый двухскоростной двигатель отвечает требованиям, предъявляемым к электроприводам шаровых мельниц и обеспечивает ступенчатый пуск, а также точную остановку шаровых мельниц.

4. Научно доказано, что соотношение магнитных индукций в воздушном зазоре должно быть в пределах $1,15 \div 1,2$ для обеспечения требуемого пускового момента на стороне меньших оборотов для механизмов, работающих в тяжелых рабочих режимах

5. Научно обосновано, что для ограничения пусковых токов и токов генераторного режима электродвигателя привода шаровых мельниц время переключения с малой скорости на большую должно составлять 0,2 секунды, а также переключение с высокой скорости на малую должно осуществляться, когда скорость вращения устройства достигает малых оборотов.

6. В результате внедрения нового двухскоростного электродвигателя с разработанной полюсопереключаемой обмоткой в электроприводы шаровых мельниц типа МШ-1, установленных в 35-м цехе Научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов при АО «Алмалыкский ГМК», достигнут годовой экономический эффект на 132 192 000 сумов.

SCIENTIFIC COUNCIL ON SCIENTIFIC DEGREE AWARD
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SHAMSUTDINOV KHUSNIDDIN FAZLIDDINOVICH

**IMPROVEMENT OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF BALL
MILLS**

**05.05.02 – Electrical engineering. Electric power stations, systems. Electric technical
complexes and installations**

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

Tashkent – 2023

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2022.4.PhD/T1626.

The dissertation has been done at Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the web site of «ZiyoNet» Information and education portal (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:

Rismukhamedov Dauletbek Amanovich
candidate of technical sciences, associate
professor

Official opponents:

Pirmatov Nurali Berdiyevich
doctor of technical sciences, professor

Boltaev Otabek Tashmuhhammadovich
PhD in Engineering, Associate Professor

Leading organization:

**Navoi State university of mining and
technologies**

The defense will be take place «24» march 2023 at ___ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University. Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

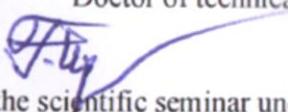
The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number - ___). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation was distributed on «11» march 2023 year,
(mailing record № 3 on «9» march 2023 year)



K.R. Allayev
Chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician


O.Kh. Ishnazarov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor


T.Sh. Gayibov
Chairman of the scientific seminar under scientific council
On awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the research is to improve the electric drive of ball mills by using electric motors with a pole-switched winding.

Research tasks:

substantiation of the expediency of using two-speed motors for stepwise starting, as well as for precise stopping of grinding mechanisms;

improvement of the method of discretely given spatial functions to obtain circuits of 2m-2m-zone pole-changing windings with a simplified manufacturing technology;

development of a new pole-changing winding scheme for two-speed motors;

experimental studies of two-speed motors with a developed pole-changing winding and determination of compliance with its requirements for the electric drive of grinding mechanisms.

The object of research is asynchronous motors used on the drives of grinding mechanisms.

The scientific novelty of the research follows:

the method of discretely given spatial functions has been improved based on the uniform distribution of magnetomotive forces of pole-switched windings;

to improve the electric drive of ball mills, a new scheme of pole-switched winding has been developed;

a mathematical model of the dynamic modes of a two-speed asynchronous motor with one winding was compiled;

the dependence of the duration of the flow of the starting current on the time of switching the speeds of a two-speed asynchronous motor is determined.

Practical results of the research follows:

a prototype of a two-speed motor with a new pole-switched winding was developed and manufactured;

on the basis of experimental studies, the energy and mechanical characteristics of a new two-speed engine were obtained;

the conformity of the mechanical characteristics of the engine with the requirements for electric drives of grinding mechanisms was revealed.

Scientific and practical significance of research results:

The scientific significance of the research results lies in the improvement of the method of discretely given spatial functions for obtaining circuits of 2m-2m-zone pole-switched windings, as well as in the development of a pole-switched winding circuit with improved electromagnetic properties and simplified manufacturing technology for electric motors with a number of stator slots equal to 30 electric drive ball mills.

The practical significance of the research results lies in the fact that the use of an asynchronous motor with a developed pole-switched winding makes it possible to carry out a stepwise start of grinding mechanisms, and also slows down the process of wear of the mechanical parts of the mechanism and failure of the motor itself due to a significant reduction in the number of switching during one cycle.

Implementation of research results. Based on the obtained scientific results on the improvement of asynchronous electric drives of ball mills:

received a patent for an invention of the Agency for Intellectual Property under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan (No. IAP 06203, 03/20/2020) for a pole-switched winding circuit for a two-speed electric machine. As a result, it became possible to create a two-speed motor with a pole-switched winding, which has improved electromagnetic properties and a simplified manufacturing technology based on a magnetic circuit with a number of stator slots equal to 30;

as a result of the introduction of a new two-speed electric motor with a developed pole-switched winding in the electric drives of ball mills of the MSH-1 type, installed in the 35th workshop of the Scientific and Production Association for the Production of Rare Metals and Hard Alloys at JSC Almalyk MMC, an annual economic effect of 132.192 million rubles was achieved. soums..

Approbation of research results. The results of this study were discussed at 3 international and 4 republican scientific and practical conferences.

Publication of research results. 18 scientific papers have been published on the topic of the dissertation. Of these, 3 articles in foreign and 4 articles in republican journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations, as well as received legal protection in the form of a patent for 1 invention and a software certificate for 1 computer.

Structure and volume of the thesis. The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 119 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим; (I часть; I part)

1. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с соотношением пар полюсов 2/5 при 30 пазах статора // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение IAP 06203, 20.03.2020.

2. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Экспериментальные исследования двухскоростного электродвигателя // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». Ташкент, 2019. № 3-4. -С.339-344. (05.00.00; №21).

3. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Новые перспективы для использования двухскоростных полюсопереключаемых машин // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», Ташкент, 2020. №3-4. -С.224-226. (05.00.00; №21).

4. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Магдиев Х. Ф. Юк кўтариш механизмлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», Ташкент, 2021. №3. -С.250-262. (05.00.00; №21).

5. Шамсутдинов Х.Ф. Полюсопереключаемая обмотка для центробежного насоса // «Ўзбекгидроэнерго» акциядорлик жамияти илмий-техник жунари. Ташкент, № 1/2021.-С. 56-57. (05.00.00; №01-06/1446).

II бўлим; (II часть; II part)

6. M.K. Bobojanov, D.Rismukhamedov, F.Tuychiev, Kh.F.Shamsutdinov, Kh.Magdiev. Pole-changing motor for lift installation // E3S Web of Conferences, 14 December 2020, Volume 216, 01164 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>

7. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function// International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, No. 11s (2020), pp. 1410-1415.

8. D.Rismukhamedov, Bobojanov M.K., F.Tuychiev, Kh.F.Shamsutdinov. Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio // E3S Web of Conferences, 264, 03057 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403057>.

9. Dauletbek Rismukhamedov, Furkat Tuychiev and Khusniddin Shamsutdinov. Development of pole-changing windings for two-speed motors of hoisting-transport mechanisms // AIP Conference Proceedings 2552, 050013 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0114061>.

10. Шамсутдинов Х.Ф., Магдиев Х.Г. Разработка полюсопереключаемой обмотки методом дискретно-заданных пространственных функций // «Ўзбекистонда илмий-амалий тадқиқотлар» мавзусидаги Республика 15-қўп тармоқли илмий масофавий онлайн конференция. Тошкент, 2020 йил 30- апрел, №15 сон.

11. Шамсутдинов Х.Ф. Исследование двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 1/5 // «Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари» мавзусида республика миқёсида илмий-техникавий анжуман. Тошкент, 2020.-С.108-110.

12. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф., Магдиев Х.Г., Юк кутариш механизмлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш // «Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция. Андижон, 2020.

13. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф., Махмутханов С.К., Розметов Х. Актуальные вопросы электроэнергетики Узбекистана // «Ўзбекистон иқтисодиёти тармоқларини рақамлаштириш шароитида электр тармоқлари корхоналарини инновацион ривожлантириш» мавзусидаги Республика илмий-техника анжумани. Ташкент, 2021 йил 8-сентябр. 120-123 бетлар.

14. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Двухскоростной асинхронный электродвигатель с новой полюсопереключаемой обмоток // В сборнике научных трудов V международной научно-технической конференции «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий». Уфа, 15-18 апрель 2020, -С.40-45.

15. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф.. Проектирование и моделирование асинхронного электродвигателя с помощью программы MAXWELL // Ўзбекистонда илмий амалий тадқиқотлар мавзусидаги республика 15-қўп тармоқли илмий масофавий онлайн конференция. Тошкент, 30 апрель 2020, -Б. 220-222.

16. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Построение полюсопереключаемой обмотки методом дискретно-заданных пространственных функций // Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе. Ташкент, 24-25 апрель 2020, -С. 670-671.

17. Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф., Магдиев Х.Г. Полюсопереключаемая обмотка на близкое соотношение полюсов // Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы системы электроснабжения» Ташкент, 2021, 25-26 ноября.

18. Шамсутдинов Х.Ф. Шарли тегирмонларнинг электр юритма тизимини такомиллаштириш // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики в условиях цифровизации экономики» Бухара, 2022, -С. 469-472.

19. Шамсутдинов Х.Ф., Худаяров М.Б., Туйчиев Ф.Н., Рисмухамедов

С.Д. Икки тезликли моторларнинг динамик режимларини ҳисоблаш дастури
// Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Свидетельство об
официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 20268, 14.12.2022.

Автореферат «Энергия ва ресурс тежаш муоммолари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва ингиз тилларидаги матнлар ўзаро маувофиқлаштирилди.