

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ПУЛАТОВ БЕҲЗОД МАННОНОВИЧ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ  
ЭВОЛЮЦИОН АЛГОРИТМЛАР ЁРДАМИДА  
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

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

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

**Тошкент – 2022**

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

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

**Пулатов Бехзод Маннонович**

Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритмлар  
ёрдамида оптималлаштириш.....3

**Пулатов Бехзод Маннонович**

Оптимизация режимов электроэнергетических систем эволюционными  
алгоритмами.....25

**Pulatov Bekhzod Mannonovich**

Optimization of electric power systems modes by evolutionary  
algorithms.....45

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....48

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ПУЛАТОВ БЕҲЗОД МАННОНОВИЧ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ  
ЭВОЛЮЦИОН АЛГОРИТМЛАР ЁРДАМИДА  
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

**05.05.02 – “Электротехника. Электр энергия станциялари, тизимлари.  
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар”**

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

**Тошкент – 2022**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/Г1152 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация «Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети» да бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:**

**Гайибов Тулкин Шерназарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Таслимов Абдурахим Дехканович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Хамидов Шухрат Вахидович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент давлат транспорт университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.Г.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «27» 08 соат 9:00 даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2-уй. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu\_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин 067 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2-уй. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2022 йил «4» 08 куни тарқатилди.  
(2022 йил «3» 08 даги 4 рақамли реестр баённомаси).



**Қ.Р. Алласи**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**О.Х. Ишназаров**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, профессор

**Ф.А. Хошимов**

Илмий даража берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раисининг ўринбосари,  
техника фанлари доктори, профессор

## **СИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда электр энергетика тизимларининг иш ҳолатларини барча таъсир этувчи ва чекловчи факторларни ҳисобга олиб, катта аниқликда оптимал режалаштириш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Ҳозирги даврда ривожланган мамлакатларда «...энергетика тизимларининг ҳолатларини генетик алгоритм ёрдамида оптималлашда ёқилғи сарфи билан боғлиқ ҳаражатларни анаънавий усулларга нисбатан 1% гача камайтириш мумкинлиги аниқланган»<sup>1</sup>. Бу борада, жумладан энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштириш масалаларида эволюцион алгоритмлар ва электр энергиясини истеъмол қилиш тугунларининг юкламасидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда энергетика тизимларининг ҳолатларини режалаштиришнинг усул ва алгоритмларини турли хил факторлар таъсирида юзага келувчи хатоликларни аниқлаш ва уларни бартараф этиш чораларини қўллаш ҳисобига ривожлантиришга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, энергетика тизимларининг ҳолатларини станцияларнинг, одатда жадвал кўринишида берилувчи синиқ чизиқли характерда бўлган реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиб, барча чегаравий шартларни катта аниқликда ҳисобга олиб оптималлашнинг самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланмоқда. Бу борада ҳозирги ҳолатни таҳлил қилиш натижалари ушбу масалани ечишнинг мавжуд усул ва алгоритмлари мукамал даражада эмаслигини кўрсатади. Шу билан бирга, электр энергетика тизимларининг ҳолатларини барча ҳолат ва технологик чегаравий шартларни эътиборга олган ҳолда оптималлашнинг самарали усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда истеъмолчиларни минимал нархларда сифатли электр энергияси билан ишончли таъминлаш, замон талабларига мувофиқ тарзда янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026

---

<sup>1</sup> <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6523>

йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «Иқтисодий электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда «Яшил иқтисодий» технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодийнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш...»<sup>2</sup> бўйича вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан, энергия ресурсларини ишлаб чиқариш ва уларнинг истеъмолини прогноз қилишда, технологик ускуналар ишини оптималлаштиришда сунъий интелект технологияларини қўллаш бўйича чора-тадбирларни ишлаб чиқиб, уларни жорий этиш, замонавий усуллар асосида электр энергиясини бошқариш услубиятини ишлаб чиқиш масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 сон «Иқтисодий тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида», 2021 йил 17 февралдаги ПҚ-4996 сонли “Сунъий интелект технологияларини жадал жорий этиш учун шарт-шароитлар яратиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш ҳолатларини оптимал режалаштиришнинг замонавий усул ва алгоритмларини яратиш, жумладан уларни ечишда эволюцион алгоритмлардан фойдаланишга илмий тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказлари ва олий ўқув юртларида, шу жумладан, University California (АҚШ), New Jersey University (АҚШ), Polytechnic University Milan (Италия), University of Limburg in Maastricht (Бельгия), Mersin University (Туркия), Tallinn University of technology (Эстония), Tokyo Metropolitan University (Япония), South China University of Technology (Хитой), Western Australia University (Австралия), Aswan University (Миср), Урал политехника университети (УПУ, Россия), Новосибирск техника Университети (Россия), Бутунроссия электр энергетика илмий-техника институти (БРЭИТИ, Россия), Мелентев номидаги энергия тизимлари институти (МЭТИ, Россия), Миллий тадқиқот университети (МТУ, Россия), Тошкент давлат техника

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони. <https://lex.uz/docs/5841063>.

университети (Ўзбекистон), Энергетика муаммолари институти (Ўзбекистон), «Ўзэнергомарказ» МЧЖ (Ўзбекистон) ҳамда бошқаларда кенг камровли тарзда олиб борилмоқда.

Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштириш усуллари ва алгоритмларини яратиш, бунда, жумладан эволюцион алгоритмларни қўллаш масалаларини тадқиқ қилишга хорижий олимларидан Holland J.H, David W., Shuya Li, Braspenning, P.J., Coit, Yokoyama R., Yurievich J., Zhu J., Valdma M., Tammoja H., Liik O., Xinjie Yu., Colorni A., Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Воропай Н.И., Горнштейн В.М., Цветков Е.В., Семенов В.А., Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Крумм Л. А., Гамм А.З., Мисриханов М.Ш., Манусов В.З., Павлюченко Д.А., Швыров И.В. ва бошқалар.

Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини барча таъсир этувчи ва чекловчи факторларни ҳисобга олиб оптималлаш ҳамда прогнозлаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишда Ўзбекистоннинг таниқли олимларининг илмий ишлари бағишланган. Булардан: Фазилов Х.Ф., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Юлдашев Х.Ю., Ситдиқов Р.А., Гайибов Т.Ш., Хамидов Ш.В., Соколов В.К., Шарипов У.Б., Шакиров З.Ш. ва бошқалар. Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида электр энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлаш масалаларни ечишда салмоқли натижаларга эришилди.

Шу билан бирга, электр энергетика тизимларининг ҳолатларини станцияларнинг реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиш асосида барча таъсир этувчи ва чекловчи факторларни ҳисобга олиб оптималлашнинг эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптималлаш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг ИТД-3-128 «Ўзбекистон Республикасининг асосий электр тармоқлари орқали электр энергияни узатишдаги исрофларни манбаларнинг реактив қувватлари ва трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентларини оптималлаштириш орқали минималлаштириш» (2012-2014 й.), А-3-96 «Ўзбекистон Республикаси энергетика тизимида энергия истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқариш» (2015-2017 й.) ва «Энергетика системаларининг оптимал ҳолатлари, ўтиш жараёнлари ва сифатини ҳисоблаш, таҳлил қилиш ва уларни автоматик бошқаришнинг замонавий усуллари ишлаб чиқиш» (2017-2021 й.) лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади.** Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини станцияларнинг реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиш асосида барча таъсир этувчи ва чекловчи факторларни ҳисобга олиб оптималлашнинг эволюцион алгоритмлари ва математик моделларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлашда эволюцион алгоритмлардан фойдаланиш имкониятларини тадқиқи ва такомиллаштириш;

энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптималлашда чекловчи ва таъсир этувчи факторларни ҳисобга олиш имкониятларининг тадқиқи ва уларни такомиллаштириш;

таркибида иссиқлик электр станциялари (ИЭС), гидроэлектр станциялари (ГЭС) ва қайта тикланувчан энергия манбалари (ҚТЭМ)да ишловчи электр станциялари мавжуд бўлган электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптимал режалаштиришни тадқиқ қилиш ва уларни ривожлантириш;

электр станцияларида ишловчи агрегатларнинг таркибини оптималлаштиришда эволюцион алгоритмлардан фойдаланиш имкониятларини тадқиқ қилиш ва тараққий эттириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида таркибида иш ҳолатлари ростланувчан иссиқлик ва гидроэлектр станциялари, қувват оқимлари назорат қилинувчи электр узатиш линиялари мавжуд бўлган мураккаб электр энергетика тизимлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** таркибида ростланувчан иссиқлик ва гидроэлектр станциялари мавжуд бўлган мураккаб электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини станцияларнинг рухсат этилган қувватлари, назорат қилинувчи линияларда рухсат этилган қувват оқимлари, ГЭСларда сув сарфи бўйича чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптимал режалаштириш масалаларини ечишнинг усул ва алгоритмлари ҳамда математик моделларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Электр энергетика тизимларининг барқарорлашган ҳолатларини ҳисоблаш ва оптималлаштириш назарияси, чизиқли ва ноқизиқли дастурлаш, сунъий интеллект усуллари, эволюцион алгоритмлар, тизимли таҳлил ва математик статистика усулларига асосланган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлаштиришнинг станцияларни реал энергетик характеристикаларидан бевосита фойдаланишга асосланган эволюцион алгоритми ишлаб чиқилган;

энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритм ёрдамида оптималлаштиришда тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиш услуги яратилган;

таркибида ИЭС, ГЭС ва ҚТЭМда ишловчи электр станциялари мавжуд бўлган энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини кўрилаётган даврни вақт интервалларига ажратмасдан ва ажратиш орқали оптимал режалаштиришнинг математик моделлари ва эволюцион алгоритмлари ишлаб чиқилган;

энергетика тизимларининг ҳолатларини режалаштиришда станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини уларнинг умумлашган

энергетик характеристикаларидан фойдаланиш асосида танлашнинг эволюцион алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

энергетика тизимларининг ҳолатларини тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги нозичлики функционал чегаравий шартларни жарима функцияси ёрдамида ҳисобга олиб оптималлашда фойдаланилувчи генетик алгоритмлари ва ЭҲМ учун дастури ишлаб чиқилган;

таркибида ИЭС, ГЭС ва ҚТЭМда ишловчи электр станциялари мавжуд бўлган энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини барча ҳолат ва технологик чегаравий шартларни эътиборга олиб, оптимал режалаштиришнинг генетик алгоритмлари ва ЭҲМ учун дастури ишлаб чиқилган;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштиришда ростланувчан станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини катта аниқликда танлаш учун эволюцион алгоритм ва у реализация қилинган ЭҲМ учун дастур яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптималлашнинг замонавий назарияси, сонли, чизикли ва нозичли математик дастурлаш, математик статистика, тизимли таҳлил усуллари, сунъий интеллект ва эволюцион алгоритмлар бўйича замонавий ҳисоблаш воситалари ҳамда тадқиқот усуллари воситасида амалга оширилган кўплаб экспериментал ҳисоблашлар билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Олинган натижаларнинг илмий аҳамияти ўтказилган тадқиқотлар асосида электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини барча ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олиб, станцияларнинг реал энергетик характеристикалари бўйича оптимал режалаштириш имконини берувчи математик моделлар, усуллар ва алгоритмлар билан изоҳланади.

Амалий аҳамияти энергетика тизимларининг ҳолатларини тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги чизикли ва нозичли чегаравий шартларини жарима функцияси орқали ҳисобга олиб, оптималлаш; таркибида ҳар хил электр станциялари мавжуд бўлган мураккаб энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштириш; энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптималлашда станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлаш учун яратилган алгоритмлар ва дастурий воситалар билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини станцияларнинг реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиш асосида барча таъсир этувчи ва чекловчи факторларни ҳисобга олган ҳолда эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптималлаштириш учун ишлаб чиқилган математик моделлар ва алгоритмлар бўйича олинган илмий натижалар асосида:

электр энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлашнинг эволюцион алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик

марказида суткалик иш режимини оптималлаштириш учун жорий қилинган («Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖнинг 2022 йил 21 февралдаги 01-02-16/636-сонли маълумотномаси). Натижада бир сутка давомида иссиқлик электр станцияларидаги шартли ёқилғи сарфини 16,398 тоннага камайтиришга эришилган;

электр энергетика тизимларининг ҳолатларини барча ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптималлашнинг эволюцион алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик марказида энергетика тизимининг қишки мавсуми иш режимларини оптималлаштириш учун жорий қилинган (2022 йил 21 февралдаги 01-02-16/636-сонли маълумотнома, «Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖ). Натижада қишки мавсум давомида 1065,87 тонна шартли ёқилғини тежашга эришилган;

электр энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлашнинг эволюцион алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик марказида энергетика тизимининг қишки мавсуми иш режимларини оптималлаштириш орқали ёқилғи билан боғлиқ бўлган харажатларни минималлаштириш учун жорий қилинган (2022 йил 21 февралдаги 01-02-16/636-сонли маълумотнома, «Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖ). Натижада энергетика тизимида ёқилғи сарфи харажатларини 224,48 млн. сўм га камайтиришга эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 19 та илмий ва амалий анжуманларда, жумладан 14 та халқаро (4 та Scopus базасига кирувчи) ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида апробациядан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 25 та илмий иш чоп этилган. Шулардан хорижий ва республика журналларда 1 тадан мақола, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий журналларда 4 та, шу жумладан 1 та хорижий ва 3 та республика журналларида чоп этирилган, ЭҲМ учун 2 та дастурга Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк Агентлигининг гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми жами 150 бетдан иборат бўлиб, асосий матн 119 бетни, иловалар 31 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Ишнинг **Кириш** қисмида диссертация тадқиқотининг зарурлиги ва долзарблигининг асосланиши, мақсади ва вазифалари келтирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон республикасида илм-фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган. Шунингдек, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва

амалий натижалари келтирилган, натижаларнинг ишончилиги асосланган, натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти тавсифланган, тадқиқот натижаларини амалга ошириш, апробация қилиш ва нашр этиш, шунингдек диссертациянинг тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи боби **«Оптималлаш масалаларини ечишнинг эволюцион усуллари»**да электр энергетика тизимлари (ЭЭТ)нинг қисқа муддатли ҳолатларини барча ўзгарувчилар бўйича бир вақтнинг ўзида комплекс оптималлаштириш масаласи келтирилган бўлиб, уни ечиш билан боғлиқ бўлган муаммоларни таҳлиллаш асосида иккита кичик масалаларга, яъни энергетика тизимининг ҳолатини актив қувват бўйича оптималлаш ва электр тармоғи ҳолатларини оптималлаш масалаларига декомпозициялаш воситасида ечиш мақсадга мувофиқ эканлиги кўрсатилган. Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлашнинг анъанавий ва эволюцион усул ва алгоритмлари таҳлил қилинган.

Электр энергетика тизимлари ҳолатларини оптималлаштиришнинг мавжуд анъанавий усуллари асосан электр станцияларининг аппроксимациялаш орқали ҳосил қилинувчи квадратик кўринишига сарф характеристикаларидан фойдаланишга асосланган. Бундай характеристикалардан фойдаланиш ўз навбатида оптималлаш аниқлигини пасайтириш орқали эришилувчи самарадорликни камайтиради. Одатда жадвал кўринишида берилувчи энергетик характеристикалардан фойдаланилганда эса, умумий ҳолатда оптимал ечимга эришиш кафолатланмайди. Ундан ташқари, анъанавий усуллар учун тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиш билан боғлиқ айрим қийинчиликлар ҳам характерли ҳисобланади. Бу сингари қийинчиликларни енгиш учун оптималлашда эволюцион алгоритмлардан фойдаланиш алоҳида аҳамият касб этади. Бундай алгоритмлар кўп экстремумли масалаларни ечишда глобал экстремумни аниқлаш имконини бериши билан бир қаторда узилишларга эга бўлган мақсад функцияси шароитларида ҳам фойдаланилиши мумкин.

Диссертация ишида эволюцион алгоритмлардан генетик, асалари ва чумоли алгоритмларининг самарадорлиги таҳлил қилиниб, уларнинг энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлаш масаласини ечишдаги самарадорлиги тадқиқ қилинди. Тадқиқот натижалари ҳар хил характердаги чегаравий шартлар мавжуд бўлган шароитларда асалари ва чумоли алгоритмларидан фойдаланиш асосида катта аниқликдаги натижани ҳосил қилиш кафолатланмаслигини кўрсатди. Дастлабки яқинлашиш сифатида қабул қилинган нуқтанинг жойлашувига боғлиқ ҳолда ҳосил бўлувчи натижалар қисман фарқ қилиши аниқланди. Шу сабабли улар энергетика тизимининг тахминий оптимал ҳолатини аниқлаш мақсадида, масалан, оператив бошқариш масалаларини ечишда фойдаланилиши мумкин.

Диссертация ишининг иккинчи боби **«Энергетика тизимининг юкламасини электр станциялари ўртасида эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптимал тақсимлаш»** энергетика тизимининг юкламасини

иссиқлик электр станциялари ўртасида уларнинг одатда жадвал кўринишида берилувчи энергетика характеристикаларидан фойдаланиш асосида тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиб, оптимал тақсимлаш усуллариининг самарадорлигини тадқиқига бағишланган.

Бу ерда энергетика тизимларининг ҳолатларини станцияларнинг реал энергетик характеристикаларини аппроксимациялаш асосида ҳосил қилинган боғланишлардан фойдаланиш орқали анъанавий усулларда оптималлаш умумий ҳолатда салмоқли даражада хатоликни ва мос ҳолда қўшимча иқтисодий харажатларни келтириб чиқариши кўрсатилди. Экспериментал ҳисоблашлар IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers) нинг 30 та тугунли стандарт тест схемаси мисолида амалга оширилди. Ушбу схеманинг 6 та тугунида оптималлашда қатанашувчи станциялар мавжуд бўлиб, ҳар бирининг ёқилғи сарфи билан боғлиқ харажатлар характеристикаси учта бўлақдан иборат бўлиб, уларнинг ҳар бири квадратик кўринишда ифодаланган. Энергетика тизимининг умумий юкламалари  $P_n = 150$  МВт, 200 МВт ва 250 МВт ушбу станциялар ўртасида уларнинг берилган реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиш асосида нисбий ўсишларнинг тенглиги усулида ва ягона квадратик функция орқали аппроксимациялаш натижасида ҳосил қилинган сарф характеристикаларидан фойдаланиш асосида анъанавий Ньютон усулида тақсимланди. Бундай оптималлашларнинг 1-жадвалда келтирилган натижалари аппроксимацияланган характеристикалардан фойдаланиш туфайли юзага келувчи хатолик билан боғлиқ бўлган харажатлар умумий юкламанинг катталашиб бориши билан салмоқли даражада ошиб борганлигини кўрсатади.

1-жадвал

$P_n$ , МВт	150,0	200,0	250,0
Нисбий ўсишларнинг тенглиги усулида оптималлаш натижалари			
$B$ , \$/соат	393,55	573,26	800,80
Ньютон усулида оптималлаш натижалари			
$B$ , \$/соат	394,62	578,89	808,17
Хатолик туфайли содир бўлувчи қўшимча харажатлар			
$\Delta B$ , %	0,27	0,98	0,92

Энергетика тизимларининг ҳолатларини умумий ҳолатда нисбий ўсишларнинг тенглиги усулида оптималлаш тенгсизлик кўринишидаги функционал ва тенглик кўринишидаги эгри чизикли чегаравий шартларни ҳисобга олишдаги муаммолар билан боғлиқ. Бундай қийинчиликлар ушбу масалани

ечишда генетик алгоритмларни қўллаш орқали бартараф этилиши мумкин.

Энергетика тизимларининг ҳолатларини актив қувват бўйича тармоқдаги исрофларни ҳисобга олиб оптималлашда актив қувват балансини ифодаловчи тенглик кўринишидаги, шунингдек, умумий ҳолатда назорат қилинувчи линияларда қувват оқимларининг рухсат этилган қийматлари бўйича тенгсизлик кўринишидаги чегаравий шартлар эгри чизикли характерда бўлади. Бундай шароитларларда генетик алгоритмдан фойдаланиш учун бу шаклдаги чегаравий шартларни алоҳида усуллар

ёрдамида ҳисобга олиш мумкин. Кўрилаётган муаммони математик жиҳатдан қуйидагича шакллантирилиши мумкин:

ИЭСларда умумий ёқилғи харажатлари функцияси:

$$B = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

энергетика тизимида қувват баланси:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_n + \pi, \quad (2)$$

станцияларнинг минимал ва максимал мумкин бўлган қувватлари

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

ва назорат қилинадиган электр узатиш линияларидаги (ЭУЛ) минимал ва максимал қувват оқимлари:

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L, \quad (4)$$

бўйича чегаравий шартларни ҳисобга олиб минималлаштирилсин.

Ушбу бобда энергетика тизимининг ҳолатини тенглик кўринишидаги ночизикли чегаравий шарт (2) ни жарима функцияси ва балансловчи станцияни ажратиш орқали ҳисобга олиб, оптималлаштириш масаласининг мос математик модели ва генетик алгоритмлари таклиф этилган.

Биринчи алгоритмга кўра чегаравий шарт (4) мавжуд бўлмаганда масала қуйидаги кўринишга келтирилиб, генетик алгоритм ёрдамида ечилади:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + III \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Бу ерда жарима функцияси  $III = \alpha \left( \sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi \right)^2$  кўринишга эга;  $\pi$ - электр тармоғида умумий актив қувват исрофи бўлиб, у станцияларнинг номаълум актив қувватларини эгри чизикли функцияси ҳисобланади;  $\alpha$  - юк коэффициенти.

Иккинчи алгоритмга мувофиқ энергетика тизимда актив қувват балансини ифодаловчи тенглик кўринишидаги эгри чизикли чегаравий шарт (2) балансловчи станцияни ажратиш орқали ҳисобга олинади. Масалан, 1-ИЭС балансловчи станция сифатида қабул қилинганда, унинг қуввати қуйидагича аниқланади:

$$P_1 = P_n + \pi - \sum_{i=2}^n P_i, \quad (6)$$

Бундай ҳолатда балансловчи станциянинг қуввати боғлиқ бўлган ўзгарувчилар тоифасига ўтганлиги сабабли унинг максимал ва минимал рухсат этилган қувватлари бўйича чегаравий шартлар қуйидаги кўринишдаги жарима функциялари ёрдамида эътиборга олинади.

$$III_{\max} = \alpha e^{\beta(P_1 - P_1^{\max})}, \quad III_{\min} = \alpha e^{\beta(-P_1 + P_1^{\min})}, \quad (7)$$

бу ерда  $\alpha, \beta$ - юк (жарима) коэффициентлари.

Бундай ҳолатда масалани ечиш мақсад функцияси:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + III_{\max} + III_{\min} \rightarrow \min \quad (8)$$

ни балансловчи станциядан ташқари барча станция учун чегаравий шартлар (3) ни ҳисобга олиб, генетик алгоритм ёрдамида минималлаштиришга келтирилади.

Шундай қилиб, энергетика тизимининг юкламасини электр станциялари ўртасида тенглик кўринишидаги ночизикли чегаравий шартларни юқоридаги усулларда ҳисобга олиб оптимал тақсимлашнинг генетик алгоритми бўйича ҳисоблашлар қуйидаги кетма-кетликка эга:

1) Чатиштириш ва мутация эҳтимолликларини қабул қилиш;  
 2) Оптималлашда қатнашувчи станцияларнинг қувватларини бошланғич қийматлари билан белгиланувчи бошланғич нуқталар (хромосомалар) тўплами (бошланғич популяция)ни шакллантириш;

3) Ҳисоблашни яқунлаш шартининг бажарилганлигини текшириш. У бажарилган вазиятда популяциядаги барча нуқталар (ечим вариантлари)ни солиштириш асосида энг яхшисини танлаш ва натижаларни чиқариш. Акс ҳолда навбатдаги 4-пунктга ўтиш;

4) Шаклланган популяциянинг ҳар бир ташкил этувчиси (ечим варианты)ни мослигини текшириш (ҳар бир нуқта учун мақсад функциясининг қийматларини (5) (ёки (8) бўйича ҳисоблаш);

5) Мақсад функциясининг қийматларини эътиборга олган ҳолда қабул қилинган эҳтимолликда ечим вариантларининг жуфтликларини тасодифий тарзда аниқлаш ва чатиштиришни амалга ошириш орқали янги популяцияни шакллантириш;

6) Янги шакллантирилган популяциянинг айрим ечим вариантларида қабул қилинган эҳтимолликда мутацияни амалга ошириш;

7) 3-пунктга ўтиш.

Ушбу ҳолатда 4-пунктни бажаришда мақсад функцияси – ИЭСларда ёқилғи сарфи билан боғлиқ бўлган умумий харажатларнинг қиймати уларнинг жадвал кўринишида берилган ёқилғи сарфининг нисбий ўсиш характеристикаларини интеграллаш асосида аниқланади.

Ушбу алгоритмларнинг самарадорлиги, жумладан, мураккаб энергетика тизимининг умумий юкламасини шартли ёқилғи сарфининг нисбий ўсиш характеристикалари жадвал кўринишида берилган 4 та ИЭС ўртасида тақсимлаш мисолида тадқиқ қилинди. Натижалар оптималлаш аниқлигининг ошиши ҳисобига олинувчи кўшимча иқтисодий самара юқоридаги сингари салмоқли даражада бўлишини кўрсатди.

Энергетика тизимларининг ҳолатларини тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптималлашнинг анаъанавий алгоритмлари асосан квадрат шаклдаги жарима функциясидан фойдаланишни кўзда тутди. Бундай жарима функциялари анаъанавий алгоритмлар учун ҳисоблаш нуқтаи назаридан қулай бўлсада, генетик алгоритмда мос қийинчиликларни келтириб чиқаради. Бу асосан, квадрат жарима функциянинг тенглик кўринишидаги чегаравий шартларни ҳисобга олишга мослашганлиги, улардан тенгсизлик кўринишидаги чегаравий

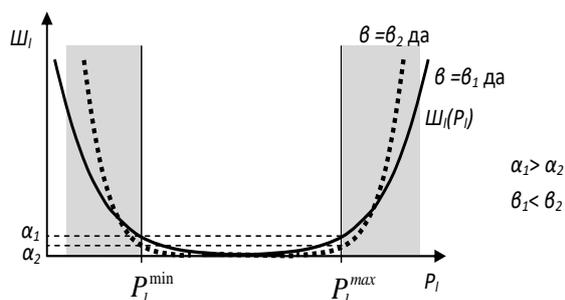
шартларни ҳисобга олишда фойдаланиш учун ҳар бир итерациядан сўнг шартнинг бажарилишини текшириб, сўнгра навбатдаги қадамда уни ҳисобга олиш ёки олмасликни аниқлаш билан боғлиқ. Ушбу жиҳатларни эътиборга олиб, диссертация ишида энергетика тизимларининг ҳолатларини тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни экспоненциал кўринишдаги жарима функцияси ёрдамида ҳисобга олиб, оптималлашнинг математик модели ва генетик алгоритми таклиф этилди. Бунда (4) кўринишидаги чегаравий шартни ҳисобга олувчи жарима функцияси қуйидагича ифодаланади:

$$Ш_l = \alpha \left( e^{\beta(-P_l + P_l^{\min})} + e^{\beta(P_l - P_l^{\max})} \right). \quad (9)$$

1-расмда ушбу жарима функциясининг юк коэффициентларини турлича кийматлари учун графиклари келтирилган.

Шундай қилиб, таклиф этилган математик модел ва генетик алгоритмга мувофиқ қуйидаги кўринишдаги мақсад функцияси оддий чегаравий шартлар (3)ни (балансловчи станциядан ташқари) ҳисобга олиб минималлаштирилади:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + Ш_{\max} + Ш_{\min} + \sum_{l=1}^{L_p} Ш_l \rightarrow \min, \quad (10)$$



1- расм. (4) кўринишидаги чегаравий шартни ҳисобга олувчи жарима функциясининг графиклари

Ҳар бир итерацияда балансловчи станциянинг қуввати (6) бўйича ҳисобланади. (10) да жарима функциялари мос ҳолда (7) ва (9) кўринишида ифодаланади.

Ишлаб чиқилган математик модел ва алгоритмнинг самарадорлиги учта электр узатиш линиясида актив қувват оқими назорат қилинувчи ( $P_{6-3} \leq 575$  МВт,  $P_{6-5} \leq 200$  МВт,  $P_{0-3} \leq 75$  МВт) энергетика

тизимининг ҳолатини оптималлаш мисолида тадқиқ қилинди. 2-жадвалда координаталар бўйлаб тушиш усулида ва таклиф этилган математик модел ва генетик алгоритм асосида оптималлаш натижалари келтирилган. Уларнинг деярли бир хиллиги ишлаб чиқилган моделнинг адекватлиги ва алгоритмнинг самарадорлигини кўрсатади.

2- жадвал

Энергетика тизимининг ҳолатини тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптималлаш натижалари

$P_0$ , МВт	$P_1$ , МВт	$P_6$ , МВт	$P_7$ , МВт	$P_{6-3}$ , МВт	$P_{6-5}$ , МВт	$P_{0-3}$ , МВт	В, т.ш.ё./соат
325,26	92,00	787,64	495,10	575,00	156,14	75,00	535,05
325,33	92,00	787,87	494,80	574,99	157,09	74,98	535,11

Диссертация ишининг учинчи «Таркибида энергия ресурс захираси чекланган станциялар мавжуд бўлган энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптималлаштириш»

боби таркибида энергетика тизимининг суткалик ҳолатини оптимал режалаштиришда қатнашувчи ИЭСлар, ГЭСлар ва қайта тикланувчан энергия манбаларида ишловчи станциялар мавжуд бўлган энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптимал режалаштириш масалалари тадқиқ қилинган. Таркибида оптималлашда қатнашувчи  $n$  та ИЭС,  $m$  та ГЭС ва аккумулятор батареясига эга бўлмаган қайта тикланувчан энергия манбаларида ишловчи станциялар мавжуд бўлганда ушбу масала қуйидаги кўринишда шакллантирилиши мумкин.

Сутка давомида ИЭСларда ёқилғи сарфи билан боғлиқ харажатлар:

$$B = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) \rightarrow \min \quad (11)$$

минималлаштирилсин, қуйидаги чегаравий шартларни эътиборга олган ҳолда:

энергетика тизимида актив қувват баланси бўйича:

$$\sum_{i=1}^n P_{it} + \sum_{j=1}^m P_{jt} = P_{нт} + \pi_t - P_{КТЭ,t}, \quad t = 1, 2, \dots, 24; \quad (12)$$

ростланувчан станцияларнинг минимал ва максимал рухсат этилган қувватлари бўйича:

$$\begin{aligned} P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, 24, \\ P_{jt}^{\min} \leq P_{jt} \leq P_{jt}^{\max}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad t = 1, 2, \dots, 24. \end{aligned} \quad (13)$$

назорат қилинувчи электр узатиш линиялари (ЭУЛ)да қувват оқимининг рухсат этилган қийматлари бўйича:

$$P_{lt}^{\min} \leq P_{lt} \leq P_{lt}^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L_p, \quad t = 1, 2, \dots, 24; \quad (14)$$

оптималлашда қатнашувчи ГЭСларда сутка давомидаги сув сарфи бўйича:

$$\Delta Q_j = \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{jз} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

бу ерда  $P_{it}$ ,  $P_{jt}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида  $i$ -чи ИЭС ва  $j$ -чи ГЭСнинг актив қувватлари;  $P_{нт}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида энергетика тизими истеъмолчиларининг умумий актив юкламаси;  $\pi_t$  – сутканинг  $t$ -чи соатида энергетика тизимининг электр тармоқларидаги умумий актив қувват исрофи;  $P_{it}^{\min}$ ,  $P_{jt}^{\min}$ ,  $P_{it}^{\max}$ ,  $P_{jt}^{\max}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида  $i$ -чи ИЭС ва  $j$ -чи ГЭСнинг рухсат этилган минимал ва максимал қувватлари (электр станцияларида ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибида);  $P_{КТЭ,t}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида қайта тикланувчан энергия манбаларида ишловчи станцияларнинг умумий қуввати;  $P_{lt}$ ,  $P_{lt}^{\min}$ ,  $P_{lt}^{\max}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида назорат қилинувчи  $l$ -чи линияда актив қувват оқими ва унинг рухсат этилган минимал ва максимал қийматлари;  $H_{jt}$ ,  $Q_{jt}$  – сутканинг  $t$ -чи соатида  $j$ -чи ГЭСда напор ва сув сарфи;  $Q_{jз}$  –  $j$ -чи ГЭСда сутка давомида оптимал сарфланиши зарур бўлган берилган сув миқдори.

Ҳозирги даврда бундай кўринишдаги масалани ечишнинг бир қатор усул ва алгоритмлари мавжуд бўлсада, уларни етарлича такомиллашган деб

ҳисоблаш мумкин эмас. Кўплаб камчиликлар станцияларнинг реал энергетик характеристикаларини жадвал кўринишида берилиши ҳамда ГЭСларда сутка давомида сув сарфи бўйича интеграл чегаравий шартни ҳисобга олиш билан боғлиқ. Бундай муаммоларни бартараф этиш учун диссертация ишида ушбу масалани берилган оптималлаш даврини вақт интервалларига ажратмасдан ва ажратиш орқали оптималлашга асосланган математик модел ва генетик алгоритмлар ишлаб чиқилган.

Биринчи алгоритмга кўра аввало балансловчи станциянинг рухсат этилган минимал ва максимал қувватлари бўйича чегаравий шартларни (7) кўринишидаги, чегаравий шартлар (14) ни (9) кўринишидаги, (15) ни эса квадрат шаклдаги жарима функциялари:

$$Ш_j = \gamma(\Delta Q_j)^2 = \gamma \left[ \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{j3} \right]^2, \quad j=1, 2, \dots, m,$$

воситасида ҳисобга олиш орқали қуйидаги умумлашган мақсад функциясини чегаравий шартлар (12) (балансловчи станциядан ташқари) ва (13) ни эътиборга олиб генетик алгоритм ёрдамида минималлаштириш амалга оширилади:

$$F = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) + \alpha \left[ e^{\beta(P_{it} - P_{it}^{\max})} + e^{\beta(-P_{it} + P_{it}^{\min})} \right] + \sum_{l=1}^{L_p} \left\{ \alpha_l \left[ e^{\beta_l(P_{it} - P_{it}^{\max})} + e^{\beta_l(-P_{it} + P_{it}^{\min})} \right] \right\} + \gamma \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{j3} \right]^2 \rightarrow \min \quad (16)$$

Бунда балансловчи станциянинг ҳар бир интервалдаги қуввати ҳар бир итерациядан сўнг қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$P_{it} = P_{nt} + \pi_t - P_{\text{КТЭт}} - \sum_{i=2}^n P_{it} - \sum_{j=1}^m P_{jt}, \quad t = 1, 2, \dots, 24. \quad (17)$$

Шундай қилиб, биринчи алгоритмга кўра ҳисоблашлар қуйидаги тартибда амалга оширилади:

- 1) Чатиштириш ва мутация эҳтимолликларини қабул қилиш;
- 2) Оптималлашда қатнашувчи ИЭСлар ва ГЭСларнинг даврни ҳар бир вақт интервали учун бошланғич қийматлари тўплами асосида бошланғич популяцияни шакллантириш;
- 3) Ҳисоблашни яқунлаш шартининг бажарилганлигини текшириш. У бажарилган вазиятда популяциядаги ҳар бир ташкил этувчи (ечим варианты)ни солиштириш асосида энг яхшисини танлаш ва натижаларни чиқариш. Акс ҳолда навбатдаги 4-пунктга ўтиш;
- 4) Шаклланган популяциянинг ҳар бир ташкил этувчисини мослик даражасини умумлашган мақсад функцияси (16) нинг қийматларини ҳисоблаш асосида аниқлаш;
- 5) Умумлашган мақсад функциясининг қийматларини эътиборга олган ҳолда қабул қилинган эҳтимолликда ечим вариантларининг жуфтликларини тасодифий тарзда аниқлаш ва чатиштиришни амалга ошириш орқали янги популяцияни шакллантириш;
- 6) Янги шакллантирилган популяциянинг айрим ечим вариантларида қабул қилинган эҳтимолликда мутацияни амалга ошириш;

7) 3-пунктга ўтиш.

Ушбу масалани ечиш учун таклиф этилган иккинчи алгоритмнинг биринчисидан принципиал фарқи ҳолат режалаштирилаётган қисқа муддатли давр (масалан, сутка)ни бир нечта характерли интервалларга ажратиш орқали ҳар бир интервал учун оптималлашни алоҳида амалга оширилишидан иборатдир. Даврни вақт интервалларига бўлиш эса, номаълум Лагранж кўпайтувчисини киритиш орқали қуйидаги тарзда амалга оширилади.

Дастлабки (11)-(15) кўринишдаги оптималлаш масаласида ГЭСларда сув сарфи бўйича чегаравий шартларни номаълум Лагранж кўпайтувчилари ёрдамида ҳисобга олиб, мақсад функциясини қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$F = \sum_{i=1}^{24} \left[ \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) + \sum_{j=1}^m \lambda_j Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) \right] \quad (18)$$

бу ерда  $\lambda_j$  –  $j$ -чи ГЭС учун сув сарфи бўйича, яъни (15) кўринишдаги чегаравий шартни ҳисобга олувчи номаълум Лагранж кўпайтувчиси.

Ушбу ҳолатда кўрилаётган масалани ечиш барча ИЭС ва ГЭСларнинг ҳар бир интервал бўйича барча чегаравий шартлар (11)-(14) лар бажарилган ҳолатида (18) функцияни минимуми таъминланадиган оптимал қийматларини топишдан иборат бўлади.

Шундай қилиб,  $\lambda_j$  ларнинг маълум қийматларида кўрилаётган масалани ечиш уни алоҳида вақт интерваллари учун математик модели мақсад функцияси (18) ва чегаравий шартлар (12)-(14) дан иборат бўлган оптималлаш масалаларини мустақил тарзда ечишга келтирилади. Бунда  $\lambda_j$  кўпайтувчиларнинг қийматларини аниқлаш қуйида таклиф этилган алгоритм бўйича амалга оширилади:

барча оптималлашда қатнашувчи ГЭСлар учун Лагранж кўпайтувчилари  $\lambda_j^{(0)}$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) нинг бошланғич қийматлари ўртача қийматлар усулида танланади. Биринчи итерация бажарилганидан сўнг агар ҳисоблаш жараёнининг яқинлашиш шарти

$$\left| \sum_{i=1}^{24} Q_{jt}(P_{jt}) - Q_{j^*} \right| \leq \varepsilon_{\Delta Q}, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (19)$$

бажарилмаган бўлса, ҳар бир ГЭС учун ушбу кўпайтувчиларнинг янги қийматлари  $\lambda_j^{(1)}$ , қуйидаги шарт ва ифодалар бўйича ҳисобланади:

$$\lambda_j^{(1)} = \begin{cases} \lambda_j^{(0)} + h_j^{(0)} \Delta \lambda_j & \text{агар } \Delta Q_j^{(0)} > 0, \\ \lambda_j^{(0)} - h_j^{(0)} \Delta \lambda_j & \text{агар } \Delta Q_j^{(0)} < 0, \end{cases} \quad (20)$$

бу ерда  $\Delta \lambda_j$  – кичик мусбат сон – кўпайтувчининг ўзгариши;  $h_j^{(0)} = 1$  – кейинги итерацияларда қийматлари ошириб бориловчи масштаб коэффициентлари.

Навбатдаги  $k$ -чи итерацияларда  $\lambda_j^{(k)}$  нинг қийматлари  $\Delta Q_j^{(k-1)}$  нинг ишораси олдинги итерациядагига нисбатан ўзгармаган ГЭСлар учун (яъни  $\Delta Q_j^{(k-1)} \cdot \Delta Q_j^{(k-2)} > 0$  бўлганда) (20) бўйича  $\lambda_j^{(0)}$ ,  $h_j^{(0)}$ ,  $\Delta Q_j^{(0)}$  ларнинг ўрнига мос ҳолда  $\lambda_j^{(k-1)}$ ,  $h_j^{(k-1)}$ ,  $\Delta Q_j^{(k-1)}$  ларни қўйиш орқали, унинг ишораси ўзгарган ГЭСлар учун (яъни  $\Delta Q_j^{(k-1)} \cdot \Delta Q_j^{(k-2)} < 0$  бўлганда) эса, кесувчилар усулида қуйидагича топилади:

$$\lambda_j^{(k)} = \lambda_j^{(k-1)} - \frac{\lambda_j^{(k-1)} - \lambda_j^{(k-2)}}{\Delta Q_j^{(k-1)} - \Delta Q_j^{(k-2)}} \cdot \Delta Q_j^{(k-1)}. \quad (21)$$

Хар қандай  $j$ -чи ГЭС учун кўпайтувчининг қиймати (21) формула бўйича ҳисобланганидан сўнг навбатдаги итерацияни бажаришда фойдаланиш учун масштаб коэффициентини  $h_j^{(k)}$  нинг қиймати қуйидагича аниқланали:

$$h_j^{(k)} = \frac{|\lambda_j^{(k)} - \lambda_j^{(k-1)}|}{2\Delta\lambda_j}. \quad (22)$$

Итерация жараёнининг боришини тезлаштириш учун  $\Delta Q_j^{(k-1)} \cdot \Delta Q_j^{(k-2)} > 0$  бўлган ҳолатларда масштаб коэффициентининг навбатдаги итерациядаги қиймати  $h_j^{(k)} = 1,3h_j^{(k-1)}$  формула бўйича ҳисоблаш орқали кетма-кет ошириб борилади.

Таклиф этилган математик модел ва оптималлаш алгоритмларининг самарадорлиги таркибида оптималлашда қатнашувчи 2 та ИЭС ва 2 та ГЭС мавжуд бўлган энергетика тизимининг юклама графигини оптимал қоплаш мисолида тадқиқ қилинди. Бунда ГЭСларда режिलाштирилаётган вақт давомида оптимал фойдаланилиши зарур бўлган ўртача сув сарфлари мос ҳолда 350 м<sup>3</sup>/с ва 200 м<sup>3</sup>/с ни ташкил этади. ГЭСда сув сарфи бўйича оптималлаш аниқлиги 0,5% қабул қилинди.

3-жадвалда ушбу масаланинг эталон оптимал ҳамда бу ерда таклиф этилган математик моделлар ва оптималлаш алгоритмдан фойдаланиш асосида олинган ечимларига мувофиқ ўртача сув сарфлари ва ИЭСларда умумий ёқилғи сарфлари келтирилган.

Бу ерда келтирилган натижаларни солиштириш асосида таклиф этилган математик моделлар адекват эканлиги ва оптималлашнинг генетик алгоритми

**3-жадвал**

Ўртача сув сарфи, $Q_{x,y.p.}$ , м <sup>3</sup> /соат		ИЭСларда умумий шартли ёқилғи сарфи, $B$ , т.ш.ё.
ГЭС-1	ГЭС-2	
Нисбий ўсишларнинг тенглиги усулида оптималлаш натижалари		
349,70	199,81	1823,78
Таклиф этилган биринчи математик модел ва генетик алгоритм бўйича оптималлаш натижалари		
351,45	200,64	1824,55
Таклиф этилган иккинчи математик модел ва генетик алгоритм бўйича оптималлаш натижалари		
349,86	199,43	1824,05

етарлича юқори даражадаги самарадорликка эга эканлигини кўрамиз.

Ушбу моделлар ва алгоритмларнинг характерли хусусиятларини баҳолаш асосида биринчи модел ва алгоритмни нисбатан кичик ва оптималлашда қатнашувчи станциялари сони кўп бўлмаган энергетика тизимлари, иккинчисини эса, катта ва мос ҳолда оптималлашда қатнашувчи станциялари сони кўп бўлган энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлашда

фойдаланиш тавсия этилади.

Диссертациянинг тўртинчи «**Электр станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини эволюцион алгоритмлар ёрдамида танлаш**» боби электр станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал

таркибини эволюцион алгоритмлар ёрдамида танлаш масалаларининг тадқиқига бағишланган.

Ҳозирги замон энергетика тизимларининг юклама графикларини юқори даражада нотекислиги юкломанинг камайиб бориш соатларда электр станцияларида ишловчи агрегатларнинг қувватларини камайтириш, баъзан эса уларнинг бир қисмини ўчириш, юкломанинг ошиб бориш соатларида эса, аксинча уларнинг қувватларини ошириш ёки олдин тўхтатилган агрегатларнинг бир қисмини ишга туширишни талаб этади. Бунга мос ҳолда электр станцияларида ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлаш масаласининг маъноси энергетика тизимининг бутун ишлаш цикли давомида умумий ёқилғи сарфини минимал бўлишини таъминлаш учун уларни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтини аниқлаш масаласига келтирилади.

Диссертация ишида станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлашнинг станцияларнинг умумлашган энергетик характеристикаларидан фойдаланишга асосланган самарали генетик алгоритми ишлаб чиқилди. Унга кўра режалаштирилаётган даврнинг ҳар бир интервалида станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлаш ушбу соатда тўхтатилувчи ёки ишга туширилувчи агрегатларни оптимал тарзда аниқлаш масаласига келтирилади.

Масаланинг қўйилишига кўра умумий ҳолатда энергетика тизимида  $T$  ростлаш цикли давомида ёқилғи сарфи билан боғлиқ бўлган умумий харажатлар функцияси минималлаштирилади:

$$F = \sum_{t=1}^{n_T} \sum_{i=1}^n [B_{it}(P_{it}, c_{it}) + B_{it}^{\Pi}(\tau_{it}, c_{it})], \quad (23)$$

бу ерда  $n$  – оптималлашда қатнашувчи ИЭСлар сони;  $n_T$  – кўрилаётган ростлаш цикли  $T$  да ҳисоблаш интервалларининг сони;  $P_{it}$ ,  $B_{it}$  –  $i$  – ИЭСда  $t$  – интервалдаги юклама ва ёқилғи харажатлари;  $c_{it}$  –  $i$ -чи ИЭСда вақтнинг  $t$ -чи интервалида ишловчи агрегатларнинг таркиби;  $\tau_{it}$  –  $i$ -чи ИЭСда вақтнинг  $t$ -чи интервалида ишга туширилувчи агрегатнинг тўхтаб туриш вақти;  $B_{it}^{\Pi}$  –  $i$ -ИЭСда  $\tau_{it}$  вақт давомида тўхтаб турган агрегатни ишга туширишга сафланувчи ёқилғи харажатлари. Бу ерда, шунингдек  $B_{it}^{\Pi}$  ўз ичига агрегатни ҳар бир ишга туширишда ресурсининг камайиши ҳисобига ишлаш муддатининг камайиши билан боғлиқ бўлган харажатларни ҳам олади.  $\tau_{it} \leq 20$  соат бўлганда ишга тушириш харажатлари функциясини тахминан координата бошидан ўтувчи тўғри чизик кўринишида ифодалаш мумкин.

Бундай ҳолатда юқоридаги мақсад функциясида  $\tau_{it}$  умумий кўпайтувчи бўлиб қолганлиги сабабли мақсад функцияси қуйидаги кўринишни олади:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i, c_i) \rightarrow \min \quad (24)$$

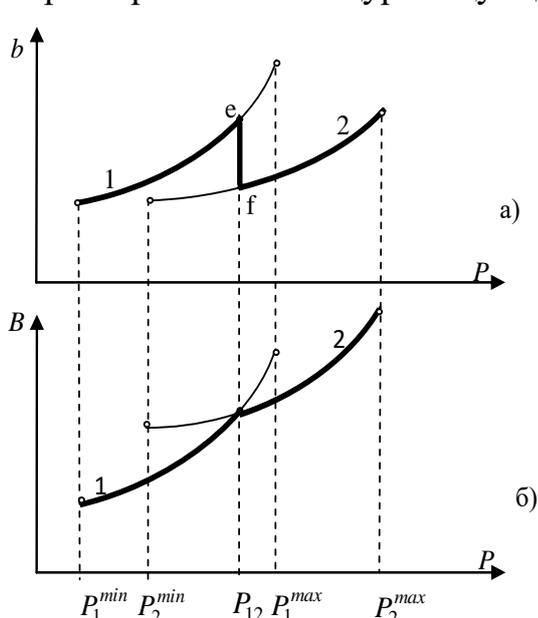
Мақсад функцияси (24) ни минималлаштириш бир вақтда ишга туширилувчи агрегатларнинг сони, станциянинг қувватни ошириш тезлиги, энергетика тизимида актив қувват баланси, оптималлашда қатнашувчи станцияларнинг чегаравий қувватлари, назорат қилиб турилувчи линияларда

қувват оқимлари бўйича чегаравий шартларни ҳисобга олиб амалга оширилади.

Таклиф қилинаётган ушбу алгоритмда бутун сонли дастурлаш масаласини ечиш уни узлуксиз дастурлаш масаласига келтириш орқали амалга оширилади. У иккита босқичдан иборат. Биринчи босқичда ҳар бир станция учун унда мазкур вақт интервалида ишлаши мумкин бўлган барча агрегатлар таркиби учун харажатларнинг нисбий ўсиш характеристикалари қурилади. Сўнгра алоҳида агрегатлар учун характеристикалардан навбатдагисига ўтиш қувватлари аниқланади. Бунда, агар навбатдаги агрегатлар таркибига ўтишда бирор агрегатни ишга тушириш кўзда тутилса, уни ишга тушириш билан боғлиқ сарф харажатлар ҳам эътиборга олинади.

Станциянинг бундай амалларни бажариш натижасида ҳосил бўлувчи нисбий ўсиш характеристикалари умумий ҳолатда аррасиман шаклга эга бўлиб, улар умумлашган энергетик характеристикалар деб юритилади.

Умумлашган нисбий ўсиш характеристикаси (НЎХ) ва сарф характеристикасини қуриш қуйидаги тартибда амалга оширилади.



2- расм. ИЭСнинг умумлашган нисбий ўсишлар (а) ва сарф (б) характеристикаларини қуриш

2-расмда кўриб ўтилаётган ҳолат учун ушбу тартибда қурилган умумлашган нисбий ўсишлар (2, а-расм, 1 ва 2 эгри чизиклар) ва сарф характеристикалари (2, б-расм, 1' ва 2' эгри чизиклар) қалин чизиклар билан кўрсатилган.

Шундай қилиб, электр станциясининг ростлаш диапазони учун бир агрегатлар таркибидан кейингисига ўтишнинг барча нукталари ва мос ҳолда ҳар бир агрегатлар таркибининг ишлаш зонаси аниқланади.

Ушбу тартибда ҳосил бўлувчи умумлашган нисбий ўсишлар характеристикаси аррасимон кўринишга эга бўлади. Натижада бундай характеристикалардан бевосита

фойдаланишга асосланувчи оптималлаш масаласи кўп экстремумли бўлиб қолиб, уни анъанавий усул ва алгоритмлар асосида ечиш янада мураккаблашади. Бундай қийинчиликлар таклиф этилган алгоритмга мувофиқ масалани ечишнинг иккинчи босқичида, яъни ҳосил бўлган масалани генетик алгоритм ёрдамида ечиш орқали осон енгиб ўтилади.

Шундай қилиб, иккинчи босқичда энергетика тизимининг юкламаси барча чегаравий шартларни ҳисобга олиб, умумлашган энергетик характеристикалар бўйича станциялар ўртасида генетик алгоритм ёрдамида оптимал тақсимланади. Бу босқичда станцияларнинг оптимал қувватлари ва уларнинг аррасимон умумлашган энергетик характеристикалари бўйича ишловчи агрегатларининг оптимал таркиби аниқланади. Ушбу алгоритмдан

фойдаланилганда станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибида уларнинг оптимал кувватларини қайта аниқлаш талаб этилмайди.

Таклиф этилган алгоритмнинг самарадорлиги, жумладан, энергетика тизимининг суткалик юклама графигини мос ҳолда 5 та, 12 та ва 7 та бир типдаги агрегатларга эга бўлган ИЭСлар ёрдамида оптимал қоплашда сутка давомида уларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлаш мисолида тадқиқ қилинди. 4-жадвалда ушбу масалани умумлашган энергетик характеристикадан фойдаланиш орқали анъанавий усулда ва бу ерда таклиф этилган генетик алгоритм ёрдамида ечишда сутканинг айрим характерли вақт интерваллари учун ҳосил бўлган оптимал натижалар келтирилган.

**4-жадвал**

**ИЭСларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркиби анъанавий ва таклиф этилган алгоритмлар ёрдамида танлаш натижалари**

t, с.	ИЭС-1		ИЭС-2		ИЭС-3		t-интервалда- ги суммавий сарф тавсифи, т.ш.ё./с.
	Ишлаётган агрегатлар- нинг сони	P, МВт	Ишлаётган агрегатлар- нинг сони	P, МВт	Ишлаётган агрегатлар- нинг сони	P, МВт	
а) анъанавий алгоритм бўйича оптималлаш натижалари							
1	3	630	6	920	7	2100	1185,9
2	3	630	6	770	7	2100	1135,8
3	3	630	6	720	7	2100	1119,1
4	3	630	6	820	7	2100	1152,5
5	3	630	6	920	7	2100	1185,9
6	4	840	6	860	7	2100	1235,6
14	4	840	6	960	7	2100	1269,0
б) таклиф этилган генетик алгоритм бўйича оптималлаш натижалари							
1	5	1049	4	501	7	2100	1182,6
2	5	1050	3	350	7	2100	1131,3
3	5	1049	2	301	7	2100	1113,3
4	5	1049	3	401	7	2100	1148,0
5	5	1049	4	501	7	2100	1182,6
6	5	1049	5	651	7	2100	1234,0
14	5	1050	5	750	7	2100	1267,4

Натижаларни солиштириш асосида сутканинг ушбу характерли соатларда ИЭС-1 ва ИЭС-2 да ишловчи агрегатларнинг оптимал таркиблари фарқ қилишларини ва бунга мос ҳолда таклиф этилган алгоритмда аниқликнинг катталиги ҳисобига шартли ёқилғи сарфи бўйича эришилувчи қўшимча иқтисодий самара 0,14%-0,52% эканлигини кўрамиз. Бу таклиф этилган генетик алгоритмнинг юқори даражада самарали эканлигини белгилайди.

## ХУЛОСА

«Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини эволюцион алгоритмлар ёрдамида оптималлаштириш» диссертацияси доирасида олиб борилган илмий тадқиқотлар натижаларига кўра қуйидаги хулосалар келтирилган:

1. Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштиришнинг мавжуд анъанавий усулларини тадқиқ қилиш асосида электр станцияларнинг реал энергетик характеристикаларидан фойдаланиш ва турли чегаравий шартларни самарали ҳисобга олиш имкониятига эга бўлган усул ва алгоритмларни яратишнинг долзарб масала эканлиги аниқланди.

2. Энергетика тизимларининг ҳолатларини тенглик кўринишидаги чегаравий шартларни боғлиқ бўлган параметрларини ажратиш орқали ва уларнинг қийматлари бўйича чегаравий шартларни жарима функцияси ёрдамида ҳисобга олиб оптималлашнинг эволюцион алгоритми ишлаб чиқилди. Натижада оптималлашда қатнашувчи станцияларнинг реал энергетик характеристикалари бўйича оптимал қувватларини аниқлаш асосида кўшимча 1% гача иқтисодий самарага эришилди.

3. Энергетика тизимларининг ҳолатларини тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни жарима функцияси ёрдамида ҳисобга олиб оптималлашнинг математик модели ва эволюцион алгоритми таклиф этилди. ИЭСларда шартли ёқилғи сарфи билан боғлиқ бўлган умумий кўшимча харажатлар 0,1% дан ошмайдиган катта аниқликдаги оптимал натижани ишончли тарзда олиш имкони яратилди.

4. Таркибида ИЭС, ГЭС ва ҚТЭМда ишловчи электр станциялари мавжуд бўлган энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини вақт интервалларига ажратмасдан оптимал режалаштириш масаласининг математик модели ва уни ечишнинг эволюцион алгоритми ишлаб чиқилди. Ушбу алгоритм катта бўлмаган энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини оптимал режалаштиришда талаб этилган вақт давомида руҳсат этилган соҳада ИЭСларда шартли ёқилғи сарфи билан боғлиқ бўлган умумий кўшимча харажатлар 0,1% дан ошмайдиган катта аниқликдаги оптимал натижани ишончли тарзда аниқлаш имконини беради.

5. Таркибида ИЭС, ГЭС ва ҚТЭМда ишловчи электр станциялари мавжуд бўлган энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини вақт интервалларига ажратиш ва бунда Лагранж купайтувчиларини таклиф

этилган комбинацияланган усулда аниқлаш асосида оптимал режалаштиришнинг математик модели ва эволюцион алгоритми ишлаб чиқилди. Ушбу модел ва алгоритм катта энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини катта аниқликда оптималлашда самарали ҳисобланади.

6. Энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатларини режалаштиришда станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини танлашнинг эволюцион алгоритми таклиф этилди. Ушбу алгоритм асосида оптималлашда аниқликнинг ошиши ҳисобига иқтисодий самарадорлик 0,14-0,52 % га ошиши аниқланди.

7. Диссертация иши доирасида олинган натижалар Ўзбекистон Республикаси электр энергетика тизимининг суткалик ҳолатини оптималлаштириш масаласини ечишда жорий этилди. Ишлаб чиқилган эволюцион алгоритмни қўллаш натижасида олинган иқтисодий самара 224,48 млн. сўмни ташкил этди.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ПУЛАТОВ БЕХЗОД МАННОРОВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ЭВОЛЮЦИОННЫМИ АЛГОРИТМАМИ**

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

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

**Ташкент – 2022**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистана за В2019.2.PhD/T1152**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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 «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Гайибов Тулкин Шерназарович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Таслимов Абдурахим Дехканович**  
доктор технических наук, профессор

**Хамидов Шухрат Вахидович**  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Ташкентский государственный  
транспортный университет**

Защита диссертации состоится 23 08 2022 года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. Адрес: 100095, г. Ташкент ул. Университетская 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32 e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 267). Адрес 100095, г.Ташкент, ул. Университетская 2. Тел. (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан 04 08 2022 года.  
(реестр протокола рассылки № 4 от 03 08 2022 года.



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

**О.Х. Ишпазаров**  
Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

**Ф.А. Хашимов**  
Заместитель председателя Научного семинара  
при научном совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире оптимальное планирование режимов электроэнергетических систем с высокой точностью с учетом влияющих и ограничивающих факторов является одной из актуальных задач. В настоящее время в развитых странах «...определена возможность снижения затрат по расходу топлива до 1 % при оптимизации режимов энергосистем генетическим алгоритмом относительно традиционных методов»<sup>1</sup>. В связи с этим, для оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем особое внимание уделяется использованию эволюционных алгоритмов и электропотребления нагрузочных узлов.

В мире ведутся научные исследования по развитию методов и алгоритмов планирования режимов энергосистем с возможностью выявления ошибок, возникающих под воздействием различных факторов и применению мер по их устранению. В этом направлении, в частности, приоритетными являются научные исследования по разработке эффективных алгоритмов оптимизации режимов энергосистем с использованием реальных энергетических характеристик электростанций, задаваемых обычно в табличном виде и имеющих кусочно-линейный характер. В связи с этим анализ положения в этом направлении показывает, что существующие методы и алгоритмы решения данной задачи ещё не достигли своего совершенства. Поэтому разработки эффективных методов и алгоритмов оптимизации режимов электроэнергетических систем с учетом всех режимных и технологических ограничений считаются актуальными задачами.

В нашей республике принимаются масштабные меры по надежному обеспечению потребителей качественной электроэнергией с минимальными затратами, а также созданию, совершенствованию и внедрению новых технологических решений в соответствии с современными требованиями. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы указано на решение таких задач, как: «Принять меры по повышению до 2026 года на 20 процентов энергоэффективность экономики путем активного внедрения технологий «Зеленой экономики»...»<sup>2</sup>.

При выполнении этих задач, в частности, разработки и реализации мероприятий по применению технологий искусственного интеллекта при производстве энергоресурсов и прогнозировании их потребления, оптимизации режимов технологического оборудования, разработке методов управления электроэнергией на основе современных методов важно проводить соответствующие научные исследования.

---

<sup>1</sup> <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6523>

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № ПП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы». <https://lex.uz/docs/5841077>

Указ Президента Республики Узбекистан №ПП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 г. № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и № ПП-4996 от 17 февраля 2021г. «О мерах по созданию условий для ускоренного внедрения технологий искусственного интеллекта», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике.** Исследования по диссертационной работе выполнены в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистана II. «Энергетика, энерго-ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования в направлении развития методов и алгоритмов оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем, в том числе использования эволюционных алгоритмов при их решении ведутся в ряде ведущих научных центров и высших образовательных учреждений мира, в том числе, в University California (США), New Jersey University (США), Polytechnic University Milan (Италия), University of Limburg in Maastricht (Бельгия), Mersin University (Турция), Tallinn University of technology (Эстония), Tokyo Metropolitan University (Япония), South China University of Technology (Китай), Aswan University (Египет), Western Australia University (Австралия), Институте систем энергетики имени Мелентьева (ИСЭМ, Россия), Новосибирском техническом университете (Россия), Уральском техническом университете (УПИ, Россия), Всероссийском научно-исследовательском институте электроэнергетики (ВНИИЭ) (Россия), Национальном исследовательском университете (МЭИ, Россия), Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан), Институт проблем энергетики (Узбекистан), ООО «Узэнергоцентр» (Узбекистан) и др.

Разработкой методов и алгоритмов оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем, в том числе с применением эволюционных алгоритмов, занимались известные зарубежные ученые: Holland J.H, David W., Shuya Li, Braspenning, P.J.,Coit, Yokoyama R., Yurievich J., Zhu J.,Valdma M., Tammoja H., Liik O., Xinjie Yu., Colorni A., Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Воропай Н.И., Горнштейн В.М., Цветков Е.В., Семенов В.А., Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Крумм Л. А., Гамм А.З., Мисриханов М.Ш., Манусов В.З., Павлюченко Д.А., Швыров И.В. и другие.

Известные ученые Узбекистана занимаются решением научных задач, оптимизации режимов энергосистем с учетом всех влияющих и ограничивающих факторов, а также разработкой методов и алгоритмов прогнозирования режимов. Среди них: Фазилов Х.Ф., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Юлдашев Х.Ю., Ситдииков Р.А., Гайибов Т.Ш., Хамидов Ш.В., Соколов В.К., Шарипов У.Б., Шакиров З.Ш. и другие. В результате научных

исследований достигнуты значительные успехи в решении задач оптимизации режимов энергосистем.

Вместе с этим вопросы оптимизации режимов энергосистем с использованием эволюционных алгоритмов оптимизации с учетом всех влияющих и ограничивающих факторов, основанных на использовании реальных энергетических характеристик станций, изучены недостаточно.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов в Ташкентском государственном техническом университете по прикладным проектам ИТД-3-128 «Минимизация потерь при передаче электроэнергии по основным электрическим сетям Республики Узбекистан оптимизацией реактивных мощностей источников и коэффициентов трансформации трансформаторов» (2012-2014), А-3-96 «Оптимальное управление нагрузкой электропотребителей энергосистемы Республики Узбекистан» (2015-2017) и «Разработка современных методов расчета, анализа и автоматического управления оптимальными режимами, переходными процессами и качеством энергосистем» (2017-2021).

**Цель исследования.** Разработка эволюционных алгоритмов и математических моделей оптимизации режимов энергосистем на основе использования реальных энергетических характеристик станций с учетом режимных и технологических ограничений в виде равенств и неравенств.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

исследование и совершенствование возможности использования эволюционных алгоритмов в оптимизации режимов энергетической системы;

изучение и совершенствование возможности учета ограничивающих и влияющих факторов при оптимизации режимов энергетических систем с использованием эволюционных алгоритмов;

исследование и развитие методов оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем, имеющих в своем составе тепловые электростанции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС) и станции, работающие на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ);

исследование и усовершенствование возможности использования эволюционных алгоритмов оптимизации состава работающих агрегатов в электрических станциях.

**Объектом исследования** оптимальные режимы сложных электроэнергетических систем, имеющих в своем составе регулируемые тепловые и гидроэлектростанции, линии электропередачи с контролируемыми перетоками мощности.

**Предметом исследования** являются методы и алгоритмы, а также математические модели решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов сложных электроэнергетических систем, имеющих в своем составе регулируемые тепловые и гидроэлектростанции, с учетом

ограничений по допустимой мощности станций, перетокам мощности на контролируемых линиях, расходу воды на ГЭС.

**Методы исследования** основываются на теории расчета и оптимизации установившихся режимов электроэнергетических систем, линейного и нелинейного программирования, методах искусственного интеллекта, системного анализа и математической статистики, эволюционных алгоритмах.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан эволюционный алгоритм оптимизации режимов энергосистем, основанный на непосредственном использовании реальных энергетических характеристик станций;

создана методика учета функциональных ограничений в виде равенств и неравенств при оптимизации режимов энергосистем эволюционными алгоритмами;

разработана математическая модель и эволюционные алгоритмы оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, имеющих в своем составе ТЭС, ГЭС и электростанции, работающие на ВИЭ, без разделения и с разделением рассматриваемого периода на временные интервалы;

разработан эволюционный алгоритм выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций на основе использования их обобщенных энергетических характеристик при планировании режимов энергосистем.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработаны генетические алгоритмы и программы для ЭВМ, используемые для оптимизации режимов энергосистем с учетом нелинейных функциональных ограничений в виде равенств и неравенств методами штрафных функций;

разработаны генетические алгоритмы и программы для ЭВМ для оптимизации краткосрочных режимов энергосистем, содержащих ТЭС, ГЭС и станций, работающих на ВИЭ с учетом всех режимных и технологических ограничений;

разработаны эволюционный алгоритм и программа для ЭВМ для выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций.

**Достоверность результатов исследования** обоснована результатами многочисленных экспериментальных расчетов, выполненных на основе использования современной теории оптимизации, методов численного, линейного и нелинейного математического программирования, математической статистики, системного анализа, алгоритмов искусственного интеллекта, современных вычислительных средств и методов исследования.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость полученных результатов характеризуется разработанными математическими моделями, методами и алгоритмами, позволяющими оптимально планировать краткосрочные режимы

энергосистем по реальным энергетическим характеристикам станций с учетом всех режимных и технологических ограничений.

Практическая значимость результатов характеризуется созданными алгоритмами и программными средствами, которые могут быть использованы для оптимизации режимов энергосистем с учетом линейных и нелинейных ограничений в виде равенств и неравенств штрафными функциями; оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, содержащих различные электростанции; выбора оптимального состава работающих агрегатов при планировании краткосрочных режимов энергосистем.

**Внедрение результатов исследования.** На основе предложенных математических моделей и разработанных методик оптимизации режимов энергосистем с учетом влияющих и ограничивающих факторов:

эволюционный алгоритм оптимизации режимов энергосистем, внедрен в Национальном диспетчерском центре АО «Национальные электрические сети Узбекистана» для оптимизации суточного режима работы энергосистемы (справка № 01-02-16/636 от 21 февраля 2022 года АО «Национальные электрические сети Узбекистана»). В результате расход условного топлива на тепловых электростанциях снижен на 16,398 тонн в сутки;

эволюционный алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом всех режимных и технологических ограничений внедрен в Национальном диспетчерском центре АО «Национальные электрические сети Узбекистана» для оптимизации режима энергосистемы в зимнем сезоне (справка № 01-02-16/636 от 21 февраля 2022 года АО «Национальные электрические сети Узбекистана»). В результате за зимний период сэкономлено 1065,87 тонн условного топлива;

эволюционный алгоритм оптимизации режимов электроэнергетических систем внедрен в Национальном диспетчерском центре АО «Национальные электрические сети Узбекистана» для минимизации топливных издержек за счет оптимального планирования режима работы энергосистемы за зимний период года (справка № 01-02-16/636 от 21 февраля 2022 года АО «Национальные электрические сети Узбекистана»). В результате за счет минимизации суммарного расхода условного топлива в энергосистеме получен экономический эффект в размере 224,48 млн. сумов.

**Апробация результатов исследований.** Результаты исследования прошли апробацию на 19 научно-практических конференциях, в том числе на 14 международных (4 статьи в научных конференциях, включенных в базу данных Scopus), и 5 на республиканских научных и научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследований.** Всего по теме диссертации опубликовано 25 научных работ. Из них 1 статья в зарубежном журнале, 1 статья в республиканском журнале, 4 статьи в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских

(PhD) диссертаций, в том числе 3 в республиканских и 1 в зарубежном журналах, а также два программных продукта, которые зарегистрированы в Агентстве интеллектуальной собственности РУз, получены сертификаты.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 150 страниц, основной текст 119 страниц, приложения на 31 странице.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **введении** приводятся обоснование актуальности и востребованности диссертационного исследования, цели и задач исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики Узбекистан. Здесь также приведены научная новизна, научное и практическое значение исследования, сведения о внедрении и публикации научных результатов и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Эволюционные методы решения задач оптимизации**» рассмотрена проблема одновременной комплексной оптимизации краткосрочных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) по всем переменным. Показана целесообразность решения задач оптимизации по активной мощности и оптимизации режимов сети посредством декомпозиции. Анализируются традиционные и эволюционные методы и алгоритмы оптимизации режимов энергосистем.

Существующие традиционные методы оптимизации режимов энергосистем, как правило, основаны на использовании квадратичных расходных характеристиках электростанций, получаемых аппроксимацией их реальных характеристик. Такие характеристики в свою очередь снижают эффективность оптимизации за счет снижения точности расчетов. При использовании реальных энергетических характеристиках станций, которые обычно задаются в табличной форме, получение оптимального решения задачи в общем случае не гарантируется. Кроме того, для традиционных методов характерны также некоторые трудности, связанные с учетом функциональных ограничений в виде неравенств. Использование эволюционных алгоритмов в оптимизации для преодоления таких проблем имеет особое значение. Они могут принимать участие при решении многоэкстремальных задач для определения глобального экстремума, а также в условиях целевой функции, имеющей разрывы непрерывностей.

В диссертационной работе проанализирована эффективность генетических, пчелиных и муравьиных алгоритмов, входящих в состав эволюционных алгоритмов, а также изучена их эффективность в решении задач оптимизации режимов энергетических систем. Результаты исследования показали, что использование пчелиных и муравьиных алгоритмов не гарантирует получения результата с достаточной точностью при наличии ограничений разного характера. Выяснилось, что полученные

результаты частично различались в зависимости от положения точки, взятой за начальное приближение. Поэтому их можно использовать для определения приближенного оптимального режима энергосистемы, например, при решении задач оперативного управления.

Вторая глава диссертации «**Оптимальное распределение нагрузки энергосистемы между электростанциями эволюционными алгоритмами**» посвящена исследованиям эффективности методов оптимального распределения нагрузки энергосистемы между тепловыми электростанциями с учетом функциональных ограничений в виде равенств и неравенств.

Показано, что оптимизация режимов энергосистем традиционными методами с использованием расходных характеристик станций, получаемых на основе аппроксимации реальных энергетических характеристик станций, в общем случае приводит к значительной погрешности и, соответственно, к дополнительным экономическим затратам. Экспериментальные расчеты выполнены на примере стандартной тестовой схемы из 30 узлов IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers). В 6 узлах этой схемы находятся участвующие в оптимизации тепловые станции, каждая из которых имеет кусочно-квадратичную стоимостную характеристику, состоящую из трех частей и связанную с расходом топлива. Суммарные нагрузки энергосистемы  $P_n = 150$  МВт, 200 МВт и 250 МВт были распределены между этими станциями методом равенства относительных приростов на основе использования заданных реальных энергетических характеристик и традиционного метода Ньютона с использованием стоимостных характеристик, полученных аппроксимацией одной квадратичной функцией. Результаты такой оптимизации, представленные в табл. 1, показывают, что дополнительные затраты, связанные с ошибкой из-за использования аппроксимированных характеристик, значительно возрастают с увеличением общей нагрузки.

Оптимизация режимов энергосистем методом равенства относительных

**Таблица 1**

$P_n$ , МВт	150,0	200,0	250,0
Результаты оптимизации методом равенства относительных приростов			
$B$ , \$/коат	393,55	573,26	800,80
Результаты оптимизации методом Ньютона			
$B$ , \$/коат	394,62	578,89	808,17
Дополнительные затраты, связанные с погрешностью			
$\Delta B$ , %	0,27	0,98	0,92

приростов в общем случае связана с проблемами учета нелинейных функциональных ограничений в виде равенств и неравенств. Такие трудности можно преодолеть, применяя генетические алгоритмы при решении задачи.

При оптимизации режимов энергосистемы с учетом потерь в сетях ограничения в виде равенства

по балансу активной мощности в энергосистеме, а также, в общем случае, ограничения по потокам мощностей в контролируемых линиях электропередачи имеют нелинейный характер.

В этих условиях для использования генетического алгоритма оптимизации такие ограничения могут быть учтены особыми методами.

Рассматриваемую задачу математически можно сформулировать следующим образом:

Минимизировать функцию суммарных топливных издержек в тепловых электростанциях (ТЭС):

$$B = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

с учетом ограничений по балансу мощности в энергосистеме:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_n + \pi, \quad (2)$$

минимальным и максимальным возможным мощностям станций:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

минимальным и максимальным возможным перетоком мощностей в контролируемых линиях электропередачи (ЛЭП):

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L. \quad (4)$$

В данной главе предложены соответствующие математические модели и генетические алгоритмы решения задачи оптимизации режимов энергосистем с учетом нелинейного ограничения (2) штрафной функции и выделением балансирующей станции.

По первому алгоритму при отсутствии ограничения (4) задача сводится к следующему виду и далее решается генетическим алгоритмом:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + Ш \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где штрафная функция имеет следующий вид:  $Ш = \alpha(\sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi)^2$ ;  $\pi$  – суммарные потери активной мощности в электрической сети, которые являются нелинейными функциями неизвестных активных мощностей станций;  $\alpha$  – весовой коэффициент.

По второму алгоритму нелинейное ограничение в виде равенства по балансу активной мощности в энергосистеме (2) учитывается выделением балансирующей станции. При этом если, например, в качестве балансирующей станции принимаем ТЭС-1, то ее мощность определяется следующим образом:

$$P_1 = P_n + \pi - \sum_{i=2}^n P_i. \quad (6)$$

В таком случае, поскольку мощность балансирующей станции переводится в разряд зависимых переменных, ограничения по минимальным и максимальным граничным допустимым мощностям этой станции учитываются штрафными функциями в следующей форме:

$$Ш_{\max} = \alpha e^{\beta(P_1 - P_1^{\max})}, \quad Ш_{\min} = \alpha e^{\beta(-P_1 + P_1^{\min})}, \quad (7)$$

где  $\alpha, \beta$  – весовые (штрафные) коэффициенты.

В этом случае решение задачи сводится к минимизации функции

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + Ш_{\max} + Ш_{\min} \rightarrow \min \quad (8)$$

генетическим алгоритмом с учетом ограничений (3).

Таким образом, расчеты по генетическому алгоритму при оптимальном распределении нагрузки энергосистемы между электростанциями с учетом нелинейных ограничений в виде равенств по балансу активной мощности имеют следующую последовательность:

- 1) Принятие вероятности скрещивания и мутации;
- 2) Формирование набора начальных точек (хромосом) исходной популяции, определяемых начальными значениями мощности станций, участвующих в оптимизации;
- 3) Проверка выполнения условий завершения расчета. В случае выполнения этого условия осуществляется выбор наилучшего варианта решения на основе сравнения результатов по всем точкам (вариантам решения) в популяции. В противном случае осуществляется переход к следующему пункту 4;
- 4) Определение степени соответствия каждого из вариантов решения (расчет значений целевой функции для каждой точки по (5) или (8));
- 5) Формирование новой популяции путем случайного выбора пар вариантов решения с учетом значений целевой функции и их скрещивание с принятой вероятностью;
- 6) Выполнение мутации с принятой вероятностью для некоторых вариантов решения популяции;
- 7) Переход к пункту 3.

При выполнении пункта 4 в данном алгоритме расходы топлива в ТЭС вычисляются на основе численного интегрирования их характеристик относительных приростов, задаваемых обычно в табличном виде.

Эффективность описанного алгоритма исследована, в частности, на примере оптимального распределения нагрузок сложной энергосистемы между 4-мя ТЭС с заданными в табличном виде характеристиками относительных приростов расхода условного топлива. Результаты показали: дополнительный экономический эффект за счет повышения точности при оптимизации по реальным разрывным энергетическим характеристикам станций может достигать до 1%.

Традиционные алгоритмы оптимизации режимов энергосистем с учетом функциональных ограничений в виде неравенства в основном предполагают использование штрафной функции квадратичной формы. Хотя такие штрафные функции удобны в вычислительном отношении для традиционных алгоритмов, они создают дополнительные трудности при оптимизации генетическим алгоритмом. Это связано, в основном, с адаптированностью квадратичных штрафных функций для учета ограничений в виде равенств. А в условиях функциональных ограничений в виде неравенств использование такой формы штрафной функции предусматривает искусственную проверку выполнения ограничения перед

выполнением каждой итерации и решения вопроса учета её на следующей итерации. При наличии множества функциональных ограничений в виде неравенств такой алгоритм может привести к ухудшению сходимости итеративного процесса. С учетом этих аспектов в диссертации предложены математическая модель и генетический алгоритм оптимизации с учетом функциональных ограничений в виде неравенств с использованием штрафной функции в экспоненциальной форме. В этом случае штрафная функция, учитывающая ограничения в виде (4), выражается следующим образом:

$$Ш_l = \alpha \left( e^{\beta(-P_l + P_l^{\min})} + e^{\beta(P_l - P_l^{\max})} \right). \quad (9)$$

На рис. 1 представлены графики этой штрафной функции при различных значениях весовых коэффициентов.

Таким образом, согласно предложенной математической модели и генетическому алгоритму, минимизируется целевая функция:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + Ш_{\max} + Ш_{\min} + \sum_{l=1}^{L_p} Ш_l \rightarrow \min \quad (10)$$

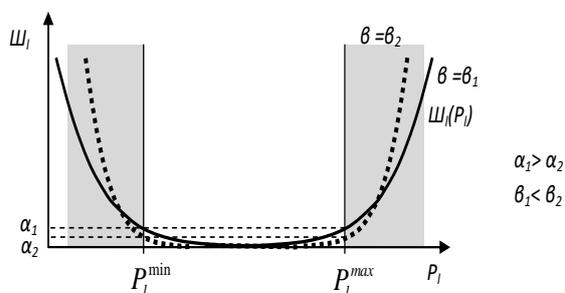


Рис. 1. Графики штрафной функции с учетом граничного условия в виде (4)

с учетом простых ограничений (3) для мощностей всех станций (кроме одной балансирующей).

На каждой итерации мощность балансирующей станции рассчитывается по (6). В (10) штрафные функции представляются в виде (7) и (9), соответственно.

Эффективность разработанных математической модели и алгоритма исследована на примере оптимизации режимов энергосистемы с учетом ограничений по потокам мощностей в трех контролируемых линиях электропередачи (ЛЭП) ( $P_{6-3} \leq 575$  МВт,  $P_{6-5} \leq 200$  МВт,  $P_{0-3} \leq 75$  МВт). В табл. 2 приведены результаты оптимизации методом покоординатного спуска и предложенным генетическим алгоритмом. Их практическое совпадение свидетельствует об адекватности разработанной модели и высокой эффективности предложенного алгоритма.

Таблица 2

Результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом функциональных ограничений в виде неравенств

$P_0$ , МВт	$P_1$ , МВт	$P_6$ , МВт	$P_7$ , МВт	$P_{6-3}$ , МВт	$P_{6-5}$ , МВт	$P_{0-3}$ , МВт	В, т.у.т./ч.
325,26	92,00	787,64	495,10	575,00	156,14	75,00	535,05
325,33	92,00	787,87	494,80	574,99	157,09	74,98	535,11

В третьей главе диссертации «Оптимизация режимов энергосистем, имеющих в своем составе станции с ограниченными запасами энергоресурсов, эволюционными алгоритмами» исследованы вопросы оптимального планирования краткосрочных (суточных) режимов

энергосистем, содержащих в своем составе расчетные ТЭС, ГЭС и станции, работающие на ВИЭ, эволюционными алгоритмами. При наличии в энергосистеме  $n$  ТЭС,  $m$  ГЭС, участвующих в оптимизации, и станций, работающих на ВИЭ и не имеющих аккумуляторные батареи, задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом.

Минимизировать функцию суммарных топливных издержек в ИЭС за сутки:

$$B = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) \rightarrow \min, \quad (11)$$

с учетом ограничений:

по балансу активной мощности в энергосистеме:

$$\sum_{i=1}^n P_{it} + \sum_{j=1}^m P_{jt} = P_{nt} + \pi_t - P_{ВИЭt}, \quad t = 1, 2, \dots, 24; \quad (12)$$

по минимальным и максимальным допустимым предельным мощностям станций:

$$\begin{aligned} P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, 24, \\ P_{jt}^{\min} \leq P_{jt} \leq P_{jt}^{\max}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad t = 1, 2, \dots, 24. \end{aligned} \quad (13)$$

по минимальным и максимальным допустимым потокам мощности в контролируемых ЛЭП:

$$P_{lt}^{\min} \leq P_{lt} \leq P_{lt}^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, L_p, \quad t = 1, 2, \dots, 24; \quad (14)$$

по суточному расходу воды ГЭС, участвующих в оптимизации:

$$\Delta Q_j = \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{jз} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

Здесь  $P_{it}$ ,  $P_{jt}$  – активные мощности  $i$ -й ТЭС и  $j$ -й ГЭС в  $t$ -м часе суток;  $P_{nt}$  – суммарная активная нагрузка потребителей энергосистемы в  $t$ -м часе суток;  $\pi_t$  – суммарные потери активной мощности в электрических сетях в  $t$ -м часе суток;  $P_{it}^{\min}$ ,  $P_{jt}^{\min}$ ,  $P_{it}^{\max}$ ,  $P_{jt}^{\max}$  – минимально и максимально допустимые мощности  $i$ -й ТЭС и  $j$ -й ГЭС в  $t$ -м часу суток (при оптимальных составах работающих агрегатов на электростанциях);  $P_{ВИЭ,t}$  – суммарная мощность станций, работающих на возобновляемых источниках энергии;  $P_{lt}$ ,  $P_{lt}^{\min}$ ,  $P_{lt}^{\max}$  – поток активной мощности по  $l$ -й контролируемой линии в  $t$ -м часе суток и его допустимые минимальные и максимальные значения;  $H_{jt}$ ,  $Q_{jt}$  – напор и расход воды на  $j$ -й ГЭС в  $t$ -м часу суток;  $Q_{jз}$  – заданное количество воды  $j$ -й ГЭС, которую необходимо оптимально израсходовать в течение суток.

В настоящее время несмотря на существование ряда методов и алгоритмов решения данной задачи, нельзя их считать совершенными. Многие недостатки связаны с табличным представлением реальных энергетических характеристик станций и с учетом интегральных ограничений по расходу воды ГЭС за сутки. Для преодоления таких проблем в диссертации разработаны математическая модель и генетические алгоритмы решения задачи, основанные на оптимизации без деления и с делением периода планирования на временные интервалы.

По первому алгоритму, учитывая ограничения по минимально и максимально возможным мощностям балансирующей станции штрафной функцией в виде (7), ограничений (14) штрафной функцией в виде (9), ограничений (15) квадратичной штрафной функцией:

$$Ш_j = \gamma(\Delta Q_j)^2 = \gamma \left[ \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{j3} \right]^2, \quad j=1, 2, \dots, m,$$

осуществляется минимизация обобщенной целевой функции:

$$F = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) + \alpha \left[ e^{\beta(P_{it} - P_{it}^{\max})} + e^{\beta(-P_{it} + P_{it}^{\min})} \right] + \sum_{l=1}^{L_p} \left\{ \alpha_l \left[ e^{\beta_l(P_{it} - P_{it}^{\max})} + e^{\beta_l(-P_{it} + P_{it}^{\min})} \right] \right\} + \\ + \gamma \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{t=1}^{24} Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) - Q_{j3} \right]^2 \rightarrow \min, \quad (16)$$

с учетом ограничений (12) (кроме балансирующей станции) и (13) генетическим алгоритмом.

При этом мощность балансирующей станции в каждом интервале рассчитывается после каждой итерации по следующей формуле:

$$P_{it} = P_{it} + \pi_t - P_{\text{КТЭт}} - \sum_{i=2}^n P_{it} - \sum_{j=1}^m P_{jt}, \quad t = 1, 2, \dots, 24. \quad (17)$$

Таким образом, расчеты по первому алгоритму выполняются в следующем порядке:

- 1) Принятие вероятности скрещивания и мутации;
- 2) Формирование исходной популяции на основе случайного выбора начальных приближений мощностей ТЭС и ГЭС для каждого интервала периода планирования;
- 3) Проверка выполнения условий завершения расчета. В случае выполнения этого условия осуществляется выбор наилучшего варианта решения на основе сравнения результатов при всех точках (вариантах решения) в популяции. В противном случае осуществляется переход к следующему пункту 4;
- 4) Определение степени соответствия каждого из вариантов решения на основе расчета значений обобщенной целевой функции (16);
- 5) Формирование новой популяции путем случайного выбора пар вариантов решения с учетом значений целевой функции и их скрещивание с принятой вероятностью;
- 6) Выполнение мутации с принятой вероятностью для некоторых вариантов решения;
- 7) Перейти к пункту 3.

Принципиальное отличие второго алгоритма решения задачи от первого состоит в выполнении оптимизации отдельно для каждого интервала периода планирования (например, суток). Разделение периода на характерные временные интервалы осуществляется путем ввода множителей Лагранжа следующим образом.

В исходной задаче оптимизации (11) - (15), учитывая ограничения по балансу воды ГЭС с помощью множителей Лагранжа, целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$F = \sum_{i=1}^{24} \left[ \sum_{i=1}^n B_{it}(P_{it}) + \sum_{j=1}^m \lambda_j Q_{jt}(H_{jt}, P_{jt}) \right], \quad (18)$$

где  $\lambda_j$  — неопределенные множители Лагранжа для учета ограничений по расходу воды  $j$ -й ГЭС (15).

Решение задачи в этом случае состоит в нахождении для каждого интервала оптимальных значений мощностей ТЭС и ГЭС, при которых обеспечивается минимальное значение целевой функции (18) и одновременно выполняются ограничения (11) - (14).

Таким образом, решение рассматриваемой задачи при известных значениях множителей  $\lambda_j$  приводит к самостоятельному решению задачи оптимизации для каждого интервала, математическая модель которой состоит из целевой функции (18) и ограничений (12)-(14). При этом рекомендуется определение значений множителей  $\lambda_j$  по следующему алгоритму:

для всех ГЭС, участвующих в оптимизации, выбирают начальные значения множителей Лагранжа  $\lambda_j^{(0)}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) методом средних величин. Если после первой итерации условия сходимости итеративного процесса

$$\left| \sum_{i=1}^{24} Q_{jt}(P_{jt}) - Q_{jz} \right| \leq \varepsilon_{\Delta Q}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (19)$$

не выполняются, то новые значения этих множителей для каждой ГЭС  $\lambda_j^{(1)}$  рассчитываются по следующим условиям и выражениям:

$$\lambda_j^{(1)} = \begin{cases} \lambda_j^{(0)} + h_j^{(0)} \Delta \lambda_j & \text{если } \Delta Q_j^{(0)} > 0, \\ \lambda_j^{(0)} - h_j^{(0)} \Delta \lambda_j & \text{если } \Delta Q_j^{(0)} < 0, \end{cases} \quad (20)$$

где  $\Delta \lambda_j$  - малые положительные числа – приращения значений множителей;  $h_j^{(0)} = 1$  - масштабные коэффициенты, значения которых корректируются в последующих итерациях.

На следующих  $k$ -х итерациях значения  $\lambda_j^{(k)}$  для ГЭС, у которых знак  $\Delta Q_j^{(k-1)}$  не меняется относительно его знака в предыдущей итерации (т. е. при условии  $\Delta Q_j^{(k-1)} \cdot \Delta Q_j^{(k-2)} > 0$ ) определяются по (20) с использованием вместо  $\lambda_j^{(0)}$ ,  $h_j^{(0)}$ ,  $\Delta Q_j^{(0)}$ , соответствующие  $\lambda_j^{(k-1)}$ ,  $h_j^{(k-1)}$ ,  $\Delta Q_j^{(k-1)}$ , а для ГЭС, у которых знак  $\Delta Q_j^{(k-1)}$  меняется (т.е. при условии  $\Delta Q_j^{(k-1)} \cdot \Delta Q_j^{(k-2)} < 0$ ) – определяются методом секущих по следующей формуле:

$$\lambda_j^{(k)} = \lambda_j^{(k-1)} - \frac{\lambda_j^{(k-1)} - \lambda_j^{(k-2)}}{\Delta Q_j^{(k-1)} - \Delta Q_j^{(k-2)}} \cdot \Delta Q_j^{(k-1)}. \quad (21)$$

При условии определения нового значения  $\lambda_j^{(k)}$  по формуле (21) значение масштабного коэффициента пересчитывается по следующей формуле:

$$h_j^{(k)} = \frac{|\lambda_j^{(k)} - \lambda_j^{(k-1)}|}{2\Delta \lambda_j}. \quad (22)$$

Для ускорения сходимости итеративного процесса значение масштабного коэффициента на следующей итерации последовательно увеличивают, вычисляя его по формуле  $h_j^{(k)} = 1,3h_j^{(k-1)}$ .

Эффективность предложенной математической модели и алгоритмов оптимизации исследована на примере оптимального покрытия графика нагрузки энергосистемы с 2-мя ТЭС и 2-мя ГЭС, участвующими в оптимизации. При этом средний расход воды, необходимый для оптимального использования ГЭС в течение планового периода  $350 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $200 \text{ м}^3/\text{с}$ , соответственно. Точность оптимизации по расходу воды в ГЭС принята 0,5 %.

В табл. 3 приведены средние показатели расхода воды и суммарные расходы условного топлива на тепловых электростанциях, полученных в результате решения задачи методом покоординатного спуска и предложенным здесь генетическим алгоритмом.

Таблица 3

Средний расход воды ГЭС, $Q_{ср.}$ , $\text{м}^3/\text{час}$		Суммарный расход условного топлива в ТЭС, $B$ , т.у.т.
ГЭС-1	ГЭС-2	
Результаты оптимизации методом равенства относительных приростов		
349,70	199,81	1823,78
Результаты оптимизации по первой предложенной математической модели и генетическому алгоритму		
351,45	200,64	1824,55
Результаты оптимизации по второй предложенной математической модели и генетическому алгоритму		
349,86	199,43	1824,05

На основании сравнения представленных здесь результатов можно убедиться в том, что предложенные математические модели адекватны, а генетический алгоритм оптимизации имеет достаточно высокий уровень эффективности.

На основании оценки характерных особенностей предложенных моделей и алгоритмов рекомендуется использовать первую модель и алгоритм для оптимального планирования краткосрочных

режимов сравнительно небольших энергосистем, содержащих небольшое количество ТЭС и ГЭС, участвующих в оптимизации. Соответственно, вторую модель и алгоритм оптимизации целесообразно использовать для оптимального планирования краткосрочных режимов больших энергосистем с большим количеством расчетных ТЭС и ГЭС.

Четвертая глава диссертации «**Выбор оптимального состава работающих агрегатов электростанций эволюционными алгоритмами**» посвящена исследованию вопросов выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций с использованием эволюционных алгоритмов.

Высокая степень неравномерности графиков нагрузок современных энергосистем требует разгрузки, а иногда остановки части агрегатов в часы снижения нагрузки и загрузку, а иногда пуск части ранее остановленных агрегатов в часы повышения нагрузки. В соответствии с этим сущность задачи выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций сводится к определению времени их остановки и пуска в течение периода планирования.

В диссертационной работе разработан эффективный генетический алгоритм выбора оптимального состава агрегатов, работающих на станциях, основанный на использовании обобщенных энергетических характеристик станций. По нему выбор оптимального состава работающих агрегатов в каждом интервале периода сводится к задаче определения сочетания останавливаемых или запускаемых агрегатов.

В соответствии с вышеизложенной постановкой задачи, в общем случае минимизируется целевая функция, представляющая собой суммарные издержки по энергосистеме за цикл регулирования  $T$ :

$$F = \sum_{t=1}^{n_T} \sum_{i=1}^n [B_{it}(P_{it}, c_{it}) + B_{it}^{\Pi}(\tau_{it}, c_{it})], \quad (23)$$

где  $n$ -число расчетных ТЭС;  $n_T$ -число расчетных интервалов в рассматриваемом цикле регулирования  $T$ ;  $P_{it}$ ,  $B_{it}$ - нагрузка и топливные издержки  $i$ -й ТЭС в  $t$ -м интервале;  $c_{it}$  - сочетание работающих агрегатов в  $i$ -й ТЭС в  $t$ -м интервале;  $\tau_{it}$  - время простоя агрегата  $i$ -й ТЭС, пускаемого в  $t$ -м интервале;  $B_{it}^{\Pi}$  - топливные издержки на пуск агрегата  $i$ -й ТЭС, оставленного отключенным на время  $\tau_{it}$ . Здесь предполагается, что  $B_{it}^{\Pi}$  включает в себя также дополнительные издержки, относимые на каждый пуск, учитывающие влияние пуска на сокращение срока службы агрегата.

При  $\tau_{it} \leq 20$  ч. зависимость пусковых издержек от времени простоя, проходящая через начало координат, можно принять линейной. В таком случае целевую функцию можно представить в следующем виде:

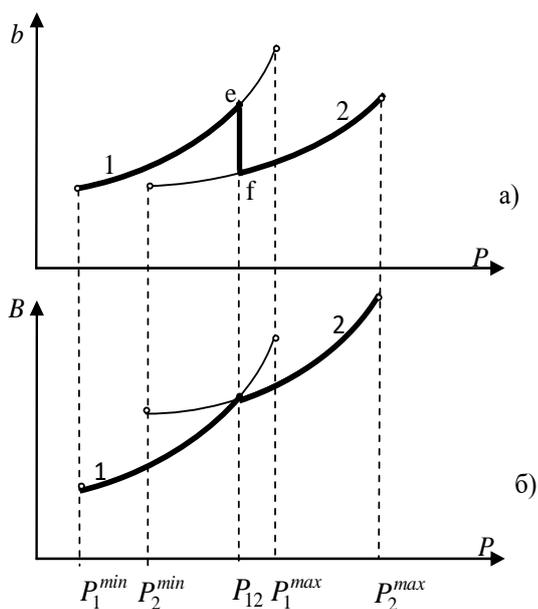
$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i, c_i) \rightarrow \min. \quad (24)$$

Минимизация целевой функции (24) осуществляется с учетом ограничений по количеству одновременно пускаемых агрегатов, скоростей набора мощностей станций, балансу активной мощности в энергосистеме, максимальным и минимальным возможным нагрузкам станций и пропускным способностям контролируемых линий электропередачи.

В предлагаемом алгоритме решение задачи целочисленного программирования осуществляется путем сведения ее к задаче непрерывного программирования. Он состоит из двух этапов. На первом этапе для каждой станции строятся характеристики относительных приростов расхода энергоресурса при различных возможных сочетаниях агрегатов, которые могут работать в данном интервале времени. Затем определяются мощности перехода от характеристик одних сочетаний агрегатов на характеристики с другими сочетаниями. При этом, если переход на следующий состав агрегатов предусматривает пуск нового агрегата, то учитываются также расходы, связанные с его пуском в эксплуатацию.

Характеристики относительных приростов станций, получаемые в результате выполнения таких операций, в общем случае имеют пилообразный вид и называются обобщенными энергетическими характеристиками.

Построение обобщенной характеристики относительных приростов (ХОП) и расходной характеристики осуществляется в следующем порядке.



**Рис.2. Построение обобщенных относительных приростных (а) и расходных (б) характеристик на ТЭС**

На рис.2 приведены полученные для рассматриваемого случая обобщенные ХОП (рис.2, а) и соответствующие расходные характеристики (рис.2, б, кривые 1' и 2') для двух составов агрегатов (жирные кривые).

Таким образом, для диапазона регулирования электрической станции определяются все точки перехода от одного состава агрегатов к другому и, соответственно, рабочая зона состава каждого агрегата.

Формирующаяся в таком порядке обобщенная характеристика относительных приростов имеет пилообразный вид. В результате задача оптимизации, основанная на непосредственном использовании таких

характеристик, становится многоэкстремальной. Это затрудняет ее решение на основе традиционных методов и алгоритмов оптимизации. Такие трудности легко преодолеваются на втором этапе решения задачи по предложенному алгоритму, то есть путем решения полученной задачи с помощью генетического алгоритма. Таким образом, на втором этапе осуществляется оптимальное распределение нагрузки энергосистемы между станциями по обобщенным энергетическим характеристикам с учетом всех ограничений. На этом этапе определяются оптимальные мощности станций и оптимальные составы работающих агрегатов по пилообразным обобщенным энергетическим характеристикам. При использовании этого алгоритма не требуется выполнить дооптимизацию режима с использованием уже известными оптимальными составами агрегатов для определения оптимальных мощностей станций.

Эффективность предложенного алгоритма исследована на примере выбора оптимального состава работающих агрегатов в течение суток при оптимальном покрытии суточной нагрузки энергосистемы тремя тепловыми электростанциями с однотипными 5, 12 и 7 агрегатами, соответственно. В табл. 4 при решении этой задачи приведены оптимальные результаты, полученные для некоторых характерных интервалов времени суток традиционным алгоритмом с использованием обобщенной энергетической характеристики, полученной при квадратичной аппроксимации расходной характеристики и с использованием предложенного здесь генетического алгоритма.

Таблица 4

**Результаты выбора оптимального состава агрегатов, работающих на тепловых электростанциях с использованием традиционного и предложенного генетического алгоритмов**

t, ч.	ТЭС-1		ТЭС-2		ТЭС-3		Суммарный расход условного топлива для t-го часа, т.у.т./ч.
	Число работающих агрегатов	P, МВт	Число работающих агрегатов	P, МВт	Число работающих агрегатов	P, МВт	
а) результаты оптимизации по традиционному алгоритму							
1	3	630	6	920	7	2100	1185,9
2	3	630	6	770	7	2100	1135,8
3	3	630	6	720	7	2100	1119,1
4	3	630	6	820	7	2100	1152,5
5	3	630	6	920	7	2100	1185,9
6	4	840	6	860	7	2100	1235,6
14	4	840	6	960	7	2100	1269,0
б) результаты оптимизации по предложенному генетическому алгоритму							
1	5	1049	4	501	7	2100	1182,6
2	5	1050	3	350	7	2100	1131,3
3	5	1049	2	301	7	2100	1113,3
4	5	1049	3	401	7	2100	1148,0
5	5	1049	4	501	7	2100	1182,6
6	5	1049	5	651	7	2100	1234,0
14	5	1050	5	750	7	2100	1267,4

На основании сравнения результатов видим, что оптимальный состав агрегатов, работающих на ТЭС-1 и ТЭС-2 в эти характерные часы суток, различается, а дополнительная экономическая эффективность по суммарному расходу условного топлива за счет высокой точности предлагаемого алгоритма составляет 0,14%-0,52%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных в рамках диссертационной работы «**Оптимизация режимов электроэнергетических систем эволюционными алгоритмами**», сделаны следующие выводы:

1. На основе исследования существующих традиционных методов оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем определено, что разработка методов и алгоритмов, способных использовать реальные энергетические характеристики электростанций и эффективно учитывать различные ограничения, является актуальной задачей.

2. Разработан эволюционный алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом ограничений по балансу мощности в энергосистеме путем выделения зависимых параметров (балансирующих станций) и учетом ограничений по зависимым переменным и функциональным ограничений штрафными функциями. В результате был достигнут дополнительный экономический эффект до 1% на основе определения оптимальной мощности

станций, участвующих в оптимизации и выполнения расчетов по реальным энергетическим характеристикам.

3. Предложены математическая модель и эволюционный алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом функциональных ограничений в виде неравенств методом штрафных функций. В результате удалось достоверно получить оптимальный результат с большой точностью, при которой дополнительные затраты, связанные с суммарным расходом условного топлива в ТЭС, не превышают 0,1 %.

4. Разработаны математическая модель и эволюционный алгоритм решения задачи оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, содержащих ТЭС, ГЭС и станций, работающих на ВИЭ, без деления периода планирования на временные интервалы. Данный алгоритм позволяет надежно определять оптимальные режимы в допустимой области с большой точностью, точностью, при которой дополнительные затраты, связанные с суммарным расходом условного топлива в ТЭС, не превышают 0,1 %.

5. Разработаны математическая модель и эволюционный алгоритм оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, содержащих ТЭС, ГЭС и станций, работающих на ВИЭ, на основе деления периода планирования на временные интервалы и определения множителей Лагранжа предлагаемым комбинированным способом. Эти модель и алгоритм эффективны при оптимизации краткосрочных режимов больших энергосистем с большой точностью.

6. Предложен эволюционный алгоритм выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций при планировании краткосрочных режимов энергосистем. Установлено, что использование предложенного алгоритма дает возможность повышения экономической эффективности в пределах 0,14-0,52 % за счет увеличения точности оптимизации.

7. Научные результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, внедрены при решении задачи оптимизации суточного режима энергосистемы Республики Узбекистан. Экономический эффект, полученный в результате применения разработанного эволюционного алгоритма, составил 224,48 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF  
SCIENCE DSc.03 /10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**PULATOV BEKHZOD MANNONOVICH**

**OPTIMIZATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS MODES BY  
EVOLUTIONARY ALGORITHMS**

**05.05.02 – «Electrical Engineering. Electrical Power stations, systems. Electric  
technical complexes and installations»**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCE**

**Tashkent 2022**

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2019.2.PhD/T1152

The dissertation has been prepared at the Tashkent state Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdu.uz) and on the web site of "ZiyoNet" Information and education portal (www.ziynet.uz).

**Scientific supervisor:**

**Gayibov Tulkin Shernazarovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Official opponents:**

**Taslimov Abdurakhim Dekhkanovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Khamidov Shukhrat Vakhidovich**  
Doctor of Technical Sciences, associate professor

**Leading organization:**

**Tashkent State Transport University**

The defense will be take place 27 » 08 2022 at 9<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University. Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871 ) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tsu\_info@tdtu.uz.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number 267). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone: (99871) 207-14-70.

Abstract of dissertation was distributed on « 4 » 08 2022 year.  
(mailing record № 4 on « 3 » 08 2022 year.)



**K.R. Allaev**  
Chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

**O.Kh. Ishnazarov**  
Scientific secretary of the scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**F.A. Khashimov**  
Vice Chairman of the scientific seminar under scientific council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work:** development of evolutionary algorithms and mathematical models of optimization of power system modes based on use of real power characteristics of plants taking into account all mode and technological constraints in the form of equalities and inequalities.

**Tasks of the research:** To achieve this purpose, the following tasks are formulated:

research and improvement of the possibility of using evolutionary algorithms for optimization of power systems modes;

study and improvement of the possibility of taking into account limiting and influencing factors when optimization of the power systems modes using evolutionary algorithms;

research and development of methods of optimal planning of short-term of electric power systems modes, which include TPPs, HPPs and stations operating on renewable energy sources;

investigation and improvement of the possibility of using evolutionary algorithms for optimization the composition of operating units in electric power plants.

**The object of research work** are optimal modes of complicated electric power systems with regulated thermal and hydroelectric power plants, power lines with controlled power flows.

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

an evolutionary algorithm for optimization of power system modes based on the direct use of real power characteristics of stations was developed;

a method for taking into account the functional constraints in the form of equalities and inequalities in optimization of power system modes by evolutionary algorithms was created;

a mathematical model and an evolutionary algorithm for optimal planning of short-term modes of power systems, which have TPPs, HPPs and stations operating on renewable energy sources, without and with dividing of the considered period into time intervals have been developed;

an evolutionary algorithm for selecting the optimal composition of operating units in power plants when planning of power system modes based on the use of their generalized energy characteristics has been developed.

**The structure and scope of the thesis.** The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and

appendices. The volume of the dissertation is 150 pages, the main text is 119 pages, the appendix is 31 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PULISHED WORKS**  
**I бўлим; (I часть; I part)**

1. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. Qayumov J.A., «Minimization of Losses in Distributed Power Networks by Genetic Algorithms». //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 2, February 2019.- pp. 8037-8039. (05.00.00; №8).

2. Pulatov, B.M. Optimization of modes of electr power systems by genetic algothrothms.//Technical science and innovation: Vol. 2019: Iss. 3, DOI: <https://doi.org/10.51346/tstu-01.19.3.-77-0030>. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/btstu/vol2019/iss3/1> –р. 224-229. (05.00.00; №16).

3. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М., Узаков Б.А. Учет ограничений при оптимизации режимов энергосистем генетическими алгоритмами. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, №3-4 2018. –С. 97-101. (05.00.00; №21).

4. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М., Выбор оптимального состава работающих агрегатов электрической станции с использованием генетического алгоритма. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, №4 2021. –С. 49-55. (05.00.00; №21).

**II бўлим; (II часть; II part)**

5. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M., Latipov Sh.Sh., Turmanova G. Power System Optimization in Terms of Uncertainty of Initial Information. // E3S Web of Conference 139, 01031 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901031>.

6. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. E3S Web of Conferences 209, 07014 (2020) ENERGY-21. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907014>

7. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithms. E3S Web of Conferences 264, 04045 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404045>

8. Pulatov B.M, Shanazarov A.E. Optimization Of Modes Of The Electric Power Systems By Genetic Algorithms. E3S Web of Conferences 216, 01099 (2020)RSES 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601099>.

9. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М. Программа «Opt\_sost» для оптимизации состава работающих агрегатов в электростанциях. /Программа для ЭВМ/ № DGU 13233. 25.11.2021 г.

10. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М., Шаназаров А.Э. Программа «Opt\_Gen» для для оптимизации режимов энергосистем генетическим алгоритмом. /Программа для ЭВМ/ № DGU 14590. 15.02.2022 г.

11. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M., Abdirashidov D.Sh. Taking into account the functional conditions in optimization of modes of the power systems by genetic algorithms. //International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, No. 11s, (2020), pp. 1438-1444 ISSN: 9303-9308

12. Пулатов Б.М. Журнал технических исследований (ISSN 2181-9696). Определение критерия оптимального распределения активной нагрузки между агрегатами тепловой электрической станции. (<http://dx.doi.org/10.26739/2181-9599-2019-1-1>)

13. Пулатов Б.М., Шаназаров А.Э. Задачи комплексной оптимизации режимов электроэнергетической системы. “Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий” Сборник научных трудов. V Международной научно-технической конференции. Уфа. 15-18-апрел 2020. - С. 70-76.

14. Pulatov B.M. Reasons leading to multi-criterial optimization in power systems. “Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий” Сборник научных трудов. V Международной научно-технической конференции. Уфа. 15-18- апрел 2020. – С. 67-70.

15. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М. Использование генетических алгоритмов для оптимизации режимов электроэнергетических систем. Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе» 2020.- С. 684-685.

16. Пулатов Б.М., Шаназаров А.Э. Внутростанционная оптимизация режимов ТЭС. Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе» 24.04.2020. - С. 742-743.

17. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М. Выбор оптимального состава работающих агрегатов электрической станции с использованием генетического алгаритма. «Актуальные проблемы системы электроснабжения» Международная научно-техническая конференция. Ташкент: ТошДТУ, 2021. – С. 227-230.

18. Гайибов Т.Ш., Пулатов Б.М. Эволюционный алгоритм оптимизации режимов гидротепловых энергосистем. «Актуальные вопросы повышения энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем». Международная научно-техническая конференция. Ташкент 2022. – С. 162-165.

19. Пулатов Б.М. Современные возможности применения генетических и эволюционных алгоритмов оптимизации. //Энергетика: управление,

качество и эффективность использования энергоресурсов сборник трудов. IX Международной научно-технической конференции. 2019. - С. 339-341.

20. Гайи́бов Т.Ш., Пулатов Б.М., Айтбаев Н.А., Ибрагимов И.И. Минимизация потерь в распределительных электрических сетях генетическими алгоритмами. “Агросаноат тармоқларида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш муаммолари” мавзусидаги Ҳалқаро илмий-техник анжуман. Тошкент. 2018. - С. 453-456

21. Пулатов Б.М. Применение генетического алгоритма для решения задачи оптимизации. // Энергетические и электротехнические системы. Международный сборник научных трудов. Под редакцией С.И. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. Магнитогорск, 2017. - С. 95-101.

22. Пулатов Б.М., Шамсутдинов Х.Ф. Алгоритмизация методов расчета режимов электрических систем. // Энергетические и электротехнические системы. Международный сборник научных трудов. Под редакцией С.И. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. Магнитогорск, 2017. - С. 117-121.

23. Гайи́бов Т.Ш., Пулатов Б.М., Турманова Г.М. Оптимизация режимов энергосистем с альтернативными источниками методом искусственных пчелиных рой. “Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами НамМҚИ, Наманган шаҳри. 22-23 апрель, 2020. - С. 112-114.

24. Гайи́бов Т.Ш., Пулатов Б.М., Бегмуров Ш.Ж. Электр энергетика тизимларининг ҳолатларини генетик алгоритмлар асосида оптималлаш. “Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилна фойдаланишнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика анжумани илмий ишлар тўплами– Тошкент. ТошДТУ, 2020. - Б. 225-227

25. Пулатов Б.М. Оптимизация режимов тепловых электрических станций. “Кайта тикланувчи энергетиканинг замонавий муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани. Карши шаҳри.18-19-май 2018. – Б 395-397.

26. Пулатов Б.М., Акбаров У.Р. Решение математических задач энергетике в системе MATLAB “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” мавзусидаги Республика илмий-техникавий анжуман Тошкент, ТошДТУ 2018. - Б. 481-483

27. Пулатов Б.М., Маткаримов С.К. Генетический алгоритм и другие методы оптимизации. “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” мавзусидаги Республика илмий-техникавий анжумани. 2019. - Б. 187-189.

Автореферат «ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ВА ИННОВАЦИЯ» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва ингиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

