

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТАНИЕВ МИРЗОҲИД ХУРРАМОВИЧ**

**ҚАЙТА ТИҚЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИДАГИ АСИНХРОН  
ГЕНЕРАТОРЛАРНИ ИШЛАШ ЖАРАЁНИНИ  
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2024**

**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**

**Таниев Мирзохид Хуррамович**

Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларни  
ишлаш жараёнини такомиллаштириш..... 3

**Таниев Мирзохид Хуррамович**

Совершенствование процесса работы асинхронных генераторов  
возобновляемых источников энергии ..... 23

**Taniev Mirzokhid Xurramovich**

Improving the operation process of asynchronous generators of renewable  
energy sources ..... 43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 47

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТАНИЕВ МИРЗОҲИД ХУРРАМОВИЧ**

**ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИДАГИ АСИНХРОН  
ГЕНЕРАТОРЛАРНИ ИШЛАШ ЖАРАЁНИНИ  
ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузурдаги Олий аттестация комиссиясида В2024.2.PhD/Т2676 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:** **Тоиров Олимжон Зувурович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** **Ишназаров Ойбек Хайрилаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Умаров Шўхрат Бадреддинович**  
техника фанлари номзоди, профессор

**Етакчи ташкилот:** **Фаргона политехника институти**

Диссертация ҳимояси Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети ҳузурдаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли илмий кенгашнинг 2024 йил «22» 06 соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@edu.uz).

Диссертация билан Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (389 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси., 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2024 йил «5» 06 кuni тарқатилди.  
(2024 йил «4» 06 даги 5 рақамли реестр баённомаси).



**К.Р. Аллаев**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор,  
академик

**И.У. Раҳмонов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, профессор

**Т.Ш. Гайибов**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда мавжуд табиий энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш, қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги электр станциялари генераторларининг энергия самарадорлигини ошириш, гидроэлектр станцияларидаги электромеханик тизимларнинг энергия тежамкор иш режимларини яратишга алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган давлатларда қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторлардан фойдаланиш, электромеханик тизимни автоматик бошқариш бўйича кенг кўламли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Дунё бўйича шамол электр станцияларининг ўрнатилган қуввати йилига 93,6 ГВт га ошиб бориб, умумий ўрнатилган қуввати эса 950 ГВт га етди<sup>1</sup>. Шунингдек, дунё миқёсида 10 МВт гача бўлган кичик гидроэлектрстанцияларнинг ўрнатилган қуввати 79 ГВт га етди<sup>2</sup>. Бу борада, шамол ва гидро электр станцияларидаги генераторларни бошқариш тизимини такомиллаштириш, энергетик кўрсаткичларини яхшилаш, электромеханик тизимнинг энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторлардан фойдаланишда иқтисодий ва энергия самарадорликни оширишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда шамол ва сув оқими тезлиги ҳамда параметрлари ўзгаришида ўзгармас частотали максимал электр қувватини узатувчи фаза роторли асинхрон генераторларни электр таъминоти тизимига интеграциялаш, энергия тежамкор ва бошқариш режимларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу билан бир қаторда турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида асинхрон генераторнинг айланиш тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш, кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш усулларини яратиш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда истеъмолчиларни узлуксиз ва сифатли электр энергияси билан таъминлаш мақсадида шамол электр станциялари (ШЭС) ва микро гидроэлектр станциялари (ГЭС) дан фойдаланиш, уларда қўлланиладиган генераторларни электр таъминоти тизимига интеграциялаш, замонавий технологияларни қўллаш орқали энергия тежамкор ва бошқариш режимларини ишлаб чиқиш бўйича катта ислоҳотлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан "...уй-жой-коммунал хўжалиги, ижтимоий соҳа объектлари ва бошқа соҳаларда қайта тикланувчи энергия манбаларини кенг жорий этиш ва энергия самарадорлигини ошириш..." бўйича вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан, шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида электр таъминоти тизими билан параллел

<sup>1</sup> <http://www.osti.gov/scitech>, <https://www.eprussia.ru/epr/460/1978524.htm>

<sup>2</sup> [http://cawater-info.net/library/rus/eabr\\_4.pdf](http://cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf), [https://vk.com/wall-212253667\\_227](https://vk.com/wall-212253667_227)

ишловчи фаза роторли асинхрон генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этади.

2020-2030 йилларда Ўзбекистон Республикасини электр энергияси билан таъминлаш концепцияси, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 9 сентябрдаги ПФ-220-сон “Энергия тежовчи технологияларни жорий қилиш ва кичик қувватли қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” Фармони, 2023-йил 16-февралда ПҚ-57-сон “2023-йилда қайта тикланувчи энергия манбаларини ва энергия тежовчи технологияларни жорий этишни жадаллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазибаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик” устувор йўналишига мос келади.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Шамол ва сув оқими тезлиги ҳамда параметрлари ўзгаришида ўзгармас частотада электр қувватини узатувчи генераторларни электр таъминоти тизими билан параллел ишлатиш ҳамда уларни кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш усулларини ишлаб чиқиш, электромеханик тизимларнинг энергия самарадорлигини ошириш устида илмий-тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказларида ва олий таълим муассасаларида, жумладан, National Renewable Energy Laboratory (АҚШ), University of Waterloo (Канада), Polytechnic University of Milan (Италия), Technical University of Denmark (Дания), Tokyo technology institute (Япония), National Institute of Wind Energy (Ҳиндистон), China Renewable Energy Engineering Institute (Хитой), Москва энергетика институти (Россия) ЎзР ФА Энергетика муаммолари институти (Ўзбекистон) ва Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон) томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги ШЭС ва микроГЭС ларда генераторлардан фойдаланиб, электр энергиясини ишлаб чиқаришга мўлжалланган энергетик ва автоматик бошқариш қурилмаларни яратиш бўйича бир қатор хорижий олимлардан, жумладан Ya.I. Shefter, J.M. Darrius, S.J. Savonius, X.N. Nguyen, V.T. Chong, Vang Cho, Kooksun Li, И.М. Постников, Ю.Г. Толстов, А.А. Иванов, А. В.Иванов-Смоленский, М.А.Тагиров, А.И. Важнов, В.В. Попов, П.П. Безруких, Н.Е. Жуковский, Е.М. Фатеев, Е.В. Соломин, С.Г. Обухов, Д.С. Аминов, Л.Н. Гобадзе, А.А. Муравьёв, Д.А. Падалко, С.И. Кицис, П.П. Свит, А.С. Мартьянов ва бошқалар ҳисса қўшганлар.

ШЭС ва ГЭСлардаги генераторларнинг энергетик ва бошқариш қурилмалари энергия самарадорлигини ошириш, иш жараёнларини такомиллаштириш бўйича маҳаллий олимларимиздан М.З. Хамудханов, Х.Ф.

Фазилов, Қ.Р. Аллаев, Р.А. Заҳидов, С.Ж. Ҳайдаров, К.Х. Қурбаниязов, О.О. Ҳошимов, К.Т. Алимходжаев, Ў.А. Таджиев, М.М. Муҳаммадиев, М.К. Бобожанов, Н.Б. Пирматов, Н.Н. Саъдуллаев, О.Х. Ишназаров, О.З. Тоиров, Ш.Б. Умаров ва бошқалар илмий тадқиқотлар олиб боришган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларни электр таъминоти тизими билан параллел ишлатиш, шамол ва сув оқими тезликлари турлича ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи фаза роторли асинхрон генераторларнинг ротор занжирига қўшимча актив қаршиликлар киритиш орқали кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш усули, автоматик бошқариш қурилмаси, электр бошқарув схемаси ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизими таклиф этилган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Мазкур диссертация иши Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетиде бажарилган ИЛ-442105947 рақамли “Шамол ва сув оқими параметрлари ўзгаришида локал энергетика тизимига ўзгармас частотали стабил ўзгармас электр қувватини узатувчи янги автоматик қурилма яратиш” (2022-2024 йй.) мавзусидаги инновацион лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи фаза роторли асинхрон генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторнинг кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш усулларини таҳлил қилиш, энергия самарадорлигини таъминловчи сиғим ва қўшимча актив қаршиликларини танлаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторнинг айланиш тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемасини ишлаб чиқиш;

ШЭС ва микроГЭСлардаги фаза роторли асинхрон генератор (ФРАГ) тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш қурилмасини, электр бошқарув схемасини ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизимини ишлаб чиқиш;

бошқарилувчи ФРАГларни энергетик кўрсаткичларининг экспериментал таҳлил қилиш, регрессион таҳлиллар асосида турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик моделини такомиллаштириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида қайта тикланувчи энергия манбаларидаги фаза роторли асинхрон генератор олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** шамол ва сув оқими тезлиги ўзгаришида

максимал электр қувватини узатувчи фаза роторли асинхрон генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизими ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида асинхрон генераторларни, электромеханик тизимларни математик моделлаштириш, автоматик бошқариш назарияси, Matlab/Simulink дастурида имитацион моделлаштириш, экспериментал маълумотларни қайта ишлашда математик статистика усуллари, Autodesk 3Ds MAX лойиҳалаш дастури, регрессия ва кореляция таҳлиллари усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

амалдаги тармоқ билан параллел ишлаш шартини ҳисобга олиб шамол оқими тезликлари турлича ўзгаришида асинхрон генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизими ҳамда максимал қувват узатиш имконини берувчи бошқариладиган шамол электр қурилмаси яратилган;

асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини таъминлаш мезони асосида сиғим ва қўшимча актив қаршиликларни танлаш ҳамда генераторнинг ротор чулғамига қаршилик киритиш орқали унинг айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлаш усули такомиллаштирилган;

турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида технологик ва эксплуатацион омилларни эътиборга олиб бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик модел регрессион таҳлиллар асосида такомиллаштирилган;

турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида асинхрон генераторнинг айланиш тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси ва электр энергияси сифат кўрсаткичларининг меъёрий қийматларини таъминловчи назорат - бошқарув тизими ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

шамол ва сув оқими тезликлари турлича ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг физик модели ва функционал схемаси ишлаб чиқилган;

асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини таъминловчи сиғим ва қўшимча актив қаршиликларини танлаш алгоритми асосида энергетик кўрсаткичларини ҳисоблашнинг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

асинхрон генераторнинг механик ва электр исрофларини эътиборга олган ҳолда тизимнинг қувват баланси, генераторнинг ротор чулғамига қаршилик киритиш орқали кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш методикаси такомиллаштирилган;

ШЭС ва микроГЭСлардаги фаза роторли асинхрон генераторни электр таъминоти тизими билан параллел ишлатишда электр қувватини узатувчи автоматик қурилманинг электр бошқарув схемаси ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизими ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги асинхрон генераторларда математик ва имитацион моделларни тўғри қўлланилганлиги, экспериментал тадқиқотлар ва регрессион таҳлиллар асосида олинган моделларнинг ўзаро мувофиқлиги, юқори аниқликдаги

сертификатланган ўлчов асбобларидан фойдаланилганлиги, шунингдек, экспериментал маълумотларни қайта ишлашда математик статистика усуллари жорий этиш билан тасдиқланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шамол ва сув оқими тезликлари турлича ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш қурилмаси, айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемасини ҳамда технологик ва эксплуатацион омилларни эътиборга олиб бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик моделини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти қайта тикланувчи энергия манбаларидаги электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи асинхрон генераторнинг статор чулғамига сиғим ва ротор чулғамига кўшимча актив қаршиликларини танлаш, энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритмини; автоматик қурилманинг электр бошқарув схемаси, электр, механик ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизимини ишлаб чиқилганлиги, энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритми асосида sanoat дастури яратилганлиги ҳамда автоматик бошқариш қурилмасига жорий этилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи фаза роторли асинхрон генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

асинхрон генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизими ҳамда максимал қувват узатиш имконини берувчи бошқариладиган шамол электр қурилмаси учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделига патенти олинган (Амалдаги тармоқ билан параллел ишловчи бошқарилувчи шамол электр қурилмаси, FAP 20230311, 30.08.2023 й.). Натижада шамол оқими тезликлари турлича ўзгаришида асинхрон генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизими ҳамда максимал қувват узатиш имконияти яратилган;

сиғим ва кўшимча актив қаршиликларни танлаш ҳамда генераторнинг ротор чулғамига қаршилиқ киритиш орқали унинг айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлаш усули “Ўзбекгидроэнерго” АЖ нинг “Ҳисорак ГЭС” унитар корхонасида жорий этилган (“Ўзбекгидроэнерго” АЖ нинг 2023 йил 6 ноябрдаги 02-28/3227 сон маълумотномаси). Натижада, электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи асинхрон генераторнинг қувват коэффицентини 5-22% га ошириш ҳамда максимал қувват ишлаб чиқариш режимида ишлашини таъминлаш имконияти яратилган;

асинхрон генераторнинг айланиш тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси ва электр энергияси сифат кўрсаткичларининг меъёрий қийматларини таъминловчи назорат - бошқарув тизими “Ўзбекгидроэнерго” АЖ нинг “Ҳисорак ГЭС” унитар корхонасида жорий этилган (“Ўзбекгидроэнерго” АЖ нинг 2023 йил 6 ноябрдаги 02-

28/3227 сон маълумотномаси). Натижада, автоматик қурилманинг электр бошқарув схемаси ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизимини қўллаш орқали хорижий аналогларга нисбатан қиёсланганда иқтисодий самарадорлик 163,386 млн. сўмни ташкил этган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 14 та илмий-амалий анжуманларда, шу жумладан 11 та халқаро ва 3 та республика анжуманларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш, жумладан, 7 та илмий мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия қилинган журналларда, шу жумладан республика илмий журналларда 6 та, хорижий илмий журналларда 1 та мақолалар чоп этирилган (Scopus маълумотлар базасига киритилган тўпламларда 2 та мақола), шунингдек Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан 1 та фойдали моделга патент ва ЭХМ дастурига 2 та муаллифлик гувоҳномаси олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, диссертация мавзуси бўйича олиб борилаётган халқаро илмий тадқиқотлар ҳақида умумий маълумот ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объектлари, предмети ва усуллари кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ёритилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот иши натижалари жорий қилиниши апробацияси, шунингдек диссертациянинг ҳажми ва тузилиши ҳақида қисқача маълумот келтирилган.

Диссертациянинг **“МикроГЭС ва шамол электр станцияларда қўлланиладиган генераторларнинг замонавий ҳолати ва уларни бошқариш масалалари”** номланган биринчи бобида Ўзбекистондаги МикроГЭС ва ШЭСларнинг замонавий ҳолати ва ривожланиш истиқболлари, қайта тикланувчан энергия манбаларидаги кичик қувватли электромеханик тизимларни ишлаб чиқиш ва жорий қилиш зарурияти очиб берилган. МикроГЭС ва ШЭСлардаги генераторларни электр таъминоти тизими билан параллел ишлатиш усуллари, уларнинг имкониятлари кўрсатиб ўтилган.

ШЭС ва микроГЭС лардаги электр таъминот тизими билан параллел ишловчи генераторларни афзаллик ва камчиликлари таҳлил қилинган, шунингдек, ҳозирги вақтда Ўзбекистонда БААнинг “Masdar” ва Саудия

Арабистонининг “ACWA Power” компаниялари томонидан ўрнатилаётган шамол турбинаси ҳақида асосий техник маълумотлар келтирилган. ШЭС ва микро ГЭС учун шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида фаза роторли асинхрон генераторларни қўллаш имкониятлари асослаб берилган. Асинхрон генераторларни электр таъминоти тизими билан параллел ишлаши учун қўйиладиган талаблар, электромеханик тизимларни бошқариш масалалари таҳлил қилинган.

Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларни ишлаш жараёнини такомиллаштириш бўйича олиб борилган илмий ва амалий ишлар таҳлили асосида тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган.

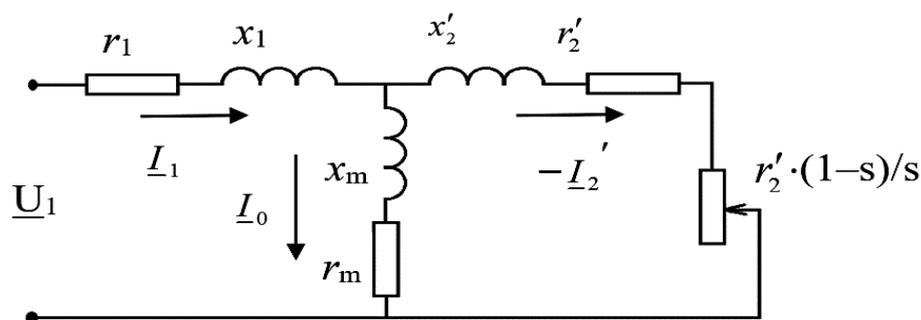
Диссертациянинг **“Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторнинг режимлари ва айланиш тезлигини ростлаш методлари”** деб номланган иккинчи бобида қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторнинг иш режимлари ва айланиш тезлигини ростлаш усули такомиллаштирилган. Асинхрон генераторнинг аналитик ифодалари орқали ишчи тавсифлари, турли шамол тезликларида максимал қувват олиш чегаралари қийматлари учун моментнинг ва қувватнинг тезликка боғлиқлик графиклари олинган. Асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини таъминлаш мезони асосида сиғим ва қўшимча актив қаршиликларни танлаш алгоритми ишлаб чиқилган. Фаза роторли асинхрон генераторларнинг қувват исрофларини ҳисоблаш методикаси асосида дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

Фаза роторли асинхрон генераторларнинг қўзғатиш схемасида қўзғатиш учун зарур бўлган реактив энергия манбаи сифатида конденсатор батареяларидан фойдаланилади. Сиғим қўзғатиш манбасини ҳисобга олган ҳолда фаза роторли асинхрон генераторнинг дифференциал тенгламаларининг якуний шакли қуйидагича ифодаланади.

$$\begin{aligned} \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= \frac{u_{s\alpha}}{L_s} - \frac{r_s i_{s\alpha}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{k_r}{L_s} p w_r \psi_{r\beta}, & \frac{\Psi_{r\alpha}}{dt} &= k_r r_r i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p w_r \psi_{r\beta} \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} &= \frac{u_{s\beta}}{L_s} - \frac{r_s i_{s\beta}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s L_r} \psi_{r\beta} + \frac{k_r}{L_s} p w_r \psi_{r\alpha}, & \frac{\Psi_{r\beta}}{dt} &= k_r r_r i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p w_r \psi_{r\alpha} \\ \frac{du_{s\alpha}}{dt} &= \frac{r_H (i_{c\alpha} - i_{s\alpha})}{C}, & \frac{du_{s\beta}}{dt} &= \frac{r_H (i_{c\beta} - i_{s\beta})}{C}, & \frac{dw_r}{dt} &= \frac{k_r}{J_{AF}} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}) \end{aligned} \quad (1)$$

бу ерда  $k_r = \frac{X_m}{X_r}$  – магнитловчи чулғам реактив қаршилигини ротор реактив қаршилигига нисбати;  $T_r = \frac{X_r}{R_r}$  – реактив қаршилиқни актив қаршилиқка нисбий параметри;  $r_H$  – юклама қаршилиги.

Генератор алмаштириш схемаси (1-расм) ва вектор диаграммасини таҳлил қилиш орқали генераторнинг айланиш тезлигини ростлаш усули таҳлил қилинган.



1-расм. Асинхрон генераторнинг алмаштириш схемаси

бу ерда  $U_1$  – статорнинг фаза кучланиши;  $I_1$  – статор токи;  $I_2$  – статор чулғамига келтирилган ротор токи;  $r_1$  ва  $x_1$  – статор чулғамининг актив ва реактив қаршиликлари,  $r_2'$  и  $x_2'$  – ротор чулғамининг келтирилган актив ва реактив қаршиликлари;  $I_0$  – магнитловчи ёки салт ишлаш токи;  $s$  – сирпаниш;  $E\mu = -jx_m I_0$  – салт ишлашдаги ЭЮК;  $x_m$  – ўзиндукциядаги индуктив қаршилик.

Ушбу алмаштириш схемаси орқали қисқа туташув қаршиликлари ва уни ташкил этувчиларини куйидагича ифодалаш мумкин:

$$r_2' = k_E k_I r_2, \quad x_2' = k_E k_I x_2, \quad r_k = r_1 + r_2', \quad x_k = x_1 + x_2', \quad Z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} \quad (2)$$

(2) ифода асосида турли поғоналардаги сирпаниш қиймати аниқланади:

$$m_{cheg} = \frac{1 + s_{kr4}^2}{2s_{kr4}}, \quad s_{kr4} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}, \quad s_{pog'12} = \sqrt{s_{pog'23}}, \quad s_{pog'23} = \sqrt[7]{s_{pog'34}^8}, \quad s_{pog'34} = s_{kr4} \quad (3)$$

(3) ифода асосида турли поғонадаги сирпанишга мос келувчи қаршилик қиймати эса куйидагича бўлади:

$$R_{qo'sh} = r_2' \left( \frac{m_p}{ms_{kr4}} - 1 \right), \quad R_{qo'shI} = (r_2' + R_{qo'sh})(1 - s_{pog'12}), \quad R_{qo'shI} = \frac{R_{qo'shI}}{k^2} \quad (4)$$

$$R_{qo'shII} = (r_2' + R_{qo'sh})(1 - s_{pog'23}) - R_{qo'shI}, \quad R_{qo'shIII} = R_{qo'sh} - (R_{qo'shI} + R_{qo'shII})$$

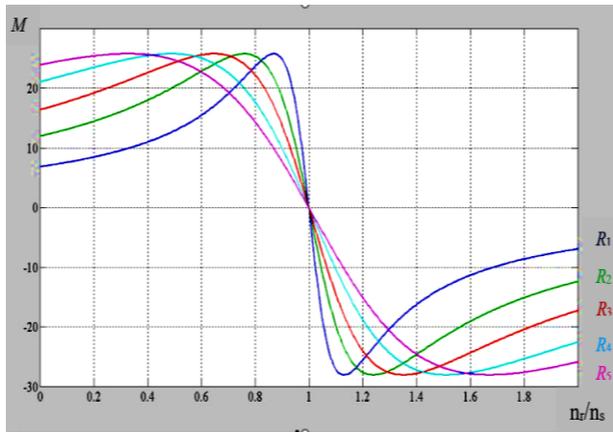
Асинхрон генераторнинг ротор чулғамига қўшимча қаршилик уланган вақтдаги статор чулғамидаги ишга тушириш токи, моменти ҳамда қувват коэффициенти куйидагича ифодаланади:

$$I_{1N} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{(r_1 + r_2' + R_{qo'shIII})^2 + x_k^2}}, \quad M = \frac{pm_1 U_{1f}^2 (r_2' + R_{qo'sh})}{2\pi f ((r_k + R_{qo'sh})^2 + x_k^2)}, \quad \cos \varphi_N = \frac{r_k + R_{qo'sh}}{\sqrt{(r_k + R_{qo'sh})^2 + x_k^2}} \quad (5)$$

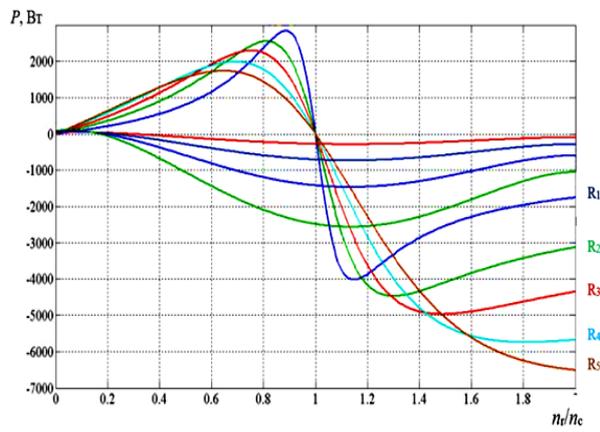
Ротор чулғамидаги турли қаршилик қийматларида асинхрон генераторнинг актив қуввати куйидагича ифодаланади:

$$P_{AG} = 3U_1^2 \frac{R_2 + R_{qo'sh}}{s} \frac{1}{(R_K + \frac{R_2 + R_{qo'sh}}{s})^2 + (X_K + X_2)^2} \quad (6)$$

Асинхрон генераторнинг аналитик ифодалари орқали ишчи тавсифлари, турли шамол тезликларида максимал қувват олиш чегаралари қийматлари учун моментнинг ва қувватнинг тезликка боғлиқлик графиклари олинган (2-расм).



а)



б)

2-расм. ФРАГ нинг ротор чулғамига қўшимча қаршилик R нинг 0 дан 7,5 Ом қийматлари учун моментнинг (а) ва қувватнинг тезликка (б) боғлиқлик графиклари

Асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини таъминлаш мезони асосида сигим ва қўшимча актив қаршиликларни танлаш ҳамда энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган (3-расм). Ушбу алгоритм орқали фаза роторли асинхрон генератор тезлигини қаршиликларни ростлаш орқали бошқариш ва энергетик кўрсаткичларини тезкор ҳисоблаш имкони яратилган.

МикроГЭС, шамол электр станцияларидаги фаза роторли асинхрон генераторнинг тезлигини қаршиликларни ростлаш орқали бошқариш ҳамда энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритми асосида дастурий таъминоти ишлаб чиқилган. Натижада шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида ФРАГнинг статор чулғамига уланадиган сигим қаршиликларини танлаш орқали электр таъминоти тизимига параллел ишловчи асинхрон генераторнинг қувват коэффициентини ошириш имконияти яратилган.

Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги фаза роторли асинхрон генераторларнинг қувват исрофларини ҳисоблаш методикаси асосида дастурий таъминот ишлаб чиқилган (4-расм). Натижада, ҳар қандай асинхрон генератор учун ротор занжирига уланган турли қаршиликларда қувват исрофларини ҳисоблаш имконияти яратилган.

**Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridagi faza rotorli asinxron generatorlarning quvvat isroflarini hisoblash metodikasi**

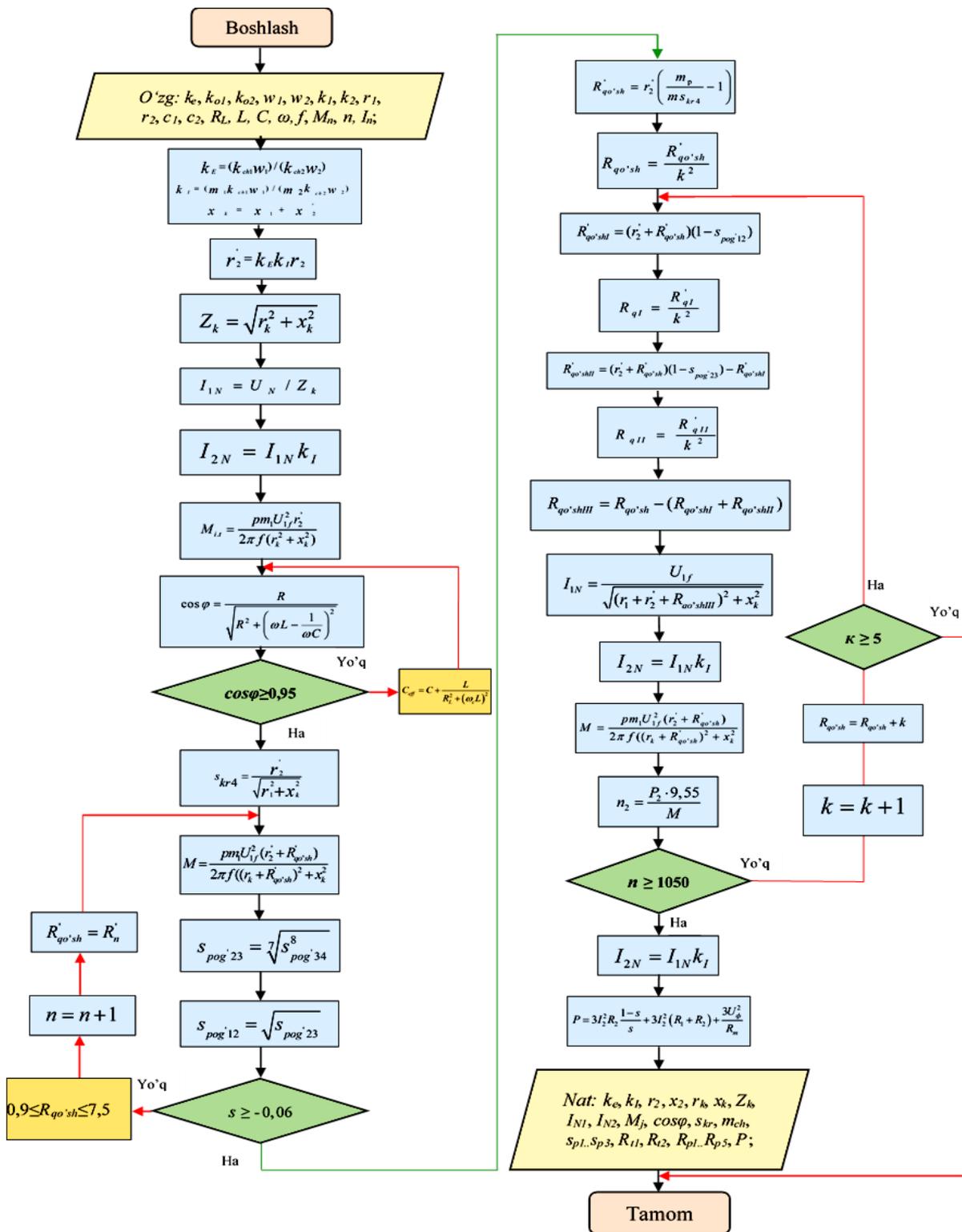
Passport ma'lumotlar	Hisoblash	Hisobiy ma'lumotlar
Stator ichkinchi minimal kengligi 7,7 mm	stator siri izorlari P <sub>st1</sub> 18,5 W	Stator ichkinchi o'rtacha kengligi 9,3 mm
Stator ichkinchi maksimal kengligi 10,9 mm	stator ichkaridagi izorlar P <sub>st2</sub> 22,45 W	Stator o'rtacha o'rtacha kengligi P <sub>st3</sub> 39,51265 W
Stator pastki sari 72 mm	qutbi bo'ylama q <sub>1</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st4</sub> 70,249311 W
Stator pastki kengligi 0,0362 m	qutbi bo'ylama q <sub>2</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st5</sub> 654,152771 W
Statorning ichki diametri 0,403 m	qutbi bo'ylama q <sub>3</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st6</sub> 124,9092 W
Pa'ntaning ichki 7000 kg/m <sup>3</sup>	qutbi bo'ylama q <sub>4</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st7</sub> 11,558333 W
Magnit o'ltazov chetki qo'tarib olinish ko'rsatkichi 0,95	qutbi bo'ylama q <sub>5</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st8</sub> 209,271711 W
Havo oraliqning hisobiy kengligi 0,22 m	qutbi bo'ylama q <sub>6</sub> 0,158 m	Stator yuzasidagi izorlar P <sub>st9</sub> 3252,93736 W
Statorning tashqi diametri 0,53 m	qutbi bo'ylama q <sub>7</sub> 0,158 m	
Stator ichki o'rtacha indoksiya 1,43 H	qutbi bo'ylama q <sub>8</sub> 0,158 m	
Stator yuzasidagi indoksiya 1,35 H	qutbi bo'ylama q <sub>9</sub> 0,158 m	
Tarqov chastotasi 50 Hz	qutbi bo'ylama q <sub>10</sub> 0,158 m	
Magnit oqimining o'zgarish tezligi 1,6	qutbi bo'ylama q <sub>11</sub> 0,158 m	
Magnit oqimining reaktiv tashqi etarfi 1,8	qutbi bo'ylama q <sub>12</sub> 0,158 m	
Pa'nta uchun so'zlashuv ko'rsatkichi 1,5	qutbi bo'ylama q <sub>13</sub> 0,158 m	
Pa'nta uchun so'zlashuv ko'rsatkichi 1,75	qutbi bo'ylama q <sub>14</sub> 0,158 m	
Stator pastki kengligi 0,0328 m	qutbi bo'ylama q <sub>15</sub> 0,158 m	
Havo oraliqning magnit indoksiya ko'rsatkichi 3,78 H	qutbi bo'ylama q <sub>16</sub> 0,158 m	
Stator va rotor o'rtasidagi havo oraliq 0,8 mm	qutbi bo'ylama q <sub>17</sub> 0,158 m	
Stator magnit indoksiya 1,19 H	qutbi bo'ylama q <sub>18</sub> 0,158 m	
Havo oraliqning magnit indoksiya ko'rsatkichi 0,7 H	qutbi bo'ylama q <sub>19</sub> 0,158 m	
Siriya izorlari hisoblash uchun ko'rsatkichi 0,34	qutbi bo'ylama q <sub>20</sub> 0,158 m	
Havo oraliqning magnit indoksiya ko'rsatkichi 1,03	qutbi bo'ylama q <sub>21</sub> 0,158 m	
Stator ichki bo'ylama 0,01756 m	qutbi bo'ylama q <sub>22</sub> 0,158 m	
Stator magnit moydonini sinir rasi 750 kg/m <sup>3</sup>	qutbi bo'ylama q <sub>23</sub> 0,158 m	
Stator magnit 0,225 m	qutbi bo'ylama q <sub>24</sub> 0,158 m	
Stator pastki sari 84 mm	qutbi bo'ylama q <sub>25</sub> 0,158 m	
Stator ichki bo'ylama 14,93 mm	qutbi bo'ylama q <sub>26</sub> 0,158 m	
Stator pastki kengligi 1,5 mm	qutbi bo'ylama q <sub>27</sub> 0,158 m	
Statorning ichkinchi maksimal kengligi 8,91 mm	qutbi bo'ylama q <sub>28</sub> 0,158 m	
Stator ichkinchi minimal kengligi 7,73 mm	qutbi bo'ylama q <sub>29</sub> 0,158 m	

Project2

Dastur muallifi: Toirov O.Z.,Taniyev M.X,Minonov U.K,Siddulayev T.M

OK

4-расм. ФРАГнинг қувват исрофларини ҳисоблаш дастурининг кўриниши

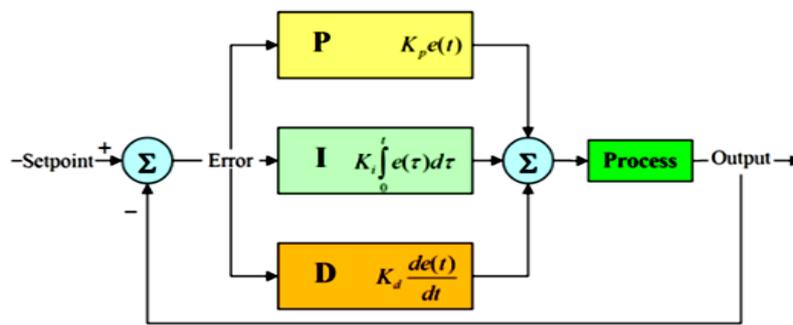


3-расм. Асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини таъминловчи сифим ва қўшимча актив қаршиликларни танлаш ҳамда энергетик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритми

Дастур орқали микро ГЭС ва шамол электр станцияларида қўллаш учун мўлжалланган ФРАГнинг статор ва ротор қисмларидаги, пўлатдаги қўшимча ва умумий, механик, номинал режимдаги қўшимча исрофларни, бундан ташқари салт ишлаш токи, салт ишлаш режимидаги қувват исрофларини, қувват коэффицентини аниқлаш имконини беради.

Диссертациянинг “Асинхрон генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимини лойиҳалаш ва функционал схемасини ишлаб чиқиш” деб номланган учинчи боби шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида бошқарилувчи ФРАГнинг имитацион модели яратилган ҳамда энергетик ва механик кўрсаткичларининг ўзгариш графиклари келтирилган. Локал энергетика тизимига ўзгармас частотали электр қувватини узатувчи автоматик бошқариш қурилмаси элементларининг техник тавсифлари келтирилган, генератор айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси ишлаб чиқилган ва физик модели лойиҳанган. ФРАГнинг электр, механик ва сифат кўрсаткичларининг назорат-бошқарув тизими ишлаб чиқилган.

Турли шамол ва сув оқими тезлигида ФРАГнинг ротор чулғамига кўшимча қаршилик киритиш орқали кенг диапазонда айланиш тезлигини бошқариш усули имитацион моделлаштириш орқали тадқиқ қилинган. Тадқиқот ишида автоматик бошқариш қурилмасининг асосий қисми сифатида PID контроллерлари қўлланилган (5-расм).

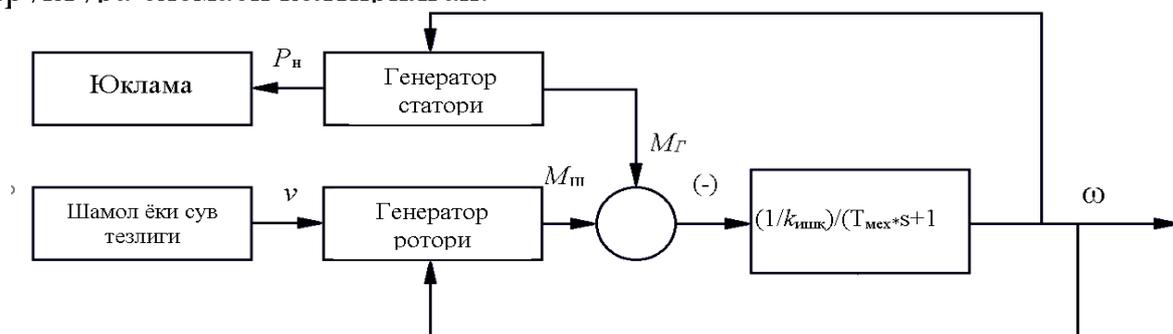


5-расм. PID контроллернинг блок диаграммаси

Ушбу контроллернинг ишлаши (7) тенгламада кўрсатилганидек, вақт доимийси функцияси сифатида белгиланган нуқталардан фойдаланишни ўз ичига олади:

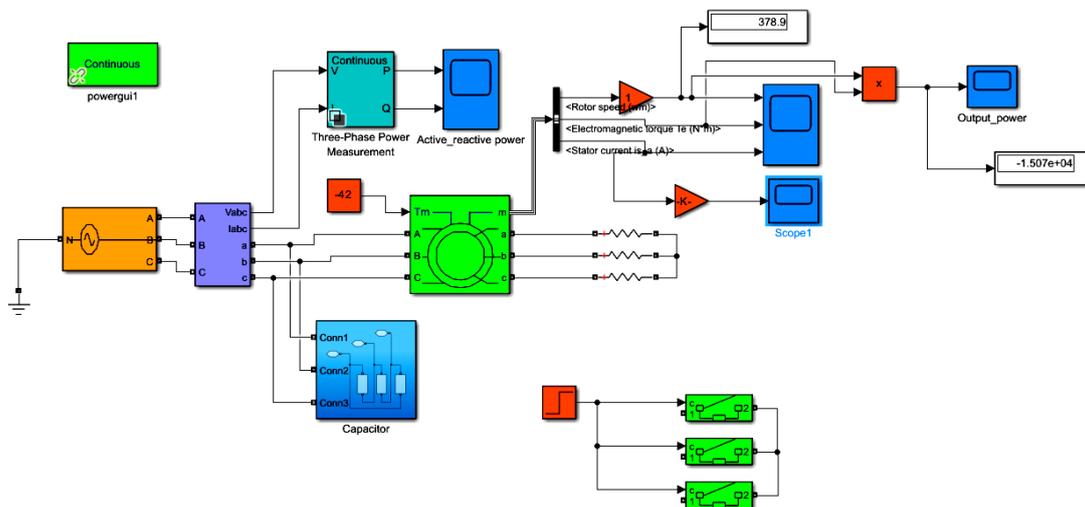
$$(T) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

6-расмда МикроГЭС ва ШЭС механик қисмининг соддалаштирилган структура схемаси келтирилган.



6- расм. МикроГЭС ва ШЭС механик қисмининг соддалаштирилган структура схемаси

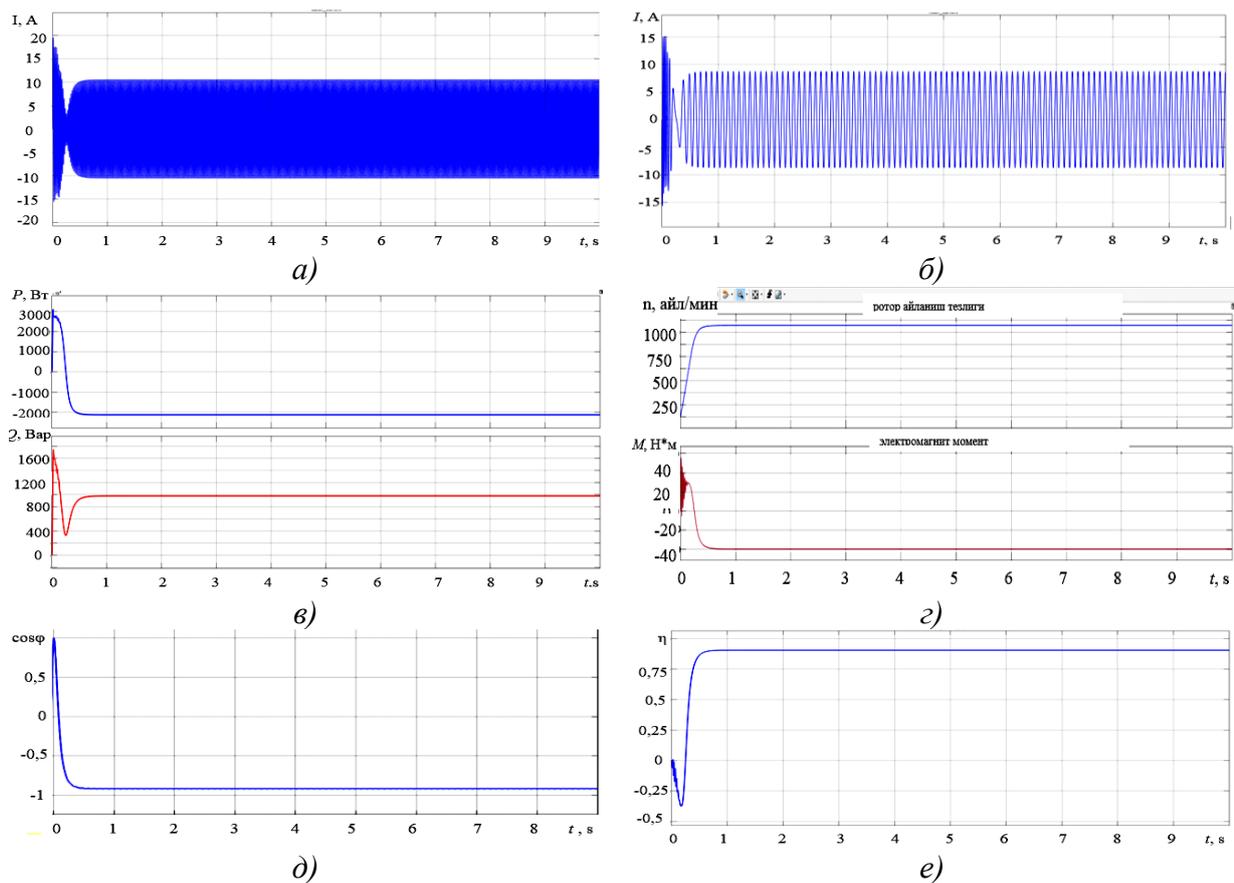
Ушбу структура схемаси асосида бошқарилувчи фаза роторли асинхрон генераторнинг имитацион модели Matlab дастурининг Simulink пакети ёрдамида тузилган (7-расм).



7-расм. Бошқарилувчи фаза роторли асинхрон генераторнинг имитацион модели

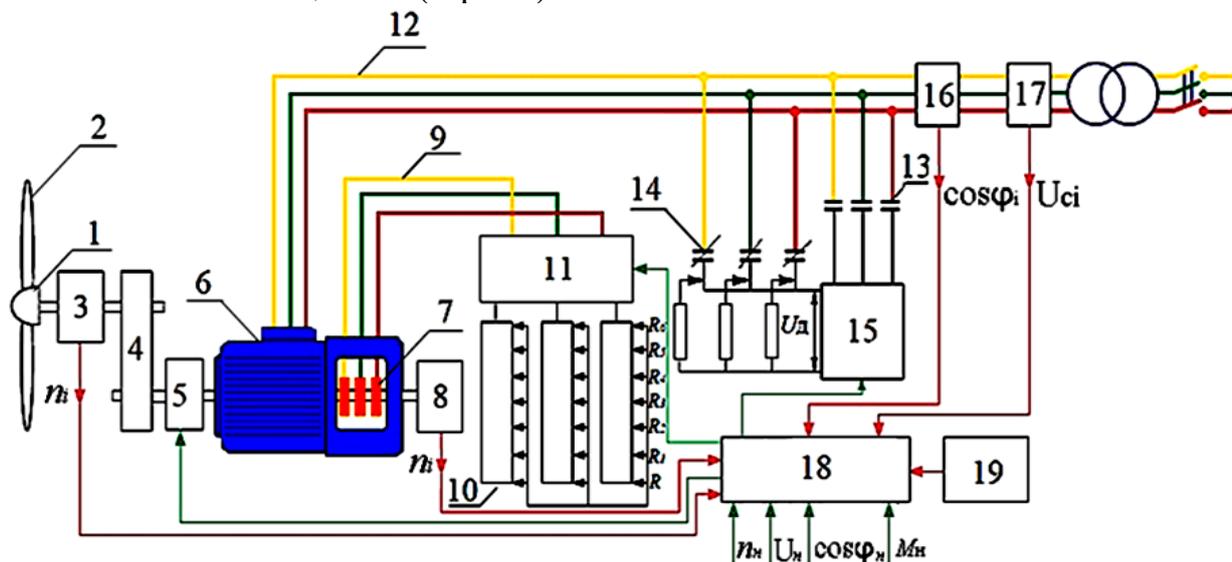
Имитацион модел ёрдамида шамол тезликлари турлича ўзгаришида қуввати 2,2 кВтли ФРАГнинг айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлаш мақсадида ротор чулғамига қўшимча қаршилик қиймати  $R_{кўш} = 0 \div 7,5$  Омгача ўзгартирган. Шунингдек, генераторнинг чиқиш қувватини эътиборга олиб, статор чулғамига уландиган реактив қувватнинг қийматини  $0 \div 3,5$  кВаргача ростлаш орқали тадқиқот ишлари олиб борилган.

8-расмда имитацион моделдаги бошқарилувчи ФРАГнинг энергетик ва механик кўрсаткичларининг ўзгариш графиклари келтирилган.



8-расм. Бошқарилувчи ФРАГнинг энергетик ва механик кўрсаткичларининг вақт бўйича ўзгариш графиклари: (а) статор ва (б) ротор токи, (в) актив ва реактив қувват, (г) ротор тезлиги ва моменти, д) қувват ва е) фойдали иш коэффициенти

Турли шамол ва сув оқимлари тезликлари ўзгаришида қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторнинг айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси ишлаб чиқилган (9-расм).



**9-расм. Шамол тезликлари ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси:**

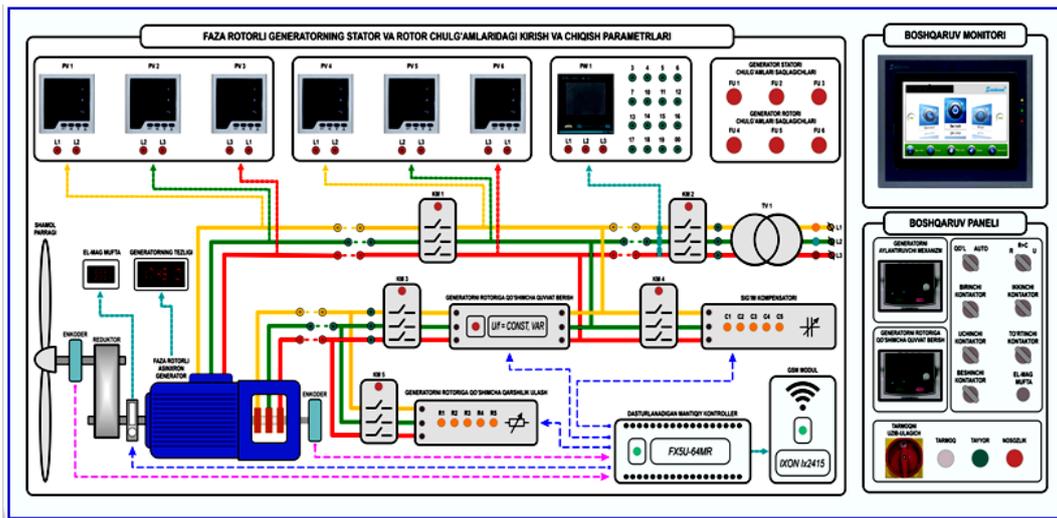
1 - ШЭС вали, 2 - паррақлар, 3 - тезлик датчиги, 4 - редуктор, 5 - электромагнит тормоз, 6 - асинхрон генератор, 7 - контакт ҳалқалар, 8 - тезлик датчиги, 9 - ротор чулғами фаза учлари, 10 - ростлаш реостати, 11 - уч фазали реостат бошқарув блоки, 12 - статор чулғами фаза учлари, 13 - стационар конденсаторлар, 14 - чизикли бўлмаган конденсаторлар, 15 - конденсатор бошқарув блоки, 16 - қувват коэффиценти датчиги, 17 - кучланиш датчиги, 18 - микропроцессор, 19 - масофадан бошқариш блоки.

Шамол турбинасига тезлик датчиги (3) ва редуктор (4) кетма-кет маҳкамланган, редукторнинг чиқиши электромагнитли тормоз (5) билан кетма-кет уланган бўлиб, электромагнитли тормознинг чиқишига контакт ҳалқалари (7) бўлган фаза роторли асинхрон генератор (6) уланган. Асинхрон генератор ротори валига айланиш тезлик датчиги (8) ўрнатилган. Асинхрон генератор роторининг контакт ҳалқаларига уч фазали ростланувчан реостат (10) бошқарув блоки (11) орқали уланган. Шунингдек статор чулғамининг фазаларига стационар (13) ва чизикли бўлмаган конденсаторлар (14) бошқариш блоки (15) орқали уланган. Асинхрон генераторнинг статор чулғами қувват коэффиценти ( $\cos\phi$ ) (16) ва тармоқ кучланиши датчиклари (17) орқали электр таъминоти тизимига уланган шамол электр қурилмаси таклиф этилган. Унинг бошқариш схемасига микропроцессор (18) киритилган бўлиб, чиқиш параметрлари мос равишда электромагнит тормозга (5), реостат ҳамда конденсаторларни бошқариш блогига уланган, микропроцессорнинг киришларига шамол турбинаси ва ротор тезлиги датчигининг, қувват коэффиценти ( $\cos\phi$ ), тармоқ кучланиши датчиги ҳамда масофадан бошқариш блогининг чиқишлари уланган. Микропроцессорнинг кириш сигналларига ротор айланиш тезлигининг  $n_n$ , қувват коэффиценти  $\cos\phi_n$ , тармоқ кучланишининг  $U_n$  ва айлантириш моментининг номинал қийматлари  $M_n$  киритилган. Масофадан бошқариш блоки (19)

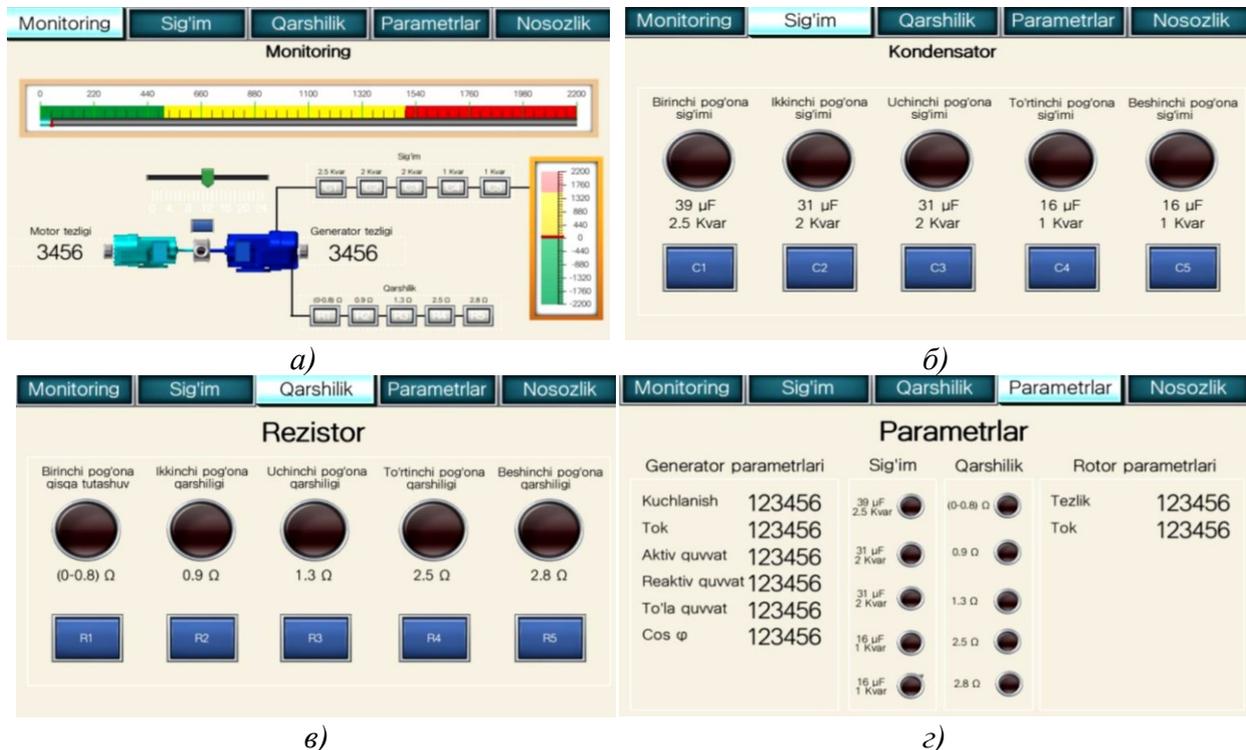
ёрдамида шамол электр қурилмаси масофадан туриб бошқарилади.

Ишлаб чиқилган автоматик бошқариш қурилмаси орқали шамол оқими тезликлари турлича ўзгаришида асинхрон генераторнинг тезлигини ростлаш, ҳамда максимал қувват узатиш имконияти яратилган. Асинхрон генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизими ҳамда максимал қувват узатиш имконини берувчи бошқариладиган шамол электр қурилмаси учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг фойдали моделига патент олинган (FAP 20230311).

Шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг физик модели функционал схема асосида Autodesk 3D Max дастури ёрдамида лойиҳаланди (10-расм).



10-расм. Шамол тезликлари ўзгаришида генераторнинг тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси асосида яратилган стенднинг кўриниш





д)



е)

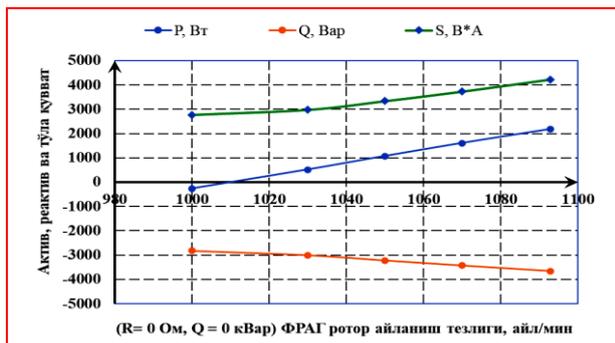
**11-расм. Электр таъминоти тизими билан параллел ишловчи ФРАГнинг электр, механик ва сифат кўрсаткичларининг назорат - бошқарув тизимининг кўриниши**

Асинхрон генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг электр схемаси ва энергетик кўрсаткичларини назорат-бошқарув тизими ишлаб чиқилган (11-расм). Электр таъминоти тизимига параллел ишловчи ФРАГнинг электр, механик ва сифат кўрсаткичларининг назорат - бошқарув тизими орқали электромеханик тизимнинг барча электр ва механик кўрсаткичларини аниқлаш, назорат қилиш ва автоматик бошқариш имконияти яратилди.

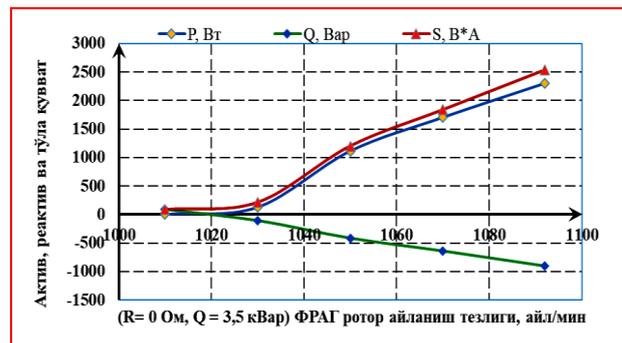
Асинхрон генераторнинг қувват коэффицентини 5-22% га ошириш ҳамда максимал қувват ишлаб чиқариш режимида ишлашини таъминлаш имконини берди.

Диссертациянинг **“МикроГЭС ва ШЭСдаги бошқарилувчи асинхрон генераторларни экспериментал тадқиқ қилиш”** деб номланган тўртинчи бобида микро ГЭС ва ШЭС лар учун қувват балансини ишлаб чиқилган, бошқарилувчи ФРАГларни энергетик кўрсаткичларини экспериментал тадқиқотлари олиб борилган, экспериментал ва регрессион таҳлиллар асосида бошқарилувчи асинхрон генераторнинг максимал қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик моделлари ишлаб чиқилган, микроГЭСлардаги бошқарилувчи электромеханик тизимнинг техник иқтисодий кўрсаткичлари асосланган.

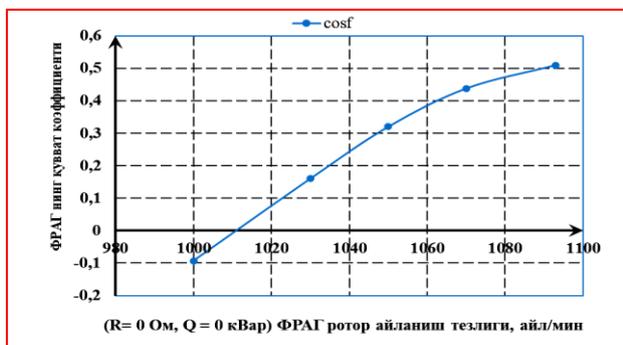
Бошқарилувчи ФРАГларни энергетик кўрсаткичларини экспериментал тадқиқотлари уч фазали, қуввати 2,2 кВт бўлган ФРАГда амалга оширилган. Генераторнинг ротор чулғамига қўшимча қаршилик  $R_{кўш} = 0 \div 7,5$  Ом қийматдаги актив, шунингдек, статор чулғамига 3,5 кВар гача сиғим қаршиликларини улаб, ротор турли айланиш тезликларида экспериментал тадқиқот ишлари амалга оширилган (12-расм).



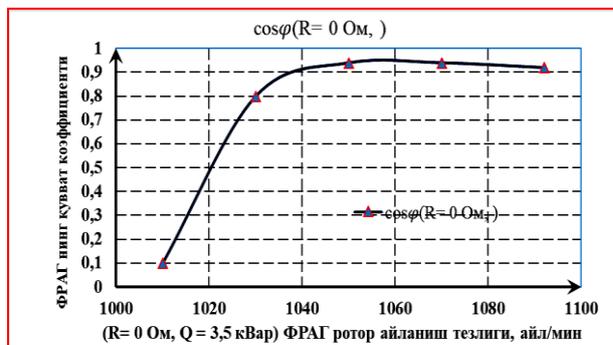
а)



б)



в)

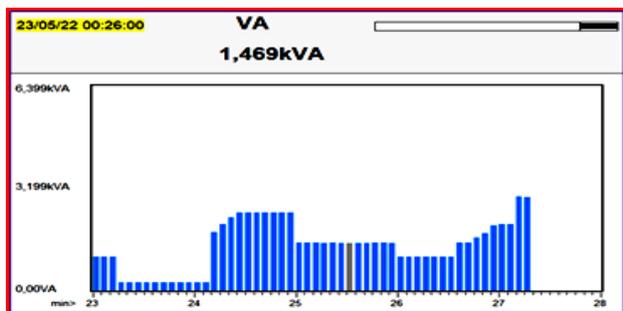


г)

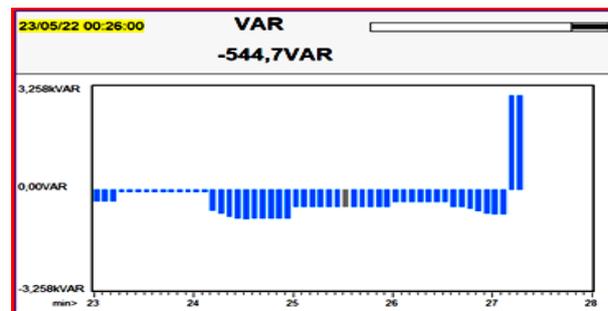
12-расм. ФРАГ ротор занжирига уланган  $R = 0$  Омгача, статор чулғамига  $Q=0\div 3,5$  кВар да генераторнинг актив, реактив, тўла қувватлари (а), (б) ва қувват коэффициентининг (в), (г) ўзгариш графиклари

Экспериментал тадқиқот ишларини амалга оширишдан мақсад, электр таъминот тизими билан параллел ишловчи генератор ротор тезлиги турлича ўзгаришида автоматик бошқариш тизими орқали ротор чулғамига керакли қаршилиқ киритиш, ротор айланиш тезлигини кенг диапазонда ростлаш орқали генератордан максимал қувват олишга қаратилган.

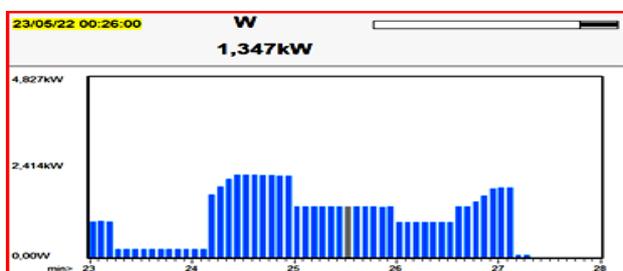
13-20 расмларда ФРАГ чиқишидаги актив, реактив ва тўла қувватлари, статорда ҳосил бўлган кучланиш, ток, частотанинг ўзгариш графиклари, кучланиш ва токнинг синусоидал формаси келтирилган.



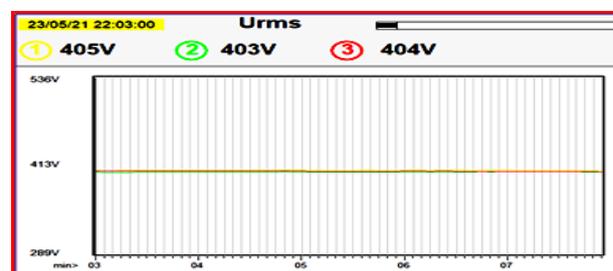
13-расм. ФРАГ нинг чиқишидаги тўла қуввати



14-расм. ФРАГ чиқишидаги реактив қуввати



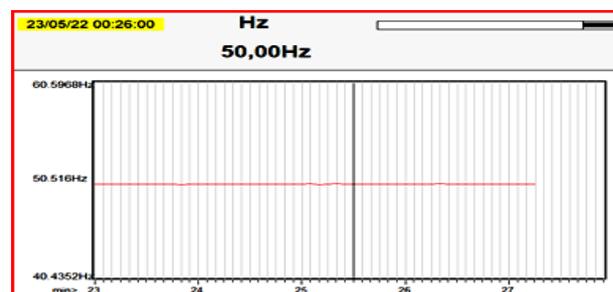
15-расм. ФРАГ нинг чиқишидаги актив қувват



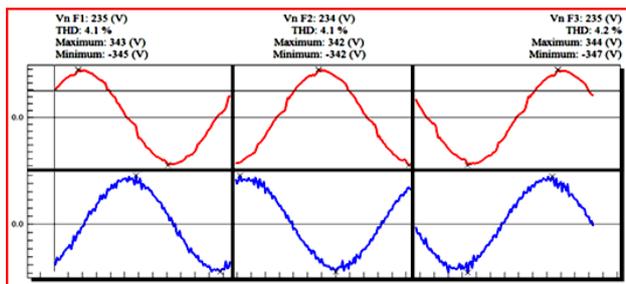
16-расм. ФРАГ нинг чиқишидаги кучланиши



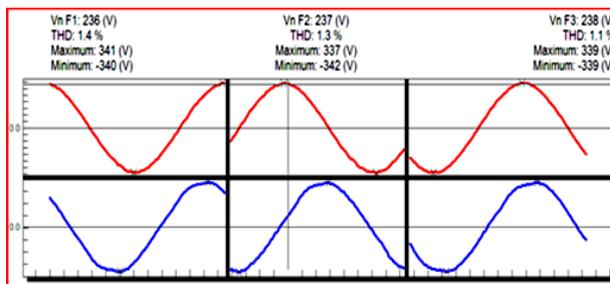
17-расм. ФРАГ нинг статор токлари



18-расм. ФРАГ нинг ток частотаси



19-расм ФРАГ нинг статор фаза чулғамларига реактив қувват берилмаган ҳолатдаги кучланиш ва ток ўзгариши синусоидаси



20-расм. ФРАГ нинг статор фаза чулғамларига реактив қувват берилган ҳолатдаги кучланиш ва ток ўзгариши синусоидаси

МикроГЭС асинхрон генераторининг қувват ишлаб чиқаришига қўйидаги омиллар таъсир қилади: микроГЭС турбинасига кирувчи сув тезлиги, микроГЭС турбинасига кирувчи сув ҳажми, микроГЭС турбинасига кирувчи сув босими, микроГЭС турбинасининг ва генератор роторининг айланиш тезлиги, генератордаги қувват исрофлари ва моменти, генератор ротор чулғамига уланадиган актив қаршилиқларгенератор статор чулғамига уланадиган реактив қувват, статор ва ротор тоқлари, генераторнинг қувват ва фойдали иш коэффициентлари, юклама коэффициенти (21-расм).

МикроГЭС бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқариши куйидаги функцияга боғлиқ:

$$P_{ген} = f(v_{сув}, V_{сув}, P_{сув}, n_{турб}, n_{ген}, P_{иср}, M_{ген}, R, Q, I_c, I_p, \cos\phi, \eta, K_{юкл}) \quad (8)$$



21-расм. МикроГЭС асинхрон генераторининг қувват ишлаб чиқаришига таъсир этувчи омиллар

МикроГЭС ва ШЭС қурилмаси генераторининг ишлаб чиқарган қуввати экспериментал ўлчовлар асосида олинган. Экспериментал маълумотлар ва регрессион таҳлиллар натижасида микроГЭС қурилмасидаги генератор чиқишидаги актив қувват генераторнинг айланиш тезлиги, моменти, қувват исрофи, статор чулғамига уланадиган реактив қувват, қувват ва фойдали иш коэффициентларига боғлиқ эканлиги аниқланган.

Турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида технологик ва эксплуатацион омилларни эътиборга олиб бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик моделлари регрессион таҳлиллар асосида олинган:

$$P_{ген\_МикроГЭС} = 24,8721 - 10,5302 \cdot V_{сув} + 3,8880 \cdot M_{ген} + 18,9802 \cdot P_{иср} + 0,0061 \cdot Q + 85,8357 \cdot \cos\phi \quad (9)$$

$$P_{ген\_ШЭС} = 2175,09 + 146,48 \cdot \nu_{шамол} + 113,26 \cdot M_{ген} + 0,18 \cdot Q - 3798,76 \cdot \cos\varphi \quad (10)$$

Экспериментал натижалар билан моделлаштириш натижалари таққосланганда 2,5% кам эканлиги аниқланди. Олинган моделнинг дастлабки маълумотларга мослиги етарли даражада аниқлигини кўрсатади.

## ХУЛОСА

“Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларни ишлаш жараёнини такомиллаштириш” мавзуси бўйича олиб борилган илмий-тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Сув оқимининг турли тезликларида асинхрон генераторнинг ротор чулғамига қаршилик киритиш орқали генераторнинг айланиш тезлигини ростлаш усули такомиллаштирилган. Натижада тармоққа максимал қувват узатилишини таъминловчи генераторнинг айланиш тезлигини 40% га кенг диапазонда ростлаш имконияти яратилган.

2. Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги фаза роторли асинхрон генераторнинг статор чулғамига уланадиган сиғим қаршиликларини танлаш, энергетик кўрсаткичларини аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган. Натижада электр таъминоти тизимига параллел ишловчи асинхрон генераторнинг қувват коэффициенти 5-22% га ошириш ҳамда максимал қувват ишлаб чиқариш режимида ишлашини таъминлаш имконияти яратилган.

3. Генератор тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш тизимининг функционал схемаси ва физик модели ишлаб чиқилган. Натижада турли шамол оқимларида самарали ишлашга мослаштирилган, амалдаги тармоқ билан параллел ишловчи автоматик бошқариш қурилмаси яратилган.

4. Шамол ва сув оқими тезликлари турлича ўзгаришида фаза роторли асинхрон генераторни электр таъминоти тизими билан параллел ишлатишда автоматик қурилманинг электр бошқарув схемаси ва сифат кўрсаткичларини назорат - бошқарув тизими ишлаб чиқилган. Натижада электромеханик тизимнинг барча электр ва механик кўрсаткичларини аниқлаш, назорат қилиш ва автоматик бошқариш имконияти яратилган.

5. Экспериментал ва регрессион таҳлиллар асосида турли шамол ва сув оқими тезликлари ўзгаришида бошқарилувчи асинхрон генераторнинг қувват ишлаб чиқаришини аниқловчи математик модели ишлаб чиқилган. Натижада асинхрон генераторнинг энергия самарадорлигини аниқлаш имконини берган. Экспериментал натижалар билан моделлаштириш натижалари таққосланганда нисбий хатолик 2,5% дан кам эканлиги аниқланган.

6. Сув оқими тезликлари турлича ўзгаришида генераторнинг ротор чулғамига қаршилик киритиш орқали кенг диапазонда айланиш тезлигини ростлаш усули, тезлигини ростлайдиган автоматик бошқариш қурилмаси “Ўзбекгидроэнерго”АЖ Ҳисорак ГЭС унитар корхонасида синовдан ўтказилган. Натижада иқтисодий самарадорлик 163,386 млн. сўмни ташкил этган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ДОКТОРА НАУК DSc.03/10.12.2019. Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ТАНИЕВ МИРЗОХИД ХУРРАМОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ  
ГЕНЕРАТОРОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**05.05.01 – Энергетические системы и комплексы**

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

**Ташкент – 2024**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2024.2.PhD/T2676

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](http://www.tdtu.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziyo Net» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Тоиров Олимжон Зувурович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Ишназаров Ойбек Хайрилаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Умаров Шухрат Бадрединович**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Ферганский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «22» 06 2024 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.03/10.12.2019. Т.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова. Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (регистрационный номер - 389). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан «5» 06 2024 года.  
(протокол рассылки № «5» от «4» 06 2024 года).



**К.Р.Аллаев**  
Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор, академик

**И.У.Рахмонов**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

**Т.Ш. Гайбов**  
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертационной работы.** В мире особое значение придается рациональному использованию имеющихся природных энергетических ресурсов, повышению энергоэффективности генераторов электростанций за счет возобновляемых источников энергии, созданию энергосберегающих режимов работы электромеханических систем на гидроэлектростанциях. В настоящее время в развитых странах проводятся масштабные исследования по использованию асинхронных генераторов в возобновляемых источниках энергии, автоматическому управлению электромеханической системой. Установленная мощность ветроэлектростанций во всем мире увеличивается на 93,6 ГВт в год, а общая установленная мощность достигла 950 ГВт<sup>1</sup>. Также установленная мощность малых гидроэлектростанций до 10 МВт во всем мире достигла 79 ГВт<sup>2</sup>. В связи с этим особое внимание уделяется совершенствованию генераторов ветряных и гидроэлектростанций, улучшению их энергетических показателей, повышению энергоэффективности электромеханической системы.

В мире проводятся научные исследования, направленные на повышение экономической и энергетической эффективности при использовании асинхронных генераторов в возобновляемых источниках энергии. В данном направлении приоритет отдается исследованиям по интеграции в систему электроснабжения асинхронных генераторов с фазным ротором, передающих максимальную электрическую мощность с постоянной частотой при изменении скорости и параметров ветра и водного потоков, а также разработке энергосберегающих и управляющих режимов. Кроме того, актуальными задачами считаются разработка системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения асинхронного генератора при изменении различной скорости ветра и водного потока, а также создание методов регулирования скорости вращения в широком диапазоне.

В республике для обеспечения потребителей непрерывной качественной электроэнергией проводятся масштабные реформы по использованию ветроэлектростанций (ВЭС) и микрогидроэлектростанций (микроГЭС), интеграции используемых в них генераторов в систему электроснабжения, а также разработке энергосберегающих и управляющих режимов с учетом современных технологий. В стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы, в том числе поставлены задачи по «...широкому внедрению возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности в жилищно-коммунальном хозяйстве, на объектах социальной сферы и в других сферах». В реализации данных задач, в частности, большое значение имеет разработка системы автоматического управления, регулирующей скорость асинхронного генератора с фазным ротором, работающим параллельно с системой электроснабжения, при изменении скоростей ветра и

---

<sup>1</sup> <http://www.osti.gov/scitech>, <https://www.eprussia.ru/epr/460/1978524.htm>

<sup>2</sup> [http://cawater-info.net/library/rus/eabr\\_4.pdf](http://cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf), [https://vk.com/wall-212253667\\_227](https://vk.com/wall-212253667_227)

водного потока.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит для решения задач, предусмотренных в концепции обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы, в Указе Президента Республики Узбекистан от 9 сентября 2022 года №УП-220 «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года №ПП-57 «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», 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 приоритетным направлением развития науки и технологий республики, предусмотренным в II разделе «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

**Степень изученности проблемы.** Научно-исследовательские работы по параллельному использованию генераторов, передающих электрическую мощность с постоянной частотой при изменении скорости и параметров ветряного и водного потоков, с системой электроснабжения, а также разработке методов регулирования скорости их вращения в широком диапазоне, по повышению энергоэффективности электромеханических систем выполняются в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях, в том числе в National Renewable Energy Laboratory (США), University of Waterloo (Канада), Polytechnic University of Milan (Италия), Technical University of Denmark (Дания), Tokyo technology institute (Япония), National Institute of Wind Energy (Индия), China Renewable Energy Engineering Institute (Китай), Московском энергетическом институте (Россия), Институте проблем энергетики АН РУз (Узбекистан) и Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан).

Ряд зарубежных ученых, таких как Ya.I. Shefter, J.M. Darrius, S.J. Savonius, X.N. Nguyen, V.T. Chong, Vang Cho, Kooksun Li, И.М. Постников, Ю.Г. Толстов, А.А. Иванов, А.В. Иванов-Смоленский, М.А. Тагиров, А.И. Важнов, В.В. Попов, П.П. Безруких, Н.Е. Жуковский, Е.М. Фатеев, Е.В. Соломин, С.Г. Обухов, Д.С. Аминов, Л.Н. Гобадзе, А.А. Муравьёв, Д.А. Падалко, С.И. Кицис, П.П. Свит, А.С. Мартьянов и другие, внесли вклад в создание энергетических и автоматических устройств управления производством электроэнергии с использованием генераторов в возобновляемых источниках энергии на ВЭС и микро ГЭС.

Нашими отечественными учёными, такими как М.З. Хамудханов, Х.Ф. Фазилов, Қ.Р. Аллаев, Р.А. Захидов, С.Ж. Хайдаров, К.Х. Курбаниязов, О.О. Хошимов, К.Т. Алимходжаев, У.А. Таджиев, М.М. Мухаммадиев, М.К. Бобажанов, Н.Б. Пирматов, Н.Н. Саъдуллаев, О.Х. Ишназаров, О.З. Тоиров, Ш.Б. Умаров, проведены научные исследования по повышению энергоэффективности, совершенствованию рабочих процессов

энергетических и регулирующих устройств генераторов в ВЭС и ГЭС.

Несмотря на значительные успехи, параллельное использование асинхронных генераторов в возобновляемых источниках энергии с системой электроснабжения, разработка системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения генератора при различных скоростях ветряного и водного потоков недостаточно изучены. В данной диссертационной работе рассмотрен способ регулирования скорости вращения в широком диапазоне путем введения добавочных активных сопротивлений в роторную цепь асинхронных генераторов с фазным ротором, работающих параллельно с системой электроснабжения, а также предложено устройство автоматического регулирования, электрическая схема управления и система контроля-управления качественными показателями.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.** Данная диссертационная работа выполнена в рамках инновационного проекта IL-442105947 «Создание нового автоматического устройства, передающего постоянную частоту и мощность в локальную энергосистему при изменении параметров ветра и водного потока» в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

**Целью исследования** является разработка системы автоматического управления, регулирующей скорость асинхронного генератора с фазным ротором, работающего параллельно с системой электроснабжения при изменении скорости ветра и водного потока.

**Задачи исследования:**

анализ методов регулирования скорости вращения асинхронных генераторов в широком диапазоне в возобновляемых источниках энергии, разработка алгоритма подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений, обеспечивающих энергоэффективность;

разработка функциональной схемы системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения асинхронного генератора в возобновляемых источниках энергии при изменении различных скоростей ветра и водного потока;

разработка устройства автоматического управления, регулирующего скорость асинхронного генератора с фазным ротором (АГФР), электрической схемы управления и системы контроля-управления качественными показателями в ВЭС и микро ГЭС;

экспериментальный анализ управляемых энергетических показателей АГФР, совершенствование математической модели определения выходной (выработку) мощности управляемого асинхронного генератора при изменении различных скоростей ветра и водного потока на основе регрессионного анализа.

**Объектом исследования** является асинхронный генератор с фазным ротором в возобновляемых источниках энергии.

**Предметом исследования** является система автоматического управления, регулирующая скорость асинхронного генератора с фазным ротором, передающего максимальную электрическую мощность, при изменении скорости ветра и водного потока.

**Методы исследования.** В процессе исследования использовались математическое моделирование асинхронных генераторов, электромеханических систем, теория автоматического управления, имитационное моделирование в программе Matlab/Simulink, математические и статистические методы обработки экспериментальных данных, программа проектирования Autodesk 3Ds MAX, методы регрессионного и корреляционного анализа.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

создана система автоматического управления, регулирующая скорость асинхронного генератора при различных скоростях ветряного потока с учетом условия параллельной работы с сетью, и управляемое ветроэнергетическое устройство, позволяющее передавать максимальную мощность;

усовершенствован способ регулирования скорости вращения в широком диапазоне путем подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений на основе критериев обеспечения энергоэффективности асинхронного генератора, а также введения сопротивления в обмотку ротора генератора;

усовершенствована математическая модель, определяющая выходную мощность управляемого асинхронного генератора с учетом технологических и эксплуатационных факторов при изменении различных скоростей ветра и водного потока на основе регрессионного анализа;

разработаны функциональная схема системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения асинхронного генератора при различных изменениях скоростей ветра и водного потока, и система контроля-управления, обеспечивающая нормативные значения качественных показателей электрической энергии.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны физическая модель и функциональная схема системы автоматического управления, регулирующей скорость генератора при различных скоростях ветра и водного потока;

разработано программное обеспечение для расчета энергетических показателей на основе алгоритма подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений, обеспечивающих энергоэффективность асинхронного генератора;

усовершенствованы баланс мощности системы, методика регулирования скорости вращения в широком диапазоне путем введения сопротивления в обмотку ротора генератора с учетом механических и электрических потерь асинхронного генератора;

разработаны схема электрического управления автоматическим устройством, передающим электрическую мощность, и система контроля-управления качественными показателями при параллельном использовании

асинхронного генератора с фазным ротором с системой электроснабжения в ВЭС и микро ГЭС.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность полученных результатов исследований подтверждается корректным применением математических и имитационных моделей в асинхронных генераторах, совместимостью моделей, полученных на основе экспериментальных исследований и регрессионного анализа, применением высокоточных сертифицированных средств измерений, а также внедрением математических и статистических методов в обработку экспериментальных данных.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в разработке устройства автоматического управления, регулирующего скорость генератора при изменении скоростей ветра и водного потока; разработке функциональной схемы системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения в широком диапазоне; математической модели, определяющей выработку мощности управляемого асинхронного генератора с учетом технологических и эксплуатационных факторов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в подборе ёмкостных в обмотку статора и дополнительных активных сопротивлений в обмотку ротора асинхронного генератора, работающего параллельно с системой электроснабжения в возобновляемых источниках энергии, алгоритма расчета энергетических показателей; электрической схемы управления автоматическим устройством; системы контроля-управления электрическими, механическими и качественными показателями, в создании промышленной программы на основе алгоритма расчета энергетических показателей и во внедрении ее в устройство автоматического управления.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных результатов по разработке системы автоматического управления, регулирующей скорость асинхронного генератора с фазным ротором, работающего параллельно с системой электроснабжения, в зависимости от изменения скоростей ветра и водного потока:

получен патент на полезную модель Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на систему автоматического управления, регулирующую скорость асинхронного генератора, и управляемое ветроэнергетическое устройство, позволяющее передавать максимальную мощность (Управляемая ветроэлектроустановка, работающая параллельно с действующей сетью, FAP 20230311, 30.08.2023 г.). В результате создана система автоматического управления, регулирующая скорость асинхронного генератора при различных скоростях ветряного потока, и возможность передачи максимальной мощности;

способ регулирования скорости вращения в широком диапазоне путем подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений, а также введения сопротивления в обмотку ротора генератора, внедрен на унитарном предприятии «Гиссаракская ГЭС» АО «Узбекгидроэнерго» (справка АО

«Узбекгидроэнерго» № 02-28/3227 от 6 ноября 2023 г.). В результате создана возможность повышения коэффициента мощности асинхронного генератора, работающего параллельно с системой электроснабжения, на 5-22%, а также обеспечения работы в режиме максимальной выработки мощности;

функциональная схема системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения асинхронного генератора, и система контроля-управления, обеспечивающая нормативные значения качественных показателей электроэнергии внедрены на унитарном предприятии «Гиссаракская ГЭС» АО «Узбекгидроэнерго» (справка АО «Узбекгидроэнерго» № 02-28/3227 от 6 ноября 2023 г.). В результате экономическая эффективность при применении электрической схемы управления и системы контроля-управления качественными показателями в сравнении с зарубежными аналогами составила 163,386 млн. сум.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 14 научно-практических конференциях, в том числе на 11 международных и 3 республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 24 научные работы, 7 научных статей, в том числе 6 в республиканских, 1 в зарубежном журнале (2 статьи в сборниках, входящих в базу данных Scopus), рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, получены 1 патент на полезную модель и 2 авторских свидетельства на программу ЭВМ Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий, представлены общие сведения о международных научных исследованиях, проводимых по теме диссертации, и степени изученности проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, показаны объекты, предмет и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыто их теоретическое и практическое значение, представлены краткие сведения об апробации внедрения результатов исследовательской работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние генераторов, используемых на микро ГЭС и ветроэлектростанциях, и вопросы их управления**» раскрываются современное состояние и перспективы развития микро ГЭС и ВЭС Узбекистана, необходимость разработки и внедрения электромеханических систем малой мощности в возобновляемых источниках энергии. Показаны методы параллельного использования генераторов с

системой электроснабжения и их возможности в микро ГЭС и ВЭС.

Проанализированы преимущества и недостатки генераторов, работающих параллельно с системой электроснабжения в ВЭС и микро ГЭС, а также представлена основная техническая информация о ветряных турбинах, устанавливаемых в настоящее время в Узбекистане компаниями «Masdar» ОАЭ и «ACWA Power» Саудовской Аравии. Обоснована возможность использования асинхронных генераторов с фазным ротором при изменении скоростей ветряного и водного потоков для ВЭС и микро ГЭС. Проанализированы требования к параллельной работе асинхронных генераторов с системой электроснабжения, вопросы управления электромеханическими системами.

На основе анализа научных и практических работ по совершенствованию процессов работы асинхронных генераторов в возобновляемых источниках энергии определены цели и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Режимы и методы регулирования скорости вращения асинхронного генератора в возобновляемых источниках энергии»** усовершенствован метод регулировки режимов работы и скорости вращения асинхронного генератора в возобновляемых источниках энергии. Путем аналитических выражений получены рабочие характеристики, графики зависимости момента и мощности от скорости асинхронного генератора для предельных значений максимальной потребляемой мощности при различных скоростях ветра. Разработан алгоритм подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений на основе критерия обеспечения энергоэффективности асинхронного генератора. Разработано программное обеспечение на основе методики расчета потерь мощности асинхронных генераторов с фазным ротором.

В схеме возбуждения асинхронных генераторов с фазным ротором в качестве источника реактивной энергии, необходимой для возбуждения, используются конденсаторные батареи. Окончательный вид дифференциальных уравнений асинхронного генератора с фазным ротором с учетом источника ёмкостного возбуждения выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{di_{s\alpha}}{dt} &= \frac{u_{s\alpha}}{L_s} - \frac{r_s i_{s\alpha}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s L_r} \psi_{r\alpha} + \frac{k_r}{L_s} p w_r \psi_{r\beta}, & \frac{\Psi_{r\alpha}}{dt} &= k_r r_r i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p w_r \psi_{r\beta}, \\ \frac{di_{s\beta}}{dt} &= \frac{u_{s\beta}}{L_s} - \frac{r_s i_{s\beta}}{L_s} + \frac{k_r}{L_s L_r} \psi_{r\beta} + \frac{k_r}{L_s} p w_r \psi_{r\alpha}, & \frac{\Psi_{r\beta}}{dt} &= k_r r_r i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p w_r \psi_{r\alpha} \\ \frac{du_{s\alpha}}{dt} &= \frac{r_H (i_{c\alpha} - i_{s\alpha})}{C}, & \frac{du_{s\beta}}{dt} &= \frac{r_H (i_{c\beta} - i_{s\beta})}{C}, & \frac{dw_r}{dt} &= \frac{k_r}{J_{AG}} (\psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \psi_{r\beta} i_{s\alpha}) \end{aligned} \quad (1)$$

здесь  $k_r = \frac{X_m}{X_r}$  – отношение реактивного сопротивления обмотки намагничивания к реактивному сопротивлению ротора;  $T_r = \frac{X_r}{R_r}$  – относительный параметр реактивного сопротивления к активному сопротивлению;  $r_H$  – сопротивление нагрузки.

Проанализирован метод регулирования скорости вращения генератора

путем анализа схемы замещения генератора (рис. 1) и векторной диаграммы.

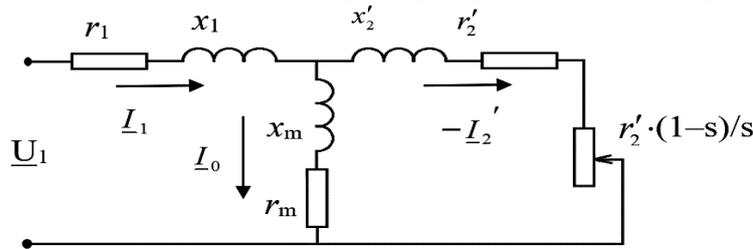


Рис. 1. Схема замещения асинхронного генератора

здесь:  $U_1$  – фазное напряжение статора;  $I_1$  – ток статора;  $I_2'$  – приведенный ток ротора;  $r_1$  и  $x_1$  – активное и реактивное сопротивления обмотки статора,  $r_2'$  и  $x_2'$  – приведенные активное и реактивное сопротивления обмотки ротора;  $I_0$  – ток намагничивания или холостого хода;  $s$  – скольжение;  $E\mu = -jx_m I_0$  – ЭДС холостого хода;  $x_m$  – индуктивное сопротивление при самоиндукции.

С помощью данной схемы замещения сопротивления короткого замыкания и его составляющих можно выразить следующим образом:

$$r_2' = k_E k_I r_2, \quad x_2' = k_E k_I x_2, \quad r_k = r_1 + r_2', \quad x_k = x_1 + x_2', \quad Z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} \quad (2)$$

На основе выражения (2) определяется величина скольжения на разных ступенях:

$$m_{пред} = \frac{1 + s_{kr4}^2}{2s_{kr4}} s_{kr4} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}} \quad s_{cmyн12} = \sqrt{s_{cmyн23}} \quad s_{cmyн23} = \sqrt[7]{s_{cmyн34}^8} \quad s_{cmyн34} = s_{kr4}, \quad (3)$$

Исходя из выражения (3), значение сопротивления, соответствующее скольжению на разных ступенях, будет следующим:

$$R'_{дооб} = r_2' \left( \frac{m_p}{ms_{kr4}} - 1 \right); \quad R'_{дообI} = (r_2' + R'_{дооб})(1 - s_{cmyн12}); \quad R_{дообI} = \frac{R'_{дообI}}{k^2};$$

$$R'_{дообII} = (r_2' + R'_{дооб})(1 - s_{cmyн23}) - R'_{дообI}; \quad R_{дообIII} = R_{дооб} - (R_{дообI} + R_{дообII}); \quad (4)$$

Пусковой ток, момент и коэффициент мощности в обмотке статора при подсоединении добавочного сопротивления к обмотке ротора асинхронного генератора выражаются следующим образом:

$$I_{1H} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r_1 + r_2' + R_{дообIII})^2 + x_k^2}} \quad M = \frac{pm_1 U_{1\phi}^2 (r_2' + R'_{дооб})}{2\pi f ((r_k + R'_{дооб})^2 + x_k^2)} \quad \cos\varphi_N = \frac{r_k + R'_{дооб}}{\sqrt{(r_k + R'_{дооб})^2 + x_k^2}} \quad (5)$$

Активная мощность асинхронного генератора при различных значениях сопротивления в обмотке ротора выражается так:

$$P_{AГ} = 3U_1^2 \frac{R_2 + R_{дооб}}{s} \frac{1}{(R_k + \frac{R_2 + R_{дооб}}{s})^2 + (X_k + X_2)^2} \quad (6)$$

Путем аналитических выражений асинхронного генератора были получены графики зависимости момента и мощности от скорости для предельных значений максимальной потребляемой мощности при различных скоростях ветра (рис. 2).

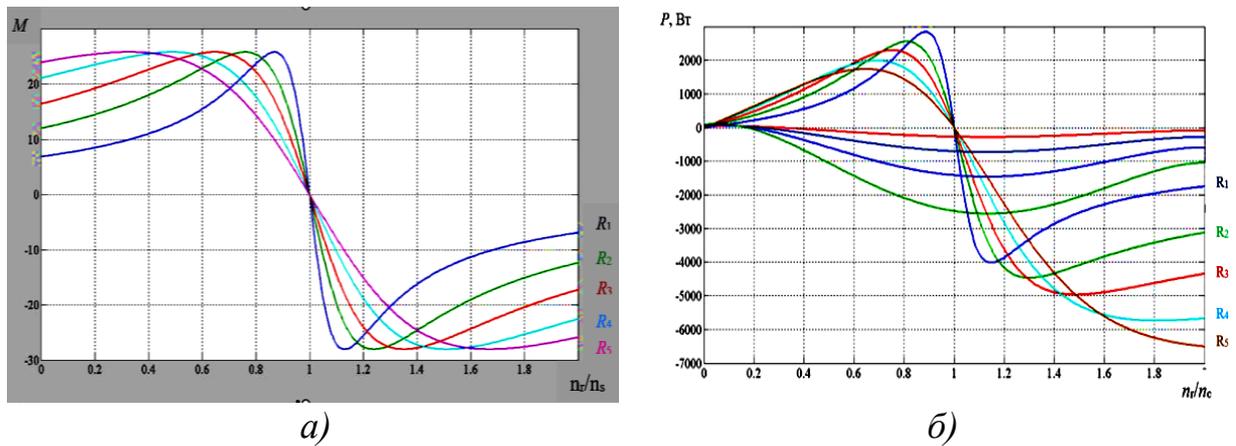


Рис. 2. Графики зависимости момента (а) и мощности (б) от скорости для значений добавочного сопротивления R от 0 до 7,5 Ом в обмотку ротора АГФР

На основе критерия обеспечения энергоэффективности асинхронного генератора разработан алгоритм подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений, а также расчет энергетических показателей (рис. 3). Благодаря данному алгоритму путем регулировки сопротивлений создана возможность управления скоростью асинхронного генератора с фазным ротором и быстрого расчета энергетических показателей.

Разработано программное обеспечение на основе алгоритма управления скоростью асинхронного генератора с фазным ротором в микро ГЭС, ветроэлектростанциях путем регулировки сопротивлений и расчета энергетических показателей. В результате можно увеличить коэффициент мощности асинхронного генератора, работающего параллельно с системой электроснабжения, за счет подбора ёмкостных сопротивлений, подключаемых к обмотке статора АГФР, при изменении скоростей ветряного и водного потоков.

Разработано программное обеспечение на основе методики расчета потерь мощности асинхронных генераторов с фазным ротором в возобновляемых источниках энергии (рис. 4). В результате для любого асинхронного генератора стало возможным рассчитать потери мощности при различных сопротивлениях, подсоединенных в цепь ротора.

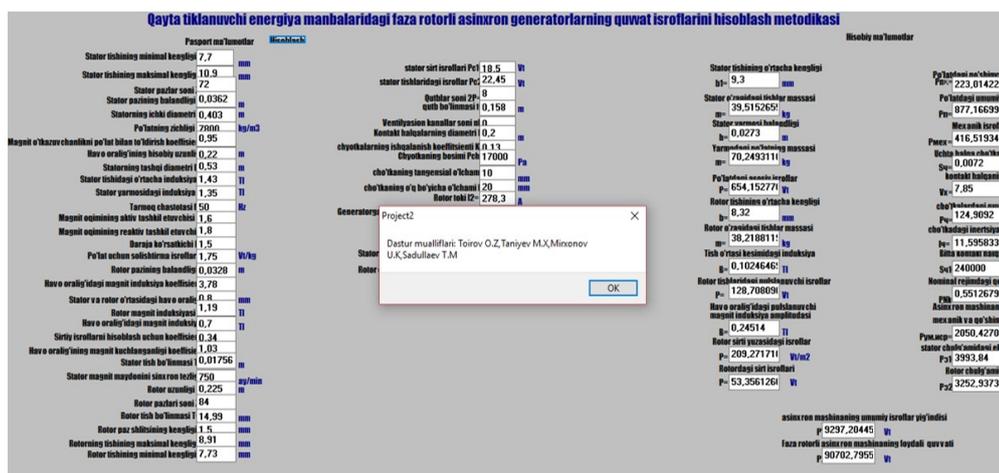
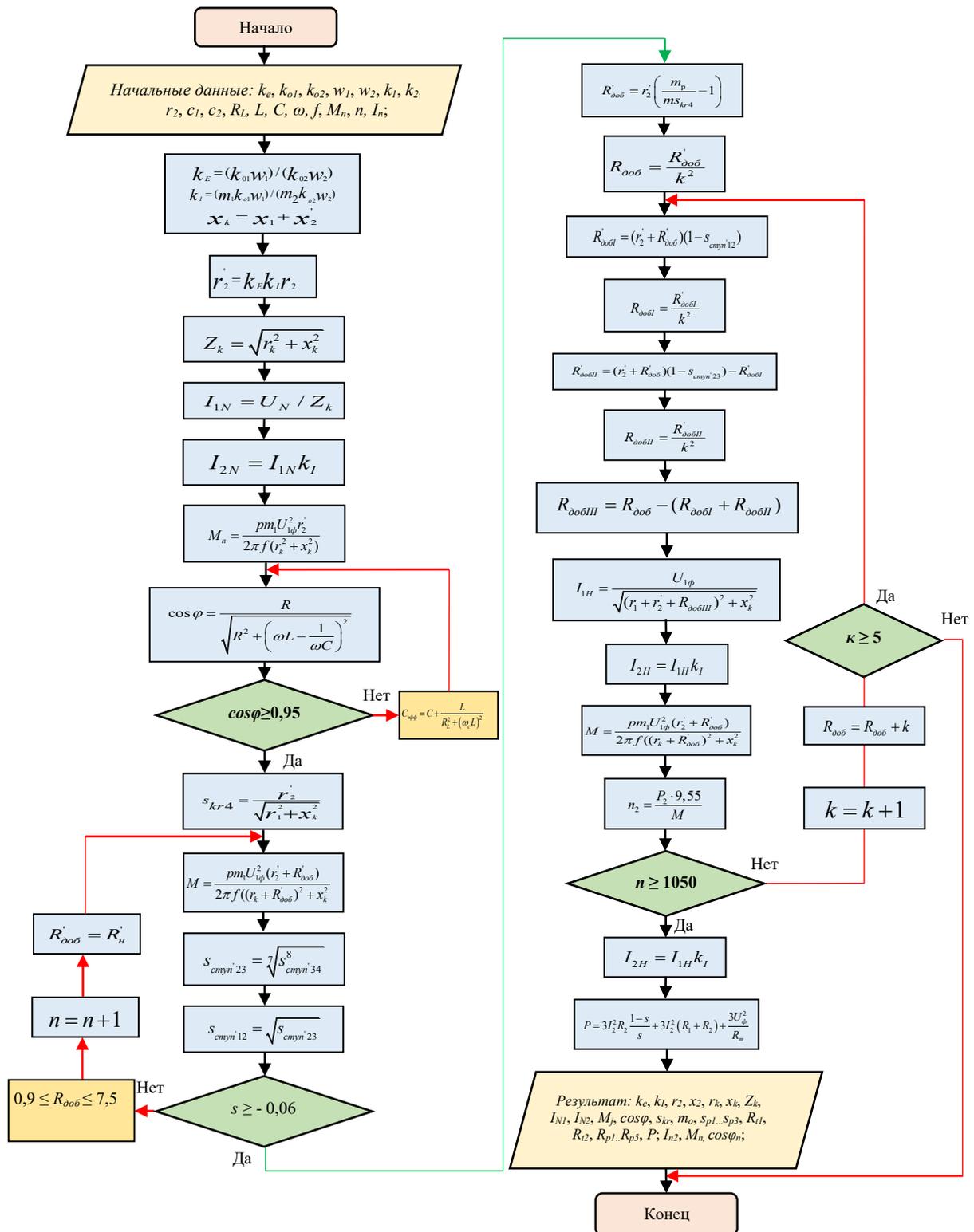


Рис. 4. Вид программного обеспечения для расчета потерь мощности АГФР



**Рис. 3. Алгоритм подбора ёмкостных и добавочных активных сопротивлений, обеспечивающих энергоэффективность асинхронного генератора, а также расчет энергетических показателей**

С помощью программы имеется возможность определения добавочных, механических и общих потерь в статорной и роторной частях при номинальном режиме, а также значение тока и потерь мощности в режиме холостого хода, коэффициента мощности АГФР предназначенного для использования в микро ГЭС и ВЭС.

В третьей главе диссертации «Проектирование и разработка функциональной схемы системы автоматического управления, регулирующей скорость асинхронного генератора» создана имитационная модель, а также приведены графики изменения энергетических и механических показателей управляемого АГФР при изменении скоростей ветряного и водного потоков. Представлены технические описания элементов устройства автоматического управления, передающего электрическую мощность постоянной частоты в локальную энергосистему, разработана функциональная схема системы автоматического управления, регулирующая скорость вращения генератора в широком диапазоне, а также спроектирована физическая модель. Разработана система контроля-управления электрическими, механическими и качественными показателями АГФР.

Путем имитационного моделирования исследован метод управления скоростью вращения АГФР в широком диапазоне путем введения добавочного сопротивления в обмотку ротора при различных скоростях ветряного и водного потоков. В исследовательской работе в качестве основной части устройства автоматического управления использованы PID контроллеры (рис. 5).

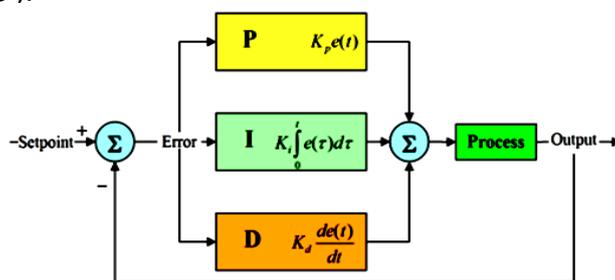


Рис. 5. Блок-диаграмма PID контроллера

Работа данного контроллера включает в себя использование фиксированных точек в качестве функции постоянной времени, как показано в уравнении (7):

$$(T) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

На рис. 6 приведена схема упрощенной структуры механической части микроГЭС и ВЭС.

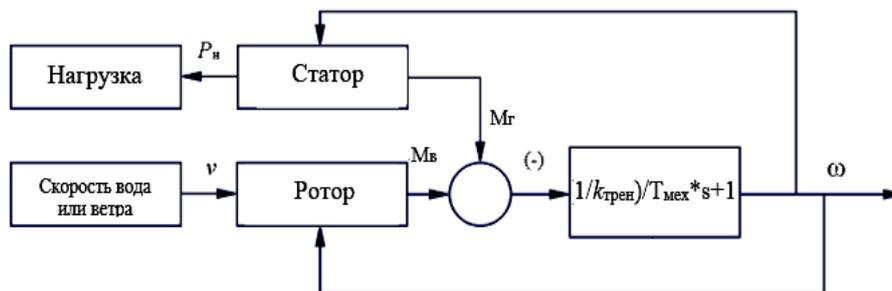
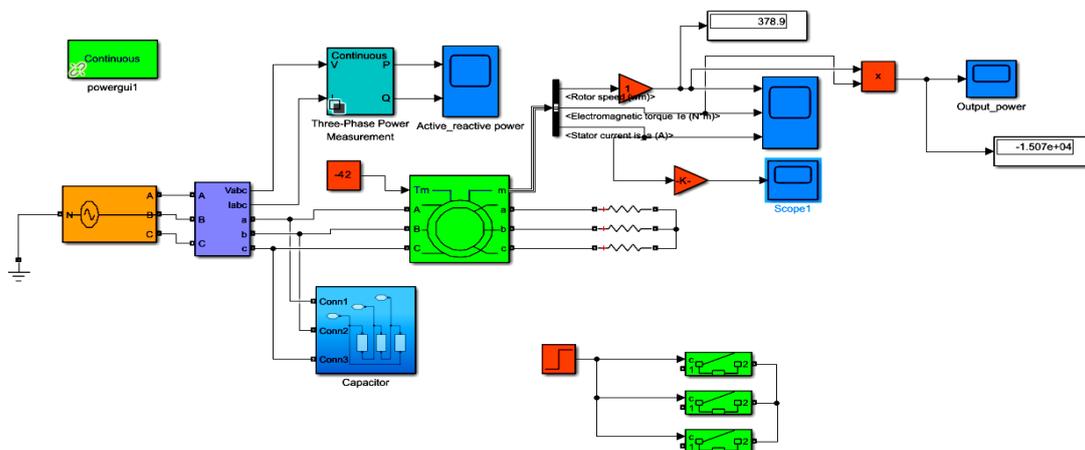


Рис. 6. Схема упрощенной структуры механической части микро ГЭС и ВЭС

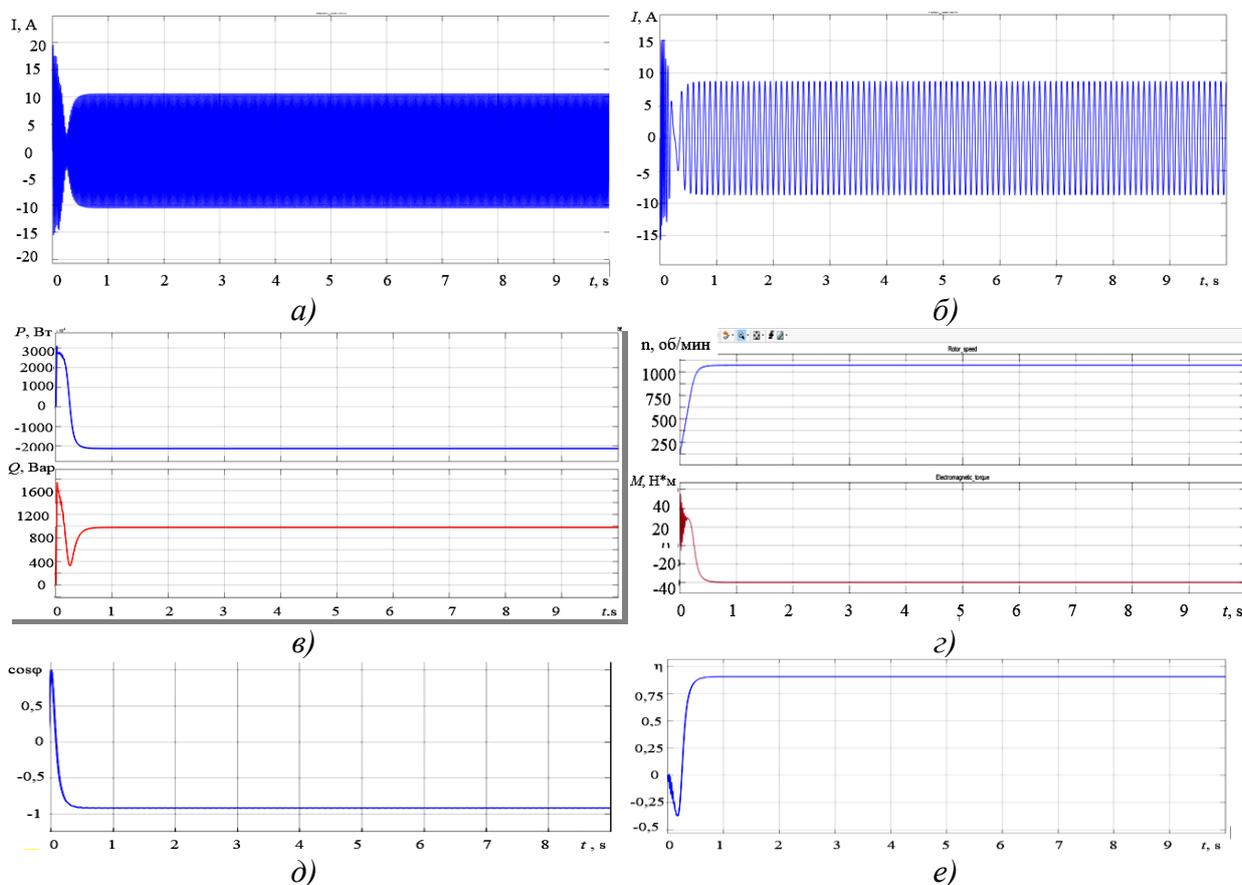
На основе приведенной структурной схемы с помощью пакета Simulink программы Matlab сконструирована имитационная модель управляемого асинхронного генератора с фазным ротором (рис. 7).



**Рис. 7. Имитационная модель управляемого асинхронного генератора с фазным ротором**

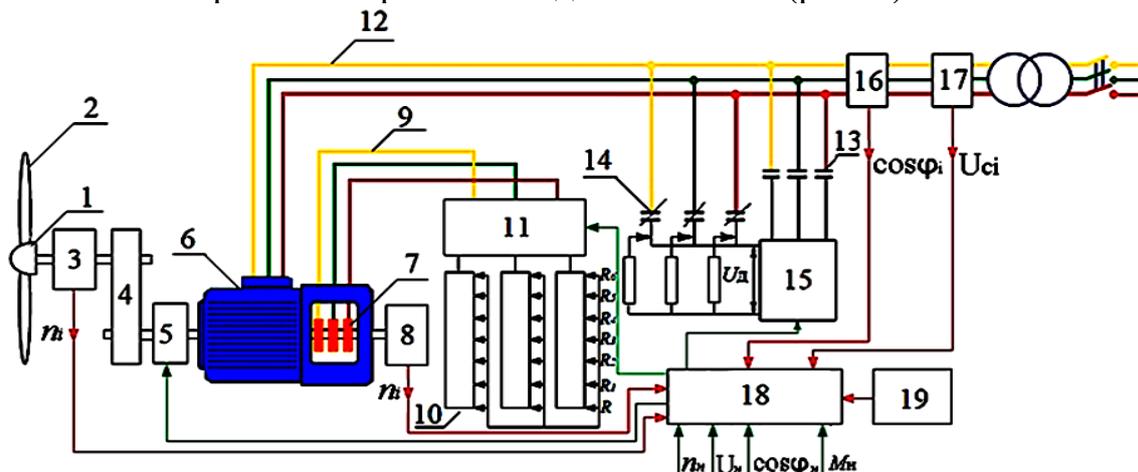
С целью регулирования скорости вращения АГФР мощностью 2,2 кВт в широком диапазоне с помощью имитационной модели значение добавочного сопротивления обмотки ротора изменено на  $R_{доб} = 0 \div 7,5$  Ом. Также с учетом выходной мощности генератора проведены исследовательские работы путем регулирования значения реактивной мощности, подключаемой к обмотке статора, до  $0 \div 3,5$  кВар.

На рис. 8 представлены графики изменения энергетических и механических показателей управляемого АГФР в имитационной модели.



**Рис. 8. Графики изменения энергетических и механических показателей управляемого АГФР во времени: ток статора (а) и ротора (б), активная и реактивная мощность (в), скорость и момент ротора (д), мощность (г) и коэффициент полезного действия (е)**

Разработана функциональная схема системы автоматического управления, регулирующей скорость вращения асинхронного генератора в широком диапазоне в возобновляемых источниках энергии при различных изменениях скоростей ветряных и водных потоков (рис. 9).



**Рис. 9. Функциональная схема системы автоматического управления, регулирующей скорость генератора при изменении скоростей ветра:**

1 - вал ВЭС, 2 - лопасти, 3 - датчик скорости, 4 - редуктор, 5 - электромагнитный тормоз, 6 - асинхронный генератор, 7 - контактные кольца, 8 - датчик скорости, 9 - концы фаз обмотки ротора, 10 - регулировочный реостат, 11 - блок управления трехфазным реостатом, 12 - концы фаз статорной обмотки, 13 - стационарные конденсаторы, 14 - нелинейные конденсаторы, 15 - блок управления конденсаторами, 16 - датчик коэффициента мощности, 17 - датчик напряжения, 18 - микропроцессор, 19 - блок дистанционного управления.

АГФР (6) контактными кольцами (7) подключен на выходе электромагнитного тормоза (5), который последовательно соединен с выходом редуктора (4), последовательно закрепленного вместе с датчиком скорости (3) к ветротурбине. На валу ротора асинхронного генератора установлен датчик скорости вращения (8). К контактным кольцам ротора асинхронного генератора с помощью блока управления (11) присоединен трехфазный регулируемый реостат (10). Также к фазам статорной обмотки через блок управления (15) подсоединены стационарный (13) и нелинейный (14) конденсаторы. Предложено ветроэнергетическое устройство, подсоединенное к системе электроснабжения с помощью коэффициента мощности обмотки статора асинхронного генератора ( $\cos\varphi$ ) (16) и датчиков сетевого напряжения (17). При включении в его схему управления микропроцессора (18) выходные параметры соответственно подключены к электромагнитному тормозу (5), блоку управления реостатом и конденсаторами, к входу микропроцессора присоединены выходы датчика скорости ветряной турбины и ротора, коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ), датчика сетевого напряжения и блока дистанционного управления. Входные сигналы микропроцессора включают в себя номинальные значения скорости вращения ротора  $n_n$ , коэффициента мощности, напряжения сети  $U_n$  и крутящего момента  $M_n$ . Ветрогенератор управляется дистанционно с помощью пульта дистанционного управления (19).

Благодаря разработанному устройству автоматического управления можно регулировать скорость работы асинхронного генератора при различных скоростях ветра, а также максимальную передачу мощности. Получен патент на полезную модель Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на систему автоматического управления, регулирующую скорость асинхронного генератора, и на управляемое ветроэлектрическое устройство, позволяющее передавать максимальную мощность (FAP 20230311).

На основе функциональной схемы с помощью программы Autodesk 3D Max спроектирована физическая модель системы автоматического управления, регулирующая скорость работы генератора при различных изменениях скорости ветра и водного потока (рис. 10).

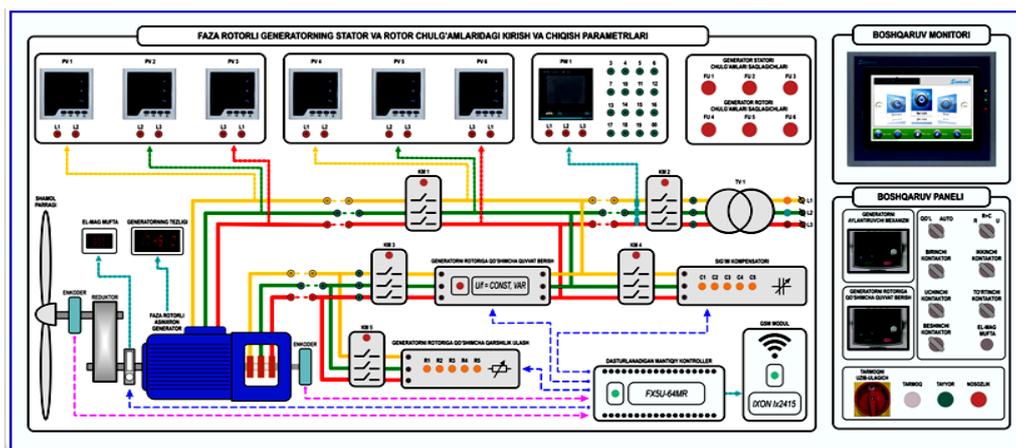
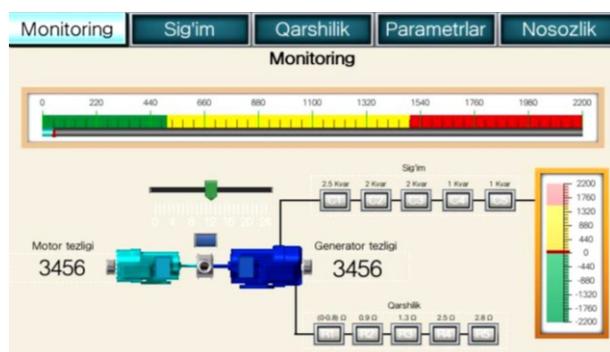


Рис. 10. Вид стенда, созданного на основе функциональной схемы системы автоматического управления, регулирующей скорость работы генератора при изменении скоростей ветра



a)



b)



c)



d)

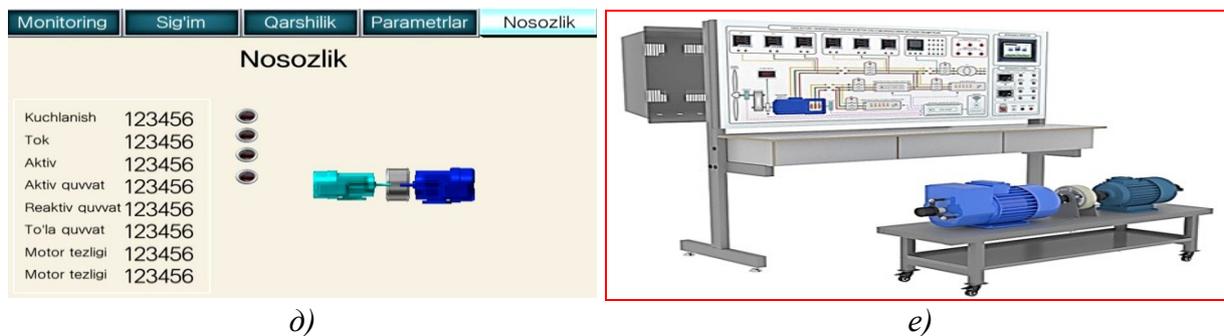


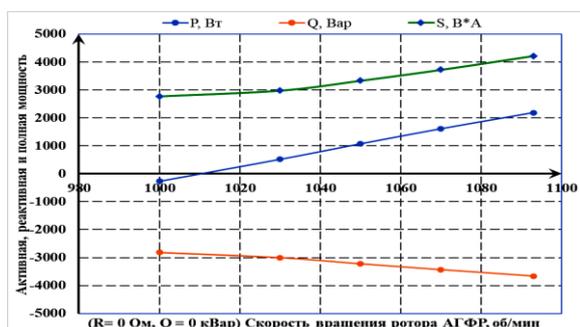
Рис. 11. Вид системы контроля-управления электрическими, механическими и качественными показателями АГФР, работающего параллельно с системой электроснабжения

Разработаны электрическая схема системы автоматического управления, регулирующей скорость асинхронного генератора, и система контроля-управления энергетическими показателями (рис. 11). Благодаря системе контроля-управления электрическими, механическими и качественными показателями АГФР, работающего параллельно с системой электроснабжения, появилась возможность определения, контроля и автоматического управления всех электрических и механических показателей электромеханической системы.

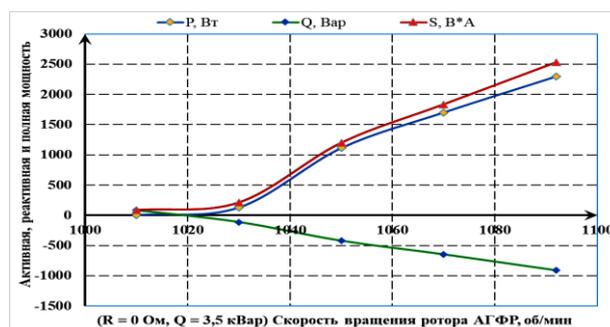
Это позволило увеличить коэффициент мощности АГФР на 5-22% и обеспечить работу в режиме максимальной выработки мощности.

В четвертой главе диссертации «Экспериментальное исследование управляемых асинхронных генераторов в микро ГЭС и ВЭС» разработан баланс мощности для микро ГЭС и ВЭС, проведены экспериментальные исследования энергетических показателей управляемых АГФР, усовершенствованы математические модели, определяющие максимальную выходную мощность управляемого асинхронного генератора на основе экспериментального и регрессионного анализа, обоснованы технико-экономические показатели управляемой электромеханической системы в микро ГЭС.

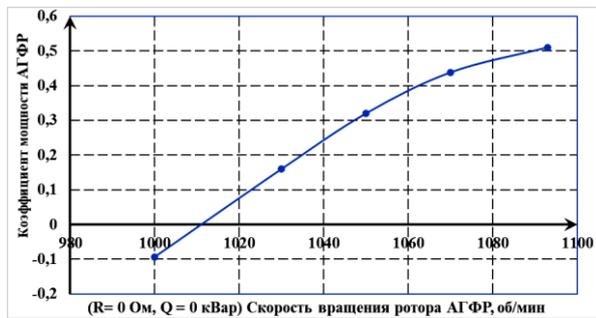
Экспериментальные исследования энергетических показателей управляемых АГФР проводились на трехфазном АГФР мощностью 2,2 кВт. Экспериментально-исследовательские работы проведены присоединением добавочного сопротивления  $R_{доб} = 0 \div 7,5$  Ом к обмотке ротора генератора, а также емкостного сопротивления до 3,5 кВар к обмотке статора, при различных скоростях вращения ротора (рис. 12).



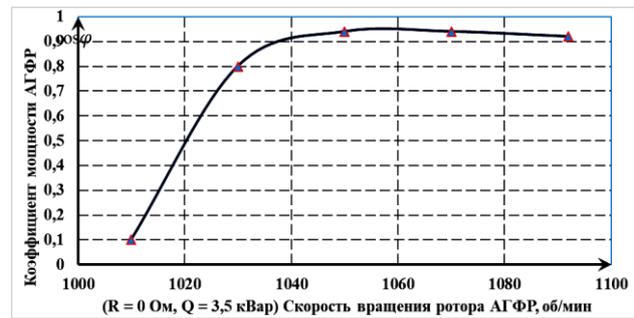
а)



б)



в)

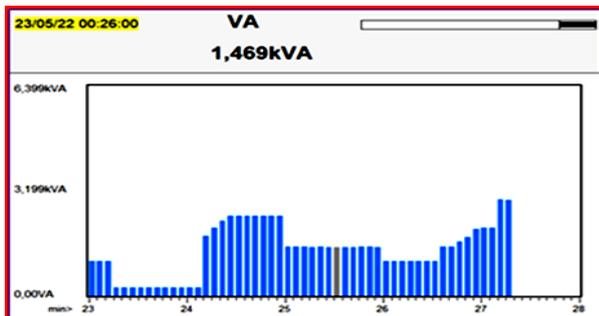


г)

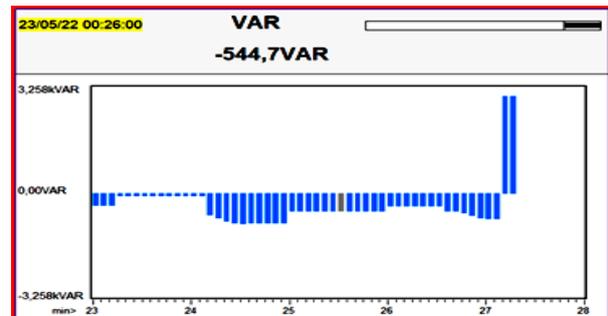
**Рис. 12. Графики изменения активной, реактивной, полной мощности (а), (б) и коэффициента мощности (в), (г) генератора, подключенного к цепи ротора АГФР до  $R = 0 \text{ Ом}$ , к обмотке статора  $Q=0 \div 3,5 \text{ кВар}$**

Экспериментальные исследования направлены на введение необходимого сопротивления в обмотку ротора через систему автоматического управления генератором, работающим параллельно с системой электроснабжения, и получение от генератора максимальной мощности путем регулирования скорости вращения ротора в широком диапазоне.

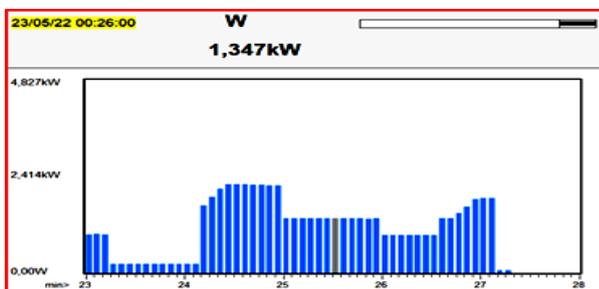
На рис. 13-20 представлены активная, реактивная и полная мощности на выходе АГФР, графики изменения напряжения, тока и частоты, возникающие в статоре, синусоидальная форма напряжения и тока.



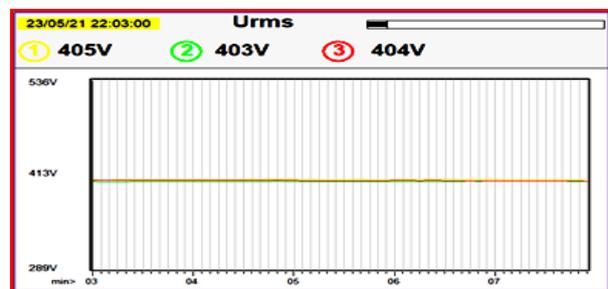
**Рис. 13. Полная мощность на выходе АГФР**



**Рис. 14. Реактивная мощность на выходе АГФР**



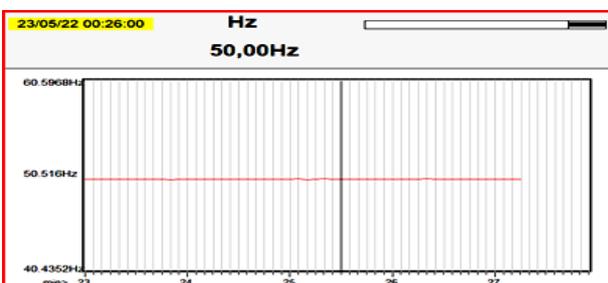
**Рис. 15. Активная мощность на выходе АГФР**



**Рис. 16. Напряжение на выходе АГФР**



**Рис. 17. Статорный ток АГФР**



**Рис. 18. Частота тока АГФР**

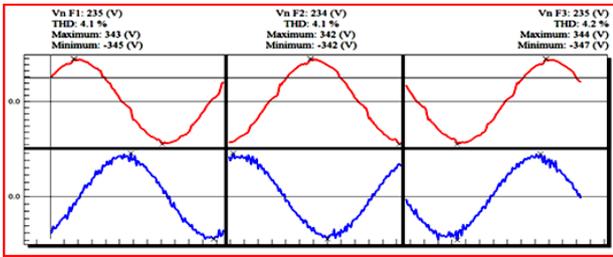


Рис. 19. Синусоида изменения напряжения и тока при отсутствии реактивной мощности, подаваемой на фазные обмотки статора АГФР

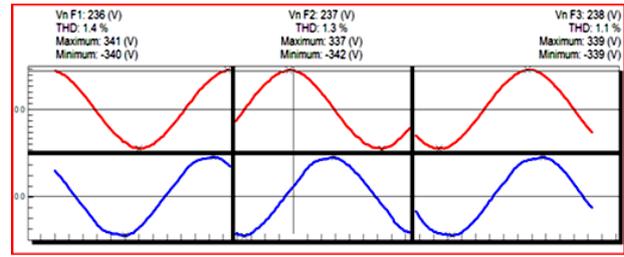


Рис. 20. Синусоида изменения напряжения и тока при подаче реактивной мощности на фазные обмотки статора АГФР

На выработку электроэнергии асинхронного генератора микро ГЭС влияют следующие факторы: скорость воды, поступающей в турбину микро ГЭС, объем воды, поступающей в турбину микроГЭС, давление воды, поступающей в турбину микроГЭС, скорость вращения турбины и ротора генератора микроГЭС, потери мощности и момент в генераторе, активные сопротивления, подключенные к обмотке ротора генератора, реактивная мощность, подключенная к обмотке статора генератора. Выходная мощность управляемого асинхронного генератора микроГЭС зависит от следующей функции:

$$P_{ген} = f(v_w, V_w, P_w, n_{турб}, n_{ген}, P_{пот}, M_{ген}, R, Q, I_c, I_p, \cos\phi, \eta, K_{наг}) \quad (8)$$



Рис. 21. Факторы, влияющие на выработку мощности асинхронного генератора микро ГЭС

Мощность, вырабатываемая генератором микроГЭС и устройствами ВЭС, получена на основе экспериментальных измерений. В результате экспериментальных данных и регрессионных анализов установлено, что активная мощность на выходе генератора микроГЭС зависит от скорости вращения генератора, момента, потерь мощности, реактивной мощности, подключаемой к обмотке статора, коэффициентов мощности и полезного действия.

На основе регрессионного анализа получены математические модели, определяющие выработку электроэнергии управляемым асинхронным генератором с учетом технологических и эксплуатационных факторов при изменении различных скоростей ветряного и водного потоков:

$$P_{ген\_МикроГЭС} = 24,8721 - 10,5302 \cdot V_{вода} + 3,8880 \cdot M_{ген} + 18,9802 \cdot P_{пот} + 0,0061 \cdot Q + 85,8357 \cdot \cos\phi \quad (9)$$

$$P_{ген\_ВЭС} = 2175,09 + 146,48 \cdot v_{вет} + 113,26 \cdot M_{ген} + 0,18 \cdot Q - 3798,76 \cdot \cos\phi \quad (10)$$

При сравнении экспериментальных результатов с результатами моделирования установлено, что погрешность составляет менее 2,5%.

Соответствие исходным данным показывает достаточную точность полученной модели.

## ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований на тему: «Совершенствование процесса работы асинхронных генераторов в возобновляемых источниках энергии» сформулированы следующие выводы:

1. Усовершенствован метод регулирования скорости вращения генератора путем введения сопротивления в обмотку ротора асинхронного генератора при различных скоростях водного потока. В результате появилась возможность регулирования скорости вращения генератора в широком диапазоне до 40%, что обеспечивает максимальную передачу мощности в сеть.

2. Разработан алгоритм подбора ёмкостных сопротивлений, подключаемых к обмотке статора, определения энергетических показателей асинхронного генератора с фазным ротором в возобновляемых источниках энергии. В результате стало возможным увеличить коэффициент мощности асинхронного генератора, работающего параллельно с системой электроснабжения на 5-22% и обеспечить его работу в режиме максимальной выработки мощности.

3. Разработаны функциональная схема и физическая модель системы автоматического управления, регулирующей скорость генератора. В результате было создано устройство автоматического управления, работающее параллельно с действующей сетью, адаптированное для эффективной работы при различных потоках ветра.

4. Разработаны электрическая схема управления и система контроля-управления качественными показателями автоматического устройства при параллельной работе асинхронного генератора с фазным ротором с системой электроснабжения при различных изменениях скоростей ветра и водного потока. В результате появилась возможность определения, контроля и автоматического управления всеми электрическими и механическими показателями электромеханической системы.

5. На основе экспериментального и регрессионного анализа разработана математическая модель, определяющая выходную мощность управляемого асинхронного генератора при различных изменениях скоростей ветра и водного потока. В результате появилась возможность определения энергоэффективности асинхронного генератора. При сравнении экспериментальных результатов с результатами моделирования установлено, что относительная погрешность составляет менее 2,5 %.

6. Способ регулирования скорости вращения в широком диапазоне путем введения сопротивления в обмотку ротора генератора при различных скоростях водного потока и устройство автоматического управления, регулирующее скорость, апробированы на унитарном предприятии «Гиссаракская ГЭС» АО «Узбекгидроэнерго» В результате экономическая эффективность составила 163,386 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSC.03/10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

**TANIEV MIRZOKHID XURRAMOVICH**

**IMPROVING THE OPERATION PROCESS OF ASYNCHRONOUS  
GENERATORS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

**05.05.01-Energy systems and complexes**

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

**Tashkent – 2024**

**The topic of the dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences has been registered with the number B2024.2.PhD/T2676 in the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations.**

The dissertation was conducted at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is published in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) on the website of the Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and on the "ZiyoNet" Informational and Educational Portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

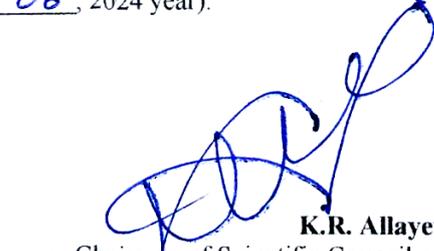
<b>Scientific Supervisor:</b>	<b>Toirov Olimjon Zuvurovich</b> Doctor of technical sciences, Professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Ishnazarov Oybek Khairilaeovich</b> Doctor of technical sciences, Professor
	<b>Umarov Shukhrat Badreddinovich</b> Doctor of technical sciences, Professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Fergana Polytechnic Institute</b>

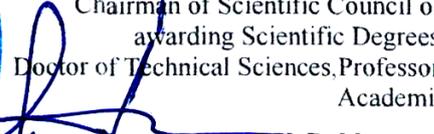
The defense of the dissertation will take place at the meeting of the Scientific Council with the number DSc.03/10.12.2019.T.03.03 at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov on the year 2024, on the "22" day of 06 at 10<sup>00</sup> o'clock. (Address: 100095, Tashkent city, Universitet Street, 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (registered under number 389). Address: 100095, Tashkent city, Universitet street, 2. Telephone: (99871) 207-14-70.

The abstract of the dissertation was distributed on the "5" of 06, 2024 year.  
(The registry statement number dated "5" of 4.06, 2024 year).



  
**K.R. Allayev**  
Chairman of Scientific Council on  
awarding Scientific Degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Academic

  
**I.U. Rakhmonov**  
Scientific secretary of scientific council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

  
**T.Sh. Gayibov**  
Chairman of Scientific Seminar on  
awarding Scientific Degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**Relevance and demand for the topic of the dissertation work.** In the world, special importance is attached to the rational use of available natural energy resources, increasing the energy efficiency of power plant generators using renewable energy sources, and creating energy-saving operating modes for electromechanical systems at hydroelectric power plants. Currently, large-scale research is being conducted in developed countries on the use of asynchronous generators in renewable energy sources and automatic control of electromechanical systems. The installed capacity of wind power plants worldwide is increasing by 93.6 GW per year, and the total installed capacity has reached 950 GW. Also, the installed capacity of small hydroelectric power plants up to 10 MW worldwide has reached 79 GW. In this regard, special attention is paid to improving wind and hydroelectric power station generators, improving their energy performance, and increasing the energy efficiency of the electromechanical system.

**The purpose of the research** study is to develop an automatic control system that regulates the speed of an asynchronous generator with a phase rotor, operating in parallel with the power supply system when the wind speed and water flow change.

### **Research objectives:**

analysis of methods for regulating the rotation speed of asynchronous generators in a wide range in renewable energy sources, development of an algorithm for selecting capacitive and additional active resistances that ensure energy efficiency;

development of a functional diagram of an automatic control system that regulates the rotation speed of an asynchronous generator in renewable energy sources when changing various wind speeds and water flow;

development of an automatic control device that regulates the speed of an asynchronous generator with a wound rotor (AGWR), an electrical control circuit and a system for monitoring and controlling quality indicators in wind power plants and micro hydroelectric power plants;

experimental analysis of controlled energy indicators of the AGWR, improvement of the mathematical model for determining the output (production) power of a controlled asynchronous generator when changing various wind speeds and water flow based on regression analysis.

**The object of the study** study is an asynchronous generator with a wound rotor in renewable energy sources.

**The subject of the study** is an automatic control system that regulates the speed of an asynchronous generator with a phase rotor, transmitting maximum electrical power, when the wind speed and water flow change.

**Research methods.** During the research, mathematical modeling of asynchronous generators, electromechanical systems, automatic control theory, simulation modeling in the Matlab/Simulink program, mathematical and statistical methods for processing experimental data, the Autodesk 3Ds MAX design

program, regression and correlation analysis methods were used.

**The scientific novelty of the study is as follows:**

an automatic control system has been created that regulates the speed of an asynchronous generator at different wind flow speeds, taking into account the conditions of parallel operation with the grid, and a controlled wind power device that allows for the transmission of maximum power;

the method of regulating the rotation speed in a wide range has been improved by selecting capacitive and additional active resistances based on the criteria for ensuring the energy efficiency of the asynchronous generator, as well as introducing resistance into the generator rotor winding;

the mathematical model has been improved that determines the output power of a controlled asynchronous generator, taking into account technological and operational factors when changing various wind speeds and water flow based on regression analysis;

the functional diagram of an automatic control system has been developed that regulates the rotation speed of an asynchronous generator under various changes in wind speed and water flow, and a control and monitoring system that ensures standard values of quality indicators of electrical energy.

**Approbation of research results.** The results of the study were discussed at 14 scientific and practical conferences, including 11 international and 3 republican conferences.

**Publication of research results.** On the topic of the dissertation, a total of 24 scientific works were published, 7 scientific articles, including 6 in national, 1 in a foreign journal (2 articles in collections included in the Scopus database), recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations, 1 patent for a utility model and 2 author's certificates for a computer program of the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan were received.

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

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Toirov O.Z., Taniyev M.X., Xalikov S.S., Safarov Amaldagi tarmoq bilan parallel ishlovchi boshqariluvchi shamol elektr qurilmasi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi «Intellectual mulk markazi» davlat muassasasi. Foydali modelga patent. - Tashkent, 2023. № FAP 2023 0311. 30.08.2023.

2. Toirov O.Z., Taniyev M.X. Sotiboldiev A.A. Questions of Control of Asynchronous Generators Used at HPP and WPP Stations // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India. 2022. - Vol. 9, Issue 4, April 2022. ISSN: 2350-0328. PP. 19260-19265 (05.00.00; №8).

3. Тоиров О.З. Таниев М.Х. Шамол электр станцияларида асинхрон генераторларни қўллаш имкониятлари // “Энергия ва ресурс тежаш муаммолари” илмий-техник журнали. - Ташкент, 2022. Махсус сон. 283-288 б. (05.00.00; №21).

4. Тоиров О.З., Таниев М.Х. Қайта тикланувчи энергия манбаларида асинхрон генераторнинг фазалари уланиш схемасининг чиқиш кучланишига таъсири // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали. - Тошкент, 2022. №2(14). 70-72 б.(30.09.2020 даги № 286/8 ОАК раёсати қарори).

5. Тоиров О.З., Таниев М.Х. Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги электромеханик тизимларда қувват исрофи ва энергия баланси // “Информатика ва энергетика муаммолари”. - Тошкент, 2022. №5. 44-54 б. (05.00.00; №5).

6. Таниев М.Х., Бекишев А.Е. Асинхрон мотор пўлатидаги исрофларни тадқиқ қилиш // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали. - Ташкент, 2021. №3(11). 17-18 б. (30.09.2020 даги № 286/8 ОАК раёсати қарори).

7. Таниев М.Х., Шерназаров С.Э., Убайдуллаев М.М. МикроГЭСлардаги фаза роторли асинхрон машина механик тавсифини ҳисоблаш // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали. - Ташкент, 2021. №3(11). 29-31 б. (30.09.2020 даги № 286/8 ОАК раёсати қарори).

8. Алимходжаев К.Т., Таниев М.Х., Захидов О.У. Asynchronous phase rotor generators for power planes operating parallel with a network // Вестник ТашИИТ. - Ташкент, 2019. №4. С. 79-86. (05.00.00; №11).

**II бўлим (Часть II; PartII)**

9. Toirov O., Taniyev M., Hamdamov M., Sotiboldiev A. Power Losses Of Asynchronous Generators Based On Renewable Energy Sources // E3S Web of Conferences 434, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401020>, ICECAE 2023, P. 122-127.

10. Alimkhodjaev K.T., Toirov O.Z., Taniyev M.X. Addressing Issues and

Possibility of Introducing Renewable Energy Sources in the Conditions of Uzbekistan // Journal of critical reviews Vol. 7, Issue 15, 2020. P. 1721-1728, doi:10.31838/jcr.07.15.231 (IF=0.2)

11. Taniyev M., Mirkhonov U., Rakhmatova M., Isakov F., Ergashov Sh., Nizamov J. Study of the substitution scheme of the parameters of a phase-rotor induction generator // AIP Conference Proceedings, <https://doi.org/10.1063/5.0130746> 05, January 2023. P. 215-220.

12. Toirov O.Z., Taniyev M.X., Mirxonov U.K. Faza rotorli asinxron mashinaning aylanish chastotasini qarshiliklarni rostlash orqali boshqarish hamda energetik ko'rsatkichlarini oshirish metodikasi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi «Intellectual mulk markazi» davlat muassasasi. - Toshkent №DGU 16169.14.05.2022

13. Toirov O.Z., Taniyev M.X., Mirxonov U.K., Sa'dullaev T.M. Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridagi faza rotorli asinxron generatorlarning quvvat isroflarini hisoblash metodikasi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi «Intellectual mulk markazi» davlat muassasasi. - Toshkent. № DGU 14882. 07.03.2022

14. Тоиров О.З., Таниев М.Х. Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги электромеханик тизимлар // «Иқтисодий ва рақамлаштириш шароитларида энергетиканинг долзарб муаммолари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий конференцияси материаллари. – Бухоро, 24-26 ноябр 2022. 200-202 б.

15. Тоиров О.З., Таниев М.Х. Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларда қувват исрофи // “Автоматлаштирилган электромеханик ва электротехнологик тизимларда рақамлаштиришнинг долзарб муаммолари ва энергия самарадорлигини ошириш” мавзусидаги Халқаро илмий-техник конференцияси материаллари. - Тошкент, 25-26 май 2023. 128-131 б.

16. Таниев М.Х., Алимходжаев К.Т. Қайта тикланадиган энергия манбалар фойдаланиш масалаларининг ечиш // “Инновацион техника ва технологияларнинг кишлоқ хўжалиги - озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжумани. – Тошкент, 24-25 апрель 2020. 713-715 б.

17. Алимходжаев К.Т., Тоиров О.З., Таниев М.Х. Исследование асинхронного генератора для ветроэлектростанции и малых гидроэлектростанций // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: V международная научно-техническая конференция. Уфа, 15-18 апреля 2020. С. 297-301.

18. Алимходжаев К.Т., Тоиров О.З., Таниев М.Х. Асинхронные генераторы с фазным ротором для ветряных электростанций и микро-ГЭС, включенные параллельно с сетью // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: V международная научно-техническая конференция. Уфа, 15-18 апреля 2020. С. 305-313.

19. Тоиров О.З., Таниев М.Х., Ўроқов С.Э., Шерназаров С.Э. Шамол электр станцияларида асинхрон генераторларни қўллаш имкониятлари // “Автоматлаштирилган электромеханик ва электротехнологик тизимларда

рақамлаштиришнинг долзарб муаммолари ва энергия самарадорлигини ошириш”. - Тошкент, 25-26 май 2023. 388-390 б.

20. Таниев М.Х., Эргашов Ш.О. ШЭС ва микроГЭСларда фаза роторли асинхрон генераторларни қувватини ротор занжирига қаршилиқ улаш ёрдамида ростлаш // “Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муоммолари” мавзусида Республика миқёсидаги илмий-техникавий анжуман илмий ишлар тўплами. - Тошкент, 25-26 ноябр 2021. 463-465 б.

21. Тоиров О.З., Таниев М.Х. Қайта тикланувчи энергия манбаларидаги асинхрон генераторларда қувват исрофи // “Автоматлаштирилган электромеханик ва электротехнологик тизимларда рақамлаштиришнинг долзарб муаммолари ва энергия самарадорлигини ошириш”. - Тошкент, 25-26 май 2022. 128-131 б.

22. Тоиров О.З., Таниев М.Х., Ўроқов С.Э., Шерназаров С.Э. Шамол электр станцияларида фаза роторли асинхрон генераторларнинг механик тавсифи // “Автоматлаштирилган электромеханик ва электротехнологик тизимларда рақамлаштиришнинг долзарб муаммолари ва энергия самарадорлигини ошириш”. - Тошкент, 25-26 май 2022. 358-360 б.

23. Таниев М.Х. Шамол ва кичик гидроэлектрстанцияларидаги асинхрон генераторларнинг электромагнит моменти // Ўзбекистонда илмий амалий тадқиқотлар. - Тошкент, 2020. №15. 234-235 б.

24. Таниев М.Х., Убайдуллаев М.М. МикроГЭСларда фаза роторли асинхрон машиналардан генератор сифатида фойдаланиш // Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муоммолари. - Тошкент, 2020. 49-51 б.





