

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЛАТИПОВ ШЕРХОН ШУҲРАТОВИЧ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ  
ДАСТЛАБКИ МАЪЛУМОТЛАР ЭҲТИМОЛЛИ ВА ҚИСМАН  
НОАНИҚ БЎЛГАН ШАРОИТЛАРДА ОПТИМАЛЛАШ**

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

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

**Тошкент – 2020**

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

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

**Латипов Шерхон Шухратович**

Электр энергетика тизимининг ҳолатларини дастлабки маълумотлар  
эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда  
оптималлаш.....3

**Латипов Шерхон Шухратович**

Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях  
вероятности и частичной неопределенности исходной  
информации.....26

**Latipov Sherkhon Shukhratovich**

Optimization of electrical power systems modes in conditions of probability and  
partial uncertainty of initial information.....48

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....53

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЛАТИПОВ ШЕРХОН ШУҲРАТОВИЧ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМИНИНГ ҲОЛАТЛАРИНИ  
ДАСТЛАБКИ МАЪЛУМОТЛАР ЭҲТИМОЛЛИ ВА ҚИСМАН  
НОАНИҚ БЎЛГАН ШАРОИТЛАРДА ОПТИМАЛЛАШ**

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

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

**Тошкент – 2020**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/T1448 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](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

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

**Расмий оппанентлар:**

**Тоиров Олимжон Зувурович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Садуллаев Насулло Нематович,**  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент давлат транспорт университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «1» декабрь соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2-уй. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (177 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2-уй. Тел.: (99871) 227-03-41; факс: (99871) 227-10-32.

Диссертация автореферати 2020 йил «19» 11 куни тарқатилди.  
(2020 йил «19» 11 даги 10 рақамли реестр баённомаси).



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

**О.Х. Ишназаров**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби  
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

**И.М. Ибадуллаев**  
Илмий даража берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда энергетика соҳасининг долзарб вазифаларидан бири сифатида электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш жараёнида тизимнинг энергия ресурслари истеъмолини камайтиришга олиб келувчи иш режимларини аниқлашга алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «энергетика тизимларининг режимларини дастлабки маълумотларнинг ноаниқлигини эътиборга олиб оптималлаш натижасида иқтисодий харажатларни 1,6% гача камайтириш мумкинлиги аниқланган»<sup>1</sup>. Бу борада, жумладан энергетика тизимларининг режимларини оптимал режалаштириш масалаларида, дастлабки маълумотлар сифатида баъзи бир хатоликларга эга бўлган усуллар билан башорат қилиш асосида аниқланган схемаларининг ҳисобланган катталиклари ва электр энергиясини истеъмол қилиш тугунларининг юқламасидан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда оптималлаштиришда фойдаланилувчи дастлабки маълумотларнинг турли факторлар таъсирида юзага келувчи хатоликларни аниқлаш ва уларни тузатиш омилларини киритиш орқали ҳисобга олишга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, катталикларнинг ҳақиқий электр энергетикаси тизимлари режимларини режалаштирилганидан четга чиқиш даражасини аниқлаш ва уларни бартараф этиш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга, мавжуд ҳолатни таҳлил қилиш натижалари шуни кўрсатдики, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлганда электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштиришнинг мавжуд усул ва алгоритмлари мукамал эмас. Шу сабабли электр энергетика тизимларининг режимларини чегаравий шартларни ва таъсир қилувчи омилларни эътиборга олган ҳолда оптималлашнинг усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасининг энергетика тизими, иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири ҳисобланиб, давлатлараро энергия бирлашмасинининг таркибида бир катор кўшни давлатларнинг энергетика тизимлари билан параллел равишда ишлайди. Бунда, 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясига мувофиқ равишда «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, саноат иқтисодиётида меҳнат унумдорлигини ошириш...»<sup>2</sup> асосий вазифалардан биридир. Мазкур

<sup>1</sup> Tianqi Hong., Ashhar Raza and Leon Fellow., Optimal Power Dispatch Load Uncertainty Using a Stochastic Approximation Method. /IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 31, NO.6, NOVEMBER 2016.

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони

вазифаларни амалга ошириш, жумладан электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда тенгсизлик кўринишида ифодаланган ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири деб ҳисобланади.

Ушбу диссертация иши Ўзбекистон Республикасининг 1997 йил апрел ойида қабул қилинган «Энергиядан рационал фойдаланиш» (№412-1) қонуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 -сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги» Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012 -сон «2017-2021 йилларда ижтимоий соҳа ва саноат соҳаларида энергия самарадорлигини ошириш, қайта тикланувчан энергия манбаларини қўллашни янада кенгайтириш чоратадбирлари тўғрисида»ги Қарорларни ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда қисман хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Электр энергетика тизимлари режимларини турли хил бошланғич маълумотлар мавжуд бўлганда оптималлаштириш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш йўналиши бўйича 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), Мелентев номидаги энергия тизимлари Институти (МЭТИ, Россия), Новосибирск техника Университети (Россия), Урал политехника Университети (УПУ, Россия), Миллий тадқиқот Университети (МТУ, Россия), Бутунроссия илмий-техника Институти (БРИТИ, Россия), Тошкент давлат техника Университети, «Илмий-техник марказ» МЧЖ (Ўзбекистон), «Ўзэнергомарказ» МЧЖ (Ўзбекистон) ҳамда бошқаларда кенг қамровли тарзда олиб борилмоқда.

Дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимларининг режимларини ҳисоблаш ва оптималлаштириш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш и такомиллаштиришга хорижий олимлардан Shuya Li, David W. Coit, Braspenning, P.J., Jia N.X., Yokoyama R., Zhu J., Yurievich J., Valdma M., Liik O., Tammoja H., Abasi K., Colorni A., Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Семенов В.А., Воропай В.И., Арзамасцев Д.А., Гамм А.З., Мисриханов М.Ш.,

Обоскалов В.П., Манусов В.З., Шепилов О.Н., Лыкин А.В., Гонштейн В.М., Цветков Е.В. кабилар ва Республикамининг атоқли олимлардан Фазылов Х.Ф., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Абдуллаев Д.А., Соколов В.К., Юлдашев Х.Ю., Гайибов Т.Ш., Сытдыков Р.А., Хамидов Ш.В., Шарипов У.Б. ва бошқалар катта ҳисса кўшишган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, тенгсизлик кўринишида ифодаланган ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптималлаштириш масалалари етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур ишда тенгсизлик кўринишида ифодаланган ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини оптималлаштириш масалалари кўриб чиқилиб, уларнинг ечимлари таклиф этилган.

**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.), ва А-3-96 «Ўзбекистон Республикаси энергетика тизимида энергия истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқариш» (2015-2017) мавзусидаги илмий тадқиқот иши режаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** тенглик ва тенгсизликлар кўринишидаги ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштириш масалаларини ечишнинг усул ва алгоритмларини тадқиқ қилишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштиришнинг мавжур ҳолатининг тадқиқи ва таҳлили;

тенгсизлик кўринишидаги оддий ва функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштириш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштириш;

дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида оптимал режани танлаш учун фойдаланиладиган кўшимча мезонларнинг самарадорлигини баҳолаш алгоритмини яратиш;

дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштириш масалаларини ечиш учун интервалли ҳисоблаш усулларидан фойдаланишнинг самарадорлигини ўрганиш;

дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптималлаштириш масаласини ечиш учун регрессия усулларидан фойдаланиш имкониятларини ўрганиш.

дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштириш масалаларини ечишда частотанинг ўзгаришини ҳисобга олиш масаласини ўрганиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида ҳисобий электр станциялари ва эҳтимолли характерда ва қисман ноаниқ бўлган юкламали электр энергетика тизимлари ҳамда иссиқлик электр станцияларида ёқилғи сарфи харажатлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** барча турдаги ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитларида электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштиришнинг математик моделлари, усуллари ва алгоритмларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Электр энергетика тизимларининг режимларини ҳисоблаш ва оптималлаштиришнинг замонавий назариясига, чизикли ва ночизикли математик дастурлаш усулларига, эҳтимоллар назариясига ва математик статистикага, шунингдек тизимли таҳлил усулларига асосланган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотларнинг эҳтимоллиги шароитида тенглик ва тенгсизликлар кўринишидаги оддий ва функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптимал режалаштириш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган;

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптимал режалаштириш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган;

дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг иш режимларини оптималлаштириш масалаларини ечишда фойдаланилувчи кўшимча мезон ишлаб чиқилган;

дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг иш режимларини барча турдаги режим ва технологик чегаравий шартларни эътиборга олган ҳолда интервалли ҳисоблаш усуллари асосида оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган;

истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика



тизимларининг иш режимларини частота ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлганда чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптималлаштиришда фойдаланилувчи алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган;

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитларида барча турдаги ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптимал режалаштириш учун алгоритмлар ва ҳисоблаш дастурлари ишлаб чиқилган;

режалаштириш даврининг ҳар бир оралиғида ҳисобий станцияларнинг оптимал қувватларини аниқлаш, электр станциялари ва электр тармоқлари элементларининг оптимал иш ҳолатини аниқлаш ҳамда энергетика тизимидаги частота ўзгаришларини оқилона ҳисобга олиш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини ҳисоблашнинг замонавий назарияларига, чизикли ва ночизикли математик дастурлаш усулларига, эҳтимоллар назариясига ва математик статистикага, шунингдек тизимли таҳлил қилиш усулларига асосланган замонавий воситалар ҳамда тадқиқот усуллари ёрдамида кўплаб экспериментал ҳисоб-китоблар билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларида тенгсизлик кўринишидаги ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олиб аниқлаш имконини берувчи усуллар ва алгоритмлар билан изоҳланади.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлганда чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш дастурлари билан характерланади. Ишлаб чиқилган алгоритмлар ва ҳисоблаш дастурлари электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитларида барча ҳолат ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптимал режалаштириш; режалаштириш даврининг ҳар бир вақт оралиғида ҳисобий станцияларнинг оптимал қувватларини аниқлаш; электр станциялари ва электр тармоқлари элементларининг оптимал иш режимлари ҳисоблаш; энергетика тизимидаги частота ўзгаришларини оқилона ҳисобга олишда фойдаланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини дастлабки маълумотлар

эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш учун ишлаб чиқилган математик моделлар ва алгоритмлар бўйича олинган илмий натижалар асосида:

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотлар эҳтимоллиги ва қисман ноаниқлиги шароитларида тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптималлаштириш алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик марказида суткалик иш режимини оптималлаштириш учун жорий қилинган («Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖнинг 2020-йил 17-сентябрдаги 01-02-06/3238-сонли маълумотномаси). Натижада бир сутка давомида иссиқлик электр станцияларидаги шартли ёқилғи сарфини 15,8 тоннага камайтиришга эришилган;

истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптимал режалаштириш алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик марказида энергетика тизимининг қишки мавсуми иш режимларини оптималлаштириш учун жорий қилинган (2020-йил 17-сентябрдаги 01-02-06/3238-сонли маълумотнома, «Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖ). Натижада қишки мавсум давомида 1024,33 тонна шартли ёқилғини тежашга эришилган;

электр энергетика тизимларининг қисқа муддатли иш режимларини истеъмолчиларнинг юкламалари бўйича дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли ва қисман ноаниқлиги шароитларида барча чегаравий шартларни ҳисобга олиб, қўшимча мезондан фойдаланиш асосида оптималлаштириш алгоритми Ўзбекистон Республикаси Миллий диспетчерлик марказида жорий этилган (2020-йил 17-сентябрдаги 01-02-06/3238-сонли маълумотнома, «Ўзбекистон Миллий электр тармоқлари» АЖ). Натижада иссиқлик электр станцияларида бир йилда ёқилғи сарфи харажатларини 215,72 млн. сўм га камайтиришга эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 5 та илмий ва амалий конференцияларда, шу жумладан 2 та халқаро ва 3 та республика илмий ва илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та илмий иш, шу жумладан, хорижий журналларда 5 та мақола (Scopus маълумотлар базасига киритилган конференцияларда 2 та мақола), ОАК томонидан докторлик диссертациялари (PhD)нинг асосий илмий натижаларини нашр этиш учун тавсия этилган республика ва хорижий журналларда 3 та мақола, 2 та ЭҲМ дастурлари учун гувоҳнома, илмий анжуманлар тўпламларида 3 та тезис мавжуд.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 116 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Ишнинг **Кириш** қисмида Диссертация тадқиқотининг зарурлиги ва долзарблигининг асосланиши, мақсади ва вазифалари келтирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланади, тадқиқотнинг Ўзбекистон республикасида илм-фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган. Шунингдек, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари келтирилган, натижаларнинг ишончлилиги асосланади, натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти тавсифланади, тадқиқот натижаларини амалга ошириш, апробация қилиш ва нашр этиш, шунингдек диссертация тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи боби «**Дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштиришнинг мавжуд ҳолатини таҳлил қилиш**»да барча ўзгарувчилар учун электр энергетика тизимлари (ЭЭТ) режимларини комплекс оптималлаштириш масаласи шакллантирилган ва уни иккита кичик масалаларга-ЭЭТ ҳолатини актив қувват бўйича оптималлаш ва электр тармоғи режимларини оптималлаштириш масалаларига декомпозициялаш орқали ечишнинг мақсадга мувофиқлиги асосланган. Электр энергетика тизимларининг режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли характерда ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда оптималлашнинг усул ва алгоритмлари таҳлил қилинган.

Ҳозирда кўриб чиқилаётган масалани ечишнинг классик, регрессион, эвристик, эволюцион, мавҳум кўпайтувчилар ва бошқа оптималлаштириш усуллари мавжуд. Уларнинг таҳлили асосида қўйилган масалани ечиш усуллари ва алгоритмлари, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлганда тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги оддий ва функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, тезликни ростлагичларнинг статик тавсифларига мувофиқ электр станцияларининг юкламаларини оптимал бошқариш, ечимнинг аниқлигини ошириш йўналишида мавжуд усул ва алгоритмларни такомиллаштирилиши керак, деган хулоса қилинди.

Диссертация ишининг иккинчи боби «**Дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли шароитида электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаш**»да дастлабки маълумотлар эҳтимолли бўлган шароитда ЭЭТ режимларини оптималлаштириш масаласини ўрганишга бағишланган. Бундай вазифаларда электр тармоқлари катталиклари ва тугунларнинг юкламалари ҳақидаги маълумотлар эҳтимолли ёки қисман ноаниқ характерга эга бўлиши мумкин. Электр тармоқлари катталикларининг бу табиати об-ҳаво шароитлари билан боғлиқ. Тузатиш коэффициентларини жорий қилиш асосида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш учун бундай омилларни ҳисобга олишнинг мавжуд усуллари ушбу катталикларнинг қийматларини амалий мақсадлар учун етарли аниқлик билан аниқлашга имкон беради. Бироқ, тугун юкламаларининг ушбу хусусиятини ҳисобга олиш махсус усуллар ва алгоритмлардан фойдаланишни талаб қилади.

Шундай қилиб, тугунлар юкламаларининг эҳтимолли шароитида режалаштириш даврининг исталган оралиғида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш масаласи қуйидагича шакллантирилиши мумкин: иссиқлик электр станцияларида (ИЭС) умумий ёқилғи харажатлари функцияси

$$B = \sum_{t=1}^T B_t, \quad (1)$$

энергетика тизимида қувват баланси

$$\sum_{t=1}^T P_t = \sum_{k=1}^K P_k, \quad (2)$$

станцияларнинг минимал ва максимал мумкин бўлган қувватлари

$$P_t^{\min} \leq P_t \leq P_t^{\max}, \quad t=1, 2, \dots, T, \quad (3)$$

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

бу ерда  $T, K$  - ЭЭТда ҳисобий ИЭС ва юклама тугунлари сони;  $P_t, P_t^{\min}, P_t^{\max}$  -  $t$ -чи ИЭС қувватининг ҳисобий ва бошланғич чегаравий қийматлари;  $P_l, P_l^{\min}, P_l^{\max}$  -  $l$ -чи назорат қилинадиган электр узатиш линияси бўйлаб актив қувват оқимининг ҳисобий ва бошланғич чегаравий қийматлари;  $P_k$  - тақсимот қонуни маълум бўлган эҳтимолли харақтердаги  $k$ - тугуннинг юкламаси.

Юқорида келтирилган масаланинг ечими (2) - (4) чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда (1) мақсад функциясининг математик кутилмасини минимумга келтириш орқали топилади. Алгоритмни тавсифлаш учун битта тугундаги юклама эҳтимолли бўлган ҳолатни кўриб чиқамиз:

бошланғич катталиқ  $P$  нинг маълум бир ўзгариш оралиғида  $m$  та қисм танлаб оламиз, унда  $P_1, P_2, \dots, P_m$  қийматлари берилган, ҳар бир танланган қийматнинг пайдо бўлиш эҳтимоллиги мос равишда  $p_1, p_2, \dots, p_m$  га тенг;

бошланғич катталиқнинг танланган қийматлари учун  $m$  марта аниқ оптималлаш масаласи ечилади. Натижада, устун матрица кўринишига эга бўлган шартли-оптимал ечим  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  лар топилади;

бошланғич катталиқнинг маълум қийматлари ва олинган шартли-оптимал ечимлардан фойдаланиб, мақсад функциясининг тегишли қийматлари ҳисоблаб чиқилади, бу эса ЭЭТдаги умумий ёқилғи харажатлари (ёки эквивалент ёқилғининг умумий истеъмоли) функцияси бўлади

$$B_{ij} = f(Z_i, P_j); \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

$m \cdot m$  ўлчамдаги матрицани ташкил этадиган; ҳар бир шартли-оптимал ечим  $Z_m$  учун мақсад функциясининг математик кутилмалари ҳисобланади:

$$MB_t = \sum_{j=1}^m p_j B_{tj}, \quad t=1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

мақсад функцияси  $Z_m$  нинг математик кутилмаси минимал қийматга эга бўлган қиймати оптимал ечим деб қабул қилинади.

Агар дастлабки эҳтимолий катталикларда мос равишда иккита катталик,  $P_{1i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  ва  $P_{2j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , тегишли таксимот қонунлари  $p_{1i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  ва  $p_{2j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  билан берилган бўлса, у ҳолда ушбу алгоритм бўйича ҳисоблаш натижасида олинган шартли-оптимал ечимлар тўплами, элементлари  $Z_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  бўлган икки ўлчовли матрицани ҳосил қилади;  $j = 1, 2, \dots, n$ . Шунга кўра, ушбу ечимларни амалга ошириш шартлари ва матрица сифатида белгиланган элементлар билан уч ўлчовли

$$B_{ijk} = f(Z_i, P_{1i}, P_{2j}), \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, n; \quad k=1, 2, \dots, n.$$

олинган шартли-оптимал ечимларга мос келадиган мақсад функциясининг математик кутилмалари қуйидаги формула билан аниқланади:

$$MB_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n p_j p_k B_{ijk}, \quad m=1, 2, \dots, m \cdot n. \quad (7)$$

Ҳисоблаш ва экспериментал тадқиқотлар асосида, юкламалар эҳтимолли хусусиятга эга тугунлар сонининг кўпайиши билан бирга, натижада пайдо бўлган матрицанинг ўлчами ва шунга мос равишда амалга ошириладиган ҳисоблашлар ҳажми ҳам кескин ошиши аниқланди, аммо замонавий ҳисоблаш машиналарининг имкониятлари тенгсизликлар кўринишидаги функционал чегаравий шартлар бўлмаган тақдирда масалани самарали ечишга имкон беради.

(4)- чегаравий шартни мавжудлиги шароитида, тавсифланган алгоритм бўйича ҳисоб-китоблар натижасида чегаравий шартлар бузилган, ёки рухсат этилмаган ечимларни олиш мумкинлиги аниқланди.

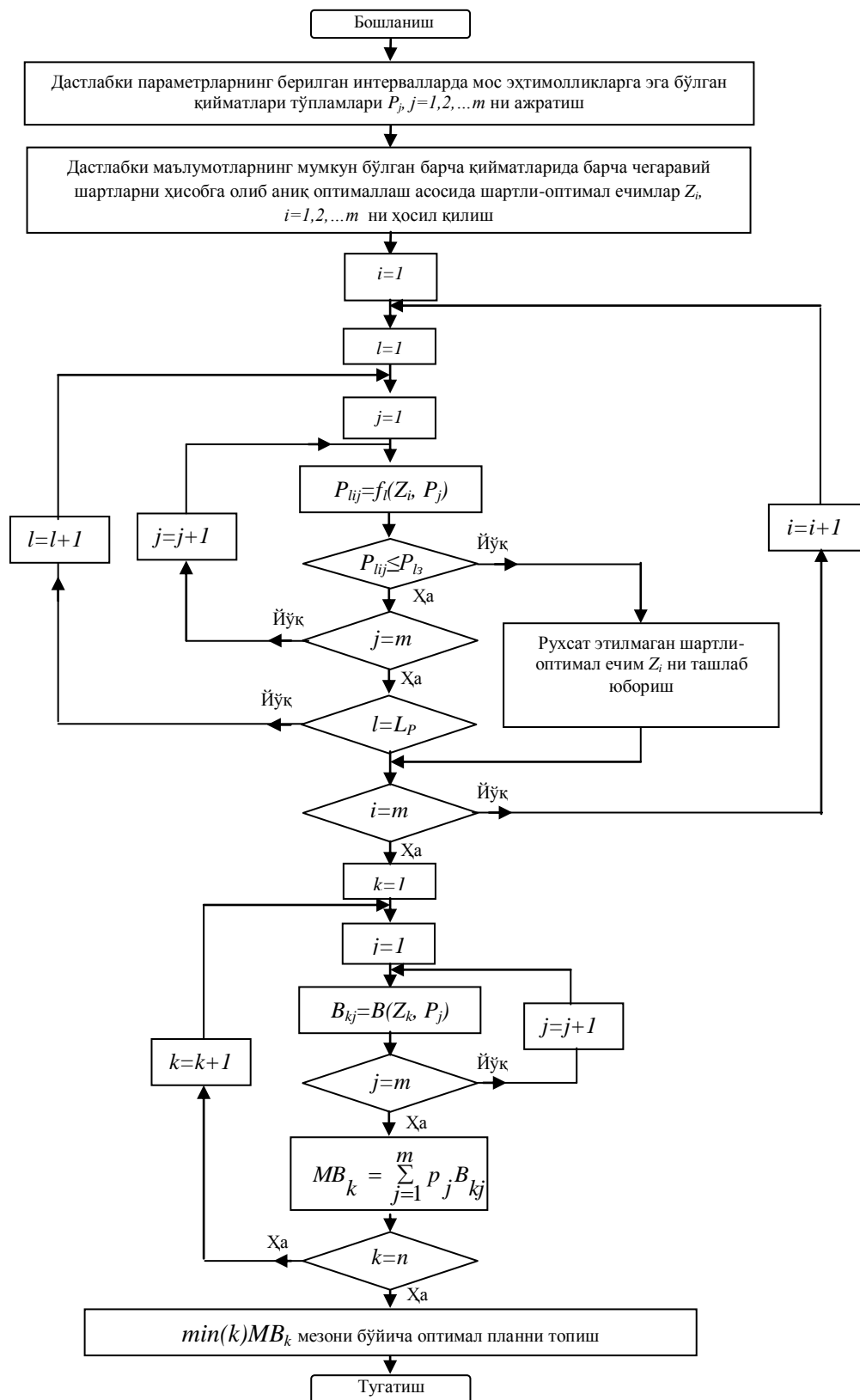
Ушбу муаммони бартараф этиш учун, диссертация ишининг ушбу бобида тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотларнинг эҳтимоллиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштиришнинг янги алгоритми таклиф этилди. Ушбу алгоритмнинг йириклаштирилган блок схемаси 1-расмда келтирилган.

Таклиф этилаётган алгоритмнинг самарадорлиги таркибида, тўртта ҳисобий ИЭС, қувватлари эҳтимолий хусусиятга эга бўлган тўртта юклама тугунлари, учта бошқариладиган электр узатиш линияларидан иборат бўлган ЭЭТнинг қисқа муддатли ҳолатини оптималлаштириш мисолида ўрганилди:

$$P_{6-3} \leq 470 \text{ МВт}, \quad P_{6-5} \leq 95 \text{ МВт}, \quad P_{0-3} \leq 150 \text{ МВт}.$$

1-жадвалда юқорида таклиф этилган алгоритмга мувофиқ олинган шартли-оптимал ечимлар билан бошқариладиган электр узатиш линияси 6-3 бўйлаб қувват оқимлари кўрсатилган.

Юқорида тавсифланган алгоритмга асосан, 2, 4 ва 5 шартли-оптимал ечимлар кейинги ҳисоб-китобларда қатнашмайди, чунки ушбу шартли-оптимал ечимларда бошқариладиган электр узатиш линияларидаги чегаравий шартлар бузилган. Шунга кўра, қолган иккита шартли-оптимал ечимлар 1 ва 3 орасидан



**1-расм. Тугун юкламалари ҳақида дастлабки маълумотлар эҳтимолли характердаги шароитларда ЭЭТ режимларини оптималлаштириш алгоритмининг йириклаштирилган блок схемаси**

нативавий оптимал ечимни излаймиз. Таклиф этилган алгоритмга асосан улар учун математик кутилмалар  $MB_1 = 2312,37$  т.ш.й./с. (тонна шартли

ёқилғи/соат) ва  $MB_3 = 2304,68$  т.ш.й./с, ларни таққослаш натижасида, мақсад функциясининг математик кутилмаси 3-шартли-оптимал ечим учун минимал бўлганлиги учун, 3-шартли-оптимал ечимни натижавий оптимал ечим сифатида қабул қиламиз.

1-жадвал

**Олинган шртли-оптимал ечимларда  $P_{6-3}$  бошқариладиган электр узатиш линияси орқали оқадиган қувват оқими**

Режа рақами	ЭЭТнинг мумкин бўлган юкламалари, МВт				
	1620	1710	1800	1890	1980
	ЭЭТ юкламасининг пайдо бўлиш эҳтимоли				
	0,12	0,242	0,3	0,242	0,12
	$P_{6-3}$ электр узатиш линияси орқали қувват оқими, МВт				
1	459,5	427,8	417,5	407,8	396,1
2	<b>472,2</b>	465,0	<b>471,2</b>	461,3	451,1
3	379,6	454,1	469,8	434,1	422,4
4	<b>586,0</b>	<b>575,1</b>	<b>564,8</b>	470,0	<b>544,9</b>
5	<b>590,2</b>	<b>580,3</b>	<b>562,3</b>	451,6	470,0

Диссертация ишининг учинчи «Дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаштириш» бобида, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш масалалари ўрганилган. Дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги билан, одатда, унинг мумкин бўлган ҳақиқий қийматлари оралиғининг фақат минимал ва максимал чегара қийматлари маълум бўлади.

ЭЭТ режимларини оптималлаштириш масалаларида кузатиладиган одатий ҳолат учун дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида оптималлаштириш моҳиятини кўриб чиқамиз, бу ерда кўпинча юклама маълум бир интервал  $[P_{\min}, P_{\max}]$  шаклида берилади, ушбу қийматларнинг пайдо бўлиш эҳтимоликлари маълум эмас. Бундай ҳолда, берилган интервалда масалани ечиш учун юклама қийматлари тўплами танланади, шунингдек, маълум бир ораликдаги мумкин бўлган юклама қийматлари сонини оптималлаштириш масаласини ечишнинг керакли аниқлиги ва бажарилган ҳисоблаш операцияларининг қабул қилинадиган миқдорини таъминлашни ҳисобга олган ҳолда танлаш тавсия этилади.

Қабул қилинган юклама қийматлари  $P_k = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  учун белгиланган вақт оралиғида аниқ оптималлаш масаласи  $n$  марта ечилади. Бундай ҳисоб-китоблар натижасида изланаётган катталиқнинг мос оптимал қиймат  $z_k = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$  лари олинади. Сўнгра олинган шартли-оптимал ечимлар учун мақсад функциясининг қийматлари  $B_{kj} = f(z_k, P_j)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

ҳисобланади, натижада  $n \cdot n$  ўлчамдаги матрица ҳосил қилинади. Ҳосил қилинган матрицадан фойдаланган ҳолда шартли-оптимал ечимлар орасидан натижавий оптимал ечимни қўшимча мезонлардан фойдаланмасдан топиш мумкин эмас, чунки бошланғич юкламанинг номаълум эҳтимолликлари билан мақсад функциясининг турли қийматлари  $B_{kj}$  ечимларни реализациясининг турли шартларига мос келади.

Умумий ҳолатда, барча мумкин бўлган шартли-оптимал ечимлар орасида ягона оптимал ечимни танлашнинг қўшимча мезонлари сифатида минимакс мезонлари (Вальда мезонлари), минимин, Гурвиц, Лаплас-Байес ва минимакс таваккалчилиги (Севедж мезонлари) дан фойдаланиш мумкин.

Диссертация ишида ушбу мезонларни таҳлил қилиш асосида минимакс мезони энг самарали деб танланган. Шу билан бирга, биз ҳар қандай режани қабул қилсак ҳам, уни амалга ошириш учун шартлар энг ёмон бўлади деган тахминдан келиб чиқамиз. Масалан, агар биз  $P_1$  юклама учун  $z_1$  режасини қабул қилсак, унда  $P_1$  юклама эмас албатта  $P_4$  юклама пайдо бўлади, лекин мақсад функциясининг қиймати ушбу режа учун барча мумкин бўлган қийматлар орасида энг юқори (агар у минималлаштирилган бўлса) қийматга эга бўлади.

Бундай ҳолда, мақсад функциясининг максимал қиймати бошқа ҳар қандай шартли оптимал ечим учун унинг максимал қийматидан кичик бўлган шартли-оптимал ечимни оптимал деб қабул қилиш мақсадга мувофиқдир:

$$B_{op} = \min(k) \max(j) B_{kj}, \quad (8)$$

бу ерда,  $B_{op}$  - мақсад функциясининг оптимал қиймати;  $k, j$  - шартли оптимал ечимнинг тартиб рақамлари ва уни амалга ошириш шартлари;  $B_{kj}$  -  $k$ -шартли-оптимал ечимдаги мақсад функциясининг қиймати ва уни амалга оширишнинг  $j$ -шарти.

Юқоридаги қўшимча мезонларнинг самарадорлигини баҳолаш учун ИЭСлари ўртасида ЭЭТнинг қисман ноаниқ юкламасини оптимал тақсимлашнинг турли масалалари учун оптимал режани танлаш ва эквивалент ёқилғининг мумкин бўлган ортиқча харажатларини ҳисоблаш, унинг энг оптимал (минимин мезони бўйича олинган) ва энг ёмони (минимакс мезони бўйича олинган) қийматлари билан таққослаганда, шартлар:

$$\Delta B_{i,\min} = \min(j) B_{ij} - \min(i) \min(j) B_{ij}, \quad (9)$$

$$\Delta B_{i,\max} = \max(j) B_{ij} - \min(i) \min(j) B_{ij}. \quad (10)$$

Минимин критерияси ёрдамида олинган *минимин*  $\Delta B_i$ , максимал эквивалент ёқилғининг мумкин бўлган максимал ортиқча сарфланиши ва кўриб чиқилган  $\Delta B_i$ , минимакс критерийси ёрдамида олинган максимал мумкин бўлган ортиқча харажатлар ўртасидаги фарқни ушбу мезон учун кафолатланган иқтисод деб аташ мумкин:

$$\Delta \Delta B_i = \min \min \Delta B_{i,\max} - \Delta B_{i,\max}, \quad i = 1, 2, \dots, 5, \quad (11)$$

2-жадвалда оптимал режани аниқлаш учун турли мезонлардан фойдаланганда энг яхши ҳолат (минимин мезонидан фойдаланган ҳолда) ва



энергетика тизимининг умумий юкламасининг мумкин бўлган оғишларида ёқилғининг мумкин бўлган ортиқча сарфланиши кўрсатилган.

Бошқа мисолларда бўлгани каби, бу ҳолатда ҳам минимакс мезонига мувофиқ олинган натижа учун максимал кафолатланган иқтисодий самара таъминланади. Шунинг учун, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштиришнинг кўриб чиқилган масалаларини ечиш учун қўшимча минимакс мезонидан фойдаланиш тавсия этилади.

## 2-жадвал

**Энергетика тизимининг умумий юкламасининг мумкин бўлган оғишларида ёқилғининг мумкин бўлган ортиқча сарфланиши, т.ш.й./с**

Мезон	Оптимал режалар	$\Delta B_{i,min}$ , т.ш.й./с	$\Delta B_{i,max}$ , т.ш.й./с	$\Delta \Delta B_i$ , т.ш.й./с.
минимакс (Вальда)	5	175,36	492,42	175,38
минимин	1	0,0	667,80	0,0
Гурвиц ( $\alpha=0,5$ , га тенг бўлган ҳолатда)	3	43,83	536,27	131,53
Лаплас-Байес	3	43,83	536,27	131,53
минимакс таваккалчилиги	3	43,83	536,27	131,53

Ушбу бобда, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштиришда тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олиш масалалари ҳам ўрганилган. Қисман ноаниқлик шароитида юқоридаги оптималлаштириш алгоритми тенгсизликлар кўринишидаги функционал чегаравий шартлар бўлмаган тақдирдагина амал қилиши аниқланди. Бундай чегаравий шартлар мавжуд бўлганда, улардан фойдаланиш руҳсат этилмаган ечимларга олиб келиши аниқланди. Шу сабабли, ушбу муаммони бартараф этиш учун, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда, оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган.

Ушбу алгоритмга кўра, шартли-оптимал ечимлар аниқлагандан сўнг, ҳар бир чегаравий функциясининг тенгсизликлар кўринишидаги қийматларидан матрица ҳосил қилинади, уларнинг элементлари мақсад функцияси қиймати (5)га ўхшаш формулалар билан аниқланади. Кейин, ушбу матрицаларнинг элементлари бўйича қабул қилинмайдиган шартли-оптимал ечимлар аниқланади ва уларни кейинги кўриб чиқишдан чиқариб ташланади. Қолган шартли-оптимал ечимлар орасидан, натижавий оптимал ечим минимакс мезонидан фойдаланиб топилади.

Тавсия этилган алгоритмнинг самарадорлигини текшириш учун ҳисобий ИЭСни ўз ичига олган ЭЭТ ҳолатини оптималлаштириш масаласи, учта электр узатиш линияларида қувват оқимлари чегараланган ҳолат учун ечиб

кўрилди, линиялардаги қувват оқимлари ҳисобий станцияларнинг ноаниқ юкламалари ва қувватлари функциялари ҳисобланади:

$$P_{6-3} \leq 470 \text{ МВт}, \quad P_{6-5} \leq 95 \text{ МВт}, \quad P_{0-3} \leq 150 \text{ МВт}.$$

Ушбу узатиш линиялари бўйлаб қувват оқимлари қувватни тақсимланиш коэффициентларидан фойдаланган ҳолда чизиқли формулалар асосида аниқланди.

Тугун юкламаларининг белгиланган қийматлари оралиғи бешта тенг бўлакка бўлинади, ушбу юкламалар ўзгармас деб қабул қилинади. назорат қилинадиган электр узатиш линияларидаги қувват оқимларининг қийматлари матрицаси тузилиши ва оптималлаштириш натижасида: биринчи шартли-оптимал ечим ва уни амалга оширишнинг бешинчи шarti учун 6-5 ва 0-3 ( $P_{6-5}=104,8 \text{ МВт}$ ,  $P_{0-3}=153,5 \text{ МВт}$ ) узатиш линияларидаги чегаравий шартлар; тўртинчи шартли оптимал ечим ва уни амалга оширишнинг биринчи шarti билан 6-3 ( $P_{6-3}=478.3 \text{ МВт}$ ) электр узатиш линияларидаги чегаравий шарт бузилган. Шунинг учун ушбу шартли-оптимал ечимлар, таклиф этилган алгоритмга асосан кейинги ҳисоб-китобларда қатнашмайди, натижавий оптимал ечим қолган 2, 3 ва 5 шартли-оптимал ечимлар орасидан минимакс критериясидан фойдаланиб топилади:

$$\begin{aligned} \min(i)\max(j)B_{ij} &= \min(i)(B_{2\max}; B_{3\max}; B_{5\max}) = \\ \min(2345,5; 2344,4; 2355,8) &= B_{3\max} = 2344,4 \text{ т.ш.й./с.} \end{aligned}$$

Шундай қилиб, учинчи шартли-оптимал ечим оптималдир.

Диссертация ишининг ушбу бобида дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини интервалли ҳисоблаш усуллари билан оптималлаштириш масаласи ҳам ўрганилган.

Оптималлаштириш масаласи умумий кўринишда қуйидагича шакллантирилди:

Мақсад функцияси

$$Z(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12)$$

қуйидаги, тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги оддий ва функционал чегаравий шартлар

- эркли ўзгарувчиларга қўйиладиган оддий чегаравий шартлар

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (13)$$

- эркли ўзгарувчиларнинг баъзи функцияларига қўйилган тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартлар

$$f_j(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j, \quad j = \overline{1, N}, \quad (14)$$

$$g_l(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l, \quad l = \overline{1, L}, \quad (15)$$

ни ҳисобга олиб минималлаштирилсин,

бу ерда:  $\bar{f}_j, \bar{g}_l$  - функциялар чегаравий шартларининг белгиланган қийматлари.

Дастлабки катталикларнинг  $a_1, a_2, \dots, a_m$  қисман ноаниқлиги шароитида уларнинг минимал ва максимал мумкин бўлган қийматлари маълум бўлганда, барча функциялар, хусусан, мақсад функцияси ва чегаравий функциялар ҳам қисман ноаниқ бўлади. У ҳолда юқорида тавсифланган мақсад функцияси

қисман ноаниқ катталиқларнинг мумкин бўлган минимал ва максимал қийматлари орқали аниқланган мақсад функцияларини минималлаштиришга келтирилади. Бунда

$$Z(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12a)$$

$$Z(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12б)$$

функциялари чегаравий шартлар (13)ни ва бошланғич катталиқларнинг минимал ва максимал мумкин бўлган қийматлари билан белгиланадиган функцияларга қўйилган тенглик ва тенгсизликлар кўринишидаги функционал чегаравий шартлар

$$f_j(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j^{\min}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (14a)$$

$$f_j(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j^{\max}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (14б)$$

$$g_l(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l^{\min}, \quad l = \overline{1, L}; \quad (15a)$$

$$g_l(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l^{\max}, \quad l = \overline{1, L}. \quad (15б)$$

ни ҳисобга олган ҳолда минималлаштирилади.

Олинган оптималлаштириш масаласининг ечими (12a) - (15б) иккита аниқ оптималлаш масаласининг эквивалент ечимига алмаштирилади. Биринчи масалада мақсад функция (12a) шаклида ифодаланади ҳамда чегаравий шартлар (13), (14a) ва (15a) дан иборат бўлади. Иккинчи масалада мақсад функция (12б) шаклда, чегаравий шартлар (13), (14a) ва (15б) кўринишида бўлади. Ушбу иккита аниқ оптималлаш масаласини ечиш натижасида изланаётган бошқариладиган катталиқларнинг интервал қийматлари аниқланади. Бундай ҳолда, интервалларнинг пастки чегара қийматлари биринчи масалани ечиш натижасида, юқори чегара қийматлари эса иккинчи масалани ечиш натижасида олинади. Қўйилган масаланинг якуний ечими учун барча белгиланган чегаравий шартлар бажариладиган битта нукта олинади. Ушбу нуктанинг координатлари олинган интервалларда изланаётган катталиқларнинг қийматлари билан аниқланади. Мақсад функциясининг қиймати оптимал ечим нуктасида интервал сифатида қабул қилинади, унинг чегаралари биринчи ва иккинчи аниқ оптималлаш масалаларини ечиш натижасида ҳосил қилинади.

Таклиф этилган алгоритмга асосан, ЭЭТ режимларини оптималлаштиришда тажрибалар асосида қуйидаги хусусиятлар аниқланди.

Тенглик кўринишидаги чегаравий шартлар энергетика тизимидаги актив қувват балансининг шартини ифодалаганлиги сабабли (14a) ва (14б) чегаравий шартларнинг чап томонлари бир хил. Актив қувватлар бўйича чегараланган тугунларнинг интервалли юкларлари билан боғлиқ ташкил этувчиларини бошқариладиган линиялардаги қувват оқимларида тенгсизлик кўринишидаги шакл алмаштиришлар(15a) ва (15б) натижасида, уларнинг чап томонлари бир-хил бўлади. Бундай ҳолда, ҳар-бир аниқ оптималлаш масаласида битта тенглик кўринишидаги чегаравий шарт иштирок этади. (15a) ва (15б) дан олинган тенгсизлик кўринишидаги чегаравий шартларнинг чап томонлари бир-хил бўлганлиги сабабли, ушбу чекловлардан бири, ўнг томони кичик бўлган чегаравий шарт иккала аниқ оптималлаш масаласида

иштирок этади. Бундай ҳолда, ўнг томони катта бўлган иккинчи чегаравий шарт пассив чегаравий шартга айланади ва шунга кўра оптималлаштиришда иштирок этмайди. Кўриб чиқиладиган оптималлаштириш масаласининг ушбу хусусиятларидан келиб чиқиб, тугунлар қувватнинг тақсимот коэффициентларидан фойдаланган ҳолда чизиқли формулалар бўйича қувват оқимларини ҳисоблаш шароитида балансловчи станциянинг оптимал қуввати ва мақсад функцияси қиймати интервал шаклида олинади. Диссертация ишида кўриб чиқилган масала учун ИЭСларнинг қуйидаги оралиқ қуввати ва улардаги эквивалент ёқилғининг умумий сарфланиши олинган:

$P_0 = [127,72; 247,70]$  МВт,  $P_1 = [547,71; 547,77]$  МВт,  $P_6 = [326,67; 326,84]$  МВт,  $P_7 = [637,67; 637,91]$  МВт,  $B = [856,11; 902,65]$  т.ш.й./с.

Шундай қилиб, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш учун, бу ерда таклиф қилинган интервалли ҳисоблаш алгоритмидан фойдаланганда, татбиқ этиш учун энергетика тизими диспетчерига электр станцияларининг оптимал қийматлари интервал кўринишида берилади. Ушбу вақт оралиғида станция қувватларини ўрнатиш тўғрисидаги якуний қарорни қабул қилиш диспетчернинг ихтиёрига қолади. Шунга кўра, ушбу алгоритмнинг нисбатан юқори ишончилиги ва ҳисоблаш тезлиги туфайли ЭЭТнинг оператив режимларини оптималлаштириш учун ушбу алгоритмдан фойдаланиш тавсия этилади, чунки бунинг учун талаб қилинадиган ҳисоблаш операциялари сони анча кам. Натижада тахминий ечим, лекин рухсат этилган ечимни беради.

Ушбу бобда, шунингдек, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш учун регрессия моделларидан фойдаланиш имкониятлари ўрганилган. Маълумки, бундай моделларнинг ўзига хос хусусияти - бошқариладиган катталикларнинг уларга таъсир этувчи омилларга статистик боғлиқлигини аниқлашдир. Электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштириш масалаларида бундай катталиклар оптималлаштиришда қатнашадиган станцияларнинг актив қувватлари ҳисобланади. Регрессия тенгламалари мос усуллар ёрдамида регрессион таҳлил ва боғлиқликларни яқинлаштириш асосида олдиндан аниқланади. Одатда, кейинги фойдаланишларга қулай бўлиши учун кичик квадратлар усули билан аппроксиматсия қилиш натижасида ҳосил қилинган ҳар-хил даражадаги алгебраик функциялар регрессия функцияси сифатида ишлатилади.

Ушбу диссертация ишида, регрессия тенгламаларининг натижаси сифатида - станцияларнинг оптималлаштириладиган актив қувватлари, квадрат шаклдаги регрессия тенгламалари қабул қилинган

$$P_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n a_{ijk} P_j P_k ,$$

бу ерда  $n$  - қисман ноаниқ юкламаларнинг тугунлари сони;  $P_j$ ,  $P_k$  - оқимликлар - тугун юкламалари;  $a_{i0}$ ,  $a_{ij}$ ,  $a_{ijk}$  - регрессия тенгламасининг коэффициентлари. Улар статистик эксперимент асосида олинган боғлиқликларни таққослаш йўли билан аниқланади.

Статистик тажрибаларда тугун юкламаларининг қийматлари маълум ораликда тасодифий сонлар генератори томонидан берилади. Оптималлаштиришда иштирок этадиган станциялар актив қувватларининг мос қийматлари аниқ оптималлаш усули асосида аниқланди.

Регрессия тенгламаларининг адекватлигини текшириш энергетика тизимининг ҳолатини 2, 3, 4 ва 5 тугунларнинг аниқ юкламаларида оптималлаштириш ва регрессия тенгламаларини қўллаш натижасида олинган ИЭС қувватларидаги эквивалент ёқилғининг умумий сарфини ҳисоблаш асосида ва шунингдек, Фишер мезониға мувофиқ текширилди.

Статистик тажриба, ҳамда экспериментал режалаштириш асосида олинган коэффициентлар билан регрессия тенгламаларини ишлатишда эквивалент ёқилғининг умумий сарфланишининг ўртача квадратик четлашишлари 0,1% дан кам бўлиб чиқди. Бу амалий ҳисоб-китобларға қўйиладиган талабларни қондиради.

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, тугунларнинг юкламалари тўғрисида дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартлар мавжуд бўлмаганда регрессия усулларидан фойдаланиб оптималлаштиришнинг тавсифланган алгоритми юқори ҳисоблаш самарадорлиғиға эға эканлиги аниқларди. Ҳар бир ноаниқ юклама учун учта қийматни (минимал, ўртача ва максимал) танлаш билан экспериментал режалаштириш асосида олинган регрессия моделлари, амалий мақсадлар учун етарлича аниқлик билан оптимал натижани олишға имкон беради. Шу билан бирға, ЭЭТда тенгсизликлар кўринишидаги функционал чегаравий шартлар мавжуд бўлганда руҳсат этилмаган ечимлар олиниши аниқланди. Кўриб чиқилган мисоллардан бирида, тузилган регрессия тенгламалари билан аниқланган станция қувватларида маълум диапазонда тасодифий танланган тугун юкламалари бўлган 100 ҳолатдан 86 тасида тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларнинг баъзи қийматлари бузилганлиги аниқланди.

Шундай қилиб, дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштириш учун, тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий мавжуд бўлганда, регрессия моделларидан фойдаланиш мумкун эмаслиги аниқланди

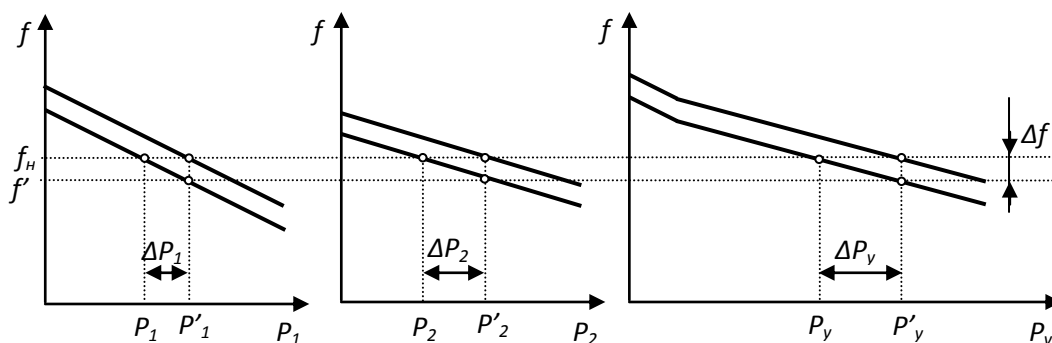
Диссертациянинг тўртинчи «**Частотанинг ўзгаришини ҳисобға олган ҳолда дастлабки маълумотларнинг эҳтимоллий шароитида электр энергетика тизимларининг режимларини оптималлаштириш**» боби дастлабки маълумотларнинг эҳтимоллиги ва қисман ноаниқлиги шароитида ЭЭТ режимларини оптималлаштиришда частота ўзгаришини ҳисобға олиш масалаларини ўрганишға бағишланган.

Энергетика тизимининг алоҳида тугунларида реал юкламаларнинг, режалаштирилган қийматларидан оғиши, актив қувват нобалансига ва частотанинг номинал қийматида мос равишда оғишиға олиб келади. Частотанинг оғиши истеъмолчилар юкламаларининг статик хусусиятларига ва станция турбиналарининг тезликни ростлаш коэффициенти статик

хусусиятларига боғлиқ ҳолда ўзгаришига олиб келади. Натижада, ҳисоб-китоб жараёнида битта балансловчи станция орқали етишмаётган қувватни қоплаш, энергетика тизимининг ҳақиқий ҳолатидан фарқ қилиши мумкин. Шунинг учун энергетика тизими режимларини режалаштириш тугун юкламалари, уларнинг тахминий олинган қийматларидан мумкин бўлган оғишларини ва энергетика тизимидаги мос келадиган частотали оғишларни ҳисобга олган ҳолда амалга оширилиши керак. Шу муносабат билан, частота ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларида ЭЭТнинг қисқа муддатли режимларини оптималлаштириш алгоритми таклиф этилади.

Таклиф этилган алгоритмга асосан: энергетика тизими юкламасининг режалаштирилганидан оғиши частота оғишига олиб келади. Рухсат этилган чегарада частотани ушлаб туриш учун  $\Delta P_y$  қувват фарқи энергетика тизимининг умумий захирасига эга ва частотани бошқаришда иштирок этадиган электр станциялари орасида қопланади. Бундай станциялар ўртасида юкламанинг умумий оғиши  $\Delta P_y$  нинг тақсимланиши улардаги турбина тезлик ростлагичининг хусусиятларига кўра амалга оширилади.

2-расмда умумий юклама  $P_y$  ва унинг четлашиши  $\Delta P_y$  нинг иккита станция ўртасида, турбина статик характеристикасининг тезлик ростлагичи хусусиятларига асосан тақсимланиши келтирилган.



**2-расм. Станциялар ўртасида юкламани турбина тезлик ростлагичининг статик хусусиятларига мувофиқ тақсимланиши**

Иккита станция учун умумий юклама номинал частота  $f_n$  да улар орасида тақсимланади ва электр станцияларининг қуввати  $P_1$ ,  $P_2$  га тенг бўлади.  $\Delta P_y$  юкламасининг ортиши (бу ҳолда, умумий юк  $P'_y = P_y + \Delta P_y$ ) ҳам худди шу тарзда станциялар ўртасида тақсимланади ва уларнинг қувватлари куйидагича бўлади:

$$P'_1 = P_1 + \Delta P_1, \quad P'_2 = P_2 + \Delta P_2.$$

Тизимдаги частота  $f$  га тенг бўлади. Агар янги  $f'$  частота рухсат этилган қийматдан кам бўлса, у ҳолда Станцияларда турбина тезлигини ростлагичлари ишга туширилади, натижада уларнинг статик тавсифлари дастлабки ҳолатга нисбатан  $\Delta f$  га кўтарилади. Натижада, номинал частота станциянинг янги қуввати билан тикланади.

Қувват захираси бўлган электр станциялари ўртасида умумий юкламаларнинг оғишларини тақсимланишини аниқлаш учун, график усулдан

фойдаланиш ҳисоб-китоблар билан боғлиқ бўлган қийинчиликлар ва ноаниқликларни келтириб чиқаради. Шунинг учун турбина тезлик регуляторларининг статик хусусиятларини ифодалашда куйидаги аналитик ифодалардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир:

$$\Delta P_1 = k_1 \Delta f, \quad \Delta P_2 = k_2 \Delta f, \quad (16)$$

$$\Delta f = \Delta P_y / (k_1 + k_2), \quad (17)$$

бу ерда  $k_1, k_2$  - станцияларда турбина тезлик ростлагичининг статик хусусиятларининг коэффициентлари.

Дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли шароитида ЭЭТ режимларини тавсия этилган оптималлаштириш алгоритмининг моҳияти куйидагича:

1) барча чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда  $P_{y1}, P_{y2}, \dots, P_{ym}$  юкламалари билан оптималлаштириш масалаларини ечиш натижасида  $p_{y1}, p_{y2}, \dots, p_{ym}$  юзага келиш эҳтимоли билан мос равишда тегишли шартли-оптимал ечимлар олинади;

2) уларни амалга оширишнинг барча мумкин бўлган шароитларида, шартли- оптимал ечимларнинг ҳар бири учун мақсад функциясининг қийматлари ҳисобланади. Ушбу босқичда мос келадиган шартли-оптимал ечимни ва бошқа мумкин бўлган (эҳтимоллик) юкламани олиш учун ишлатиладиган умумий юкламанинг фарқи туфайли олинган умумий юкламадаги оғиш, уларнинг турбиналари тезлигини ростлагичларининг хусусиятларига мувофиқ частоталарни бошқаришда иштирок этадиган станциялар ўртасида тақсимланади. Бундай ҳолда, частота оғиши (17) формуласи билан аниқланади ва тегишли станция қувватлари эса - (16) бўйича белгиланади. Мақсад функциясининг олинган қийматлари асосида матрица ҳосил бўлади, унинг элементлари  $B_{ij}$  мақсад функциясининг қийматларини ифодалайди,  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m$ ;

3) мақсад функциянинг математик кутилмаларини таққослаш асосида оптимал режа шартли-оптимал ечимлар сонидан танланади.

Таклиф этилган алгоритмнинг самарадорлигини ўрганиш учун, дастлабки маълумотлар эҳтимолли бўлган шароитида энергетика тизими ҳолатини оптималлаштириш масаласи кўриб чиқилади. Таққослаш учун 3-жадвалда балансловчи ИЭС ёки иккита ИЭСнинг частотани ростлашда иштирок этиши билан ҳар хил шартли-оптимал ечимларда олинган 1 ва 3 ИЭСларнинг қувватлари кўрсатилган.

### 3-жадвал

#### Ҳар хил шартли-оптимал ечимлар учун ИЭС қувватлари

Режа рақами	Битта балансловчи ИЭС частотани ростлашда иштирок этганда		Иккита ИЭС частотани ростлашда иштирок этганда	
	$P_1$ , МВт	$P_3$ , МВт	$P_1$ , МВт	$P_3$ , МВт
1	625,64	448,81	659,92	414,52
2	665,64	448,81	682,78	431,67
3	705,64	448,81	705,64	448,81
4	745,64	448,81	728,49	465,95
5	785,64	448,81	751,35	483,09

Кўриб чиқилган мисолда частотани ростлашда битта балансловчи ИЭС иштирок этганда мос равишда, мақсад функциясининг математик кутилмаси 525,96 т.ш.й/с, ва иккита ИЭС иштирокида - 525,25 т.ш.й/с ларга тенг бўлди. Шундай қилиб, тавсия этилган алгоритмдан фойдаланишнинг соатлик иқтисодий самараси 0,71 т.ш.й/с ёки 0,13% ни ташкил қилади.

## Хулоса

**«Электр энергетика тизимининг ҳолатларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлган шароитларда оптималлаш»** диссертацияси доирасида олиб борилган илмий тадқиқотлар натижаларига кўра қуйидаги хулосалар келтирилган:

1. Электр энергетика тизимлари режимларини дастлабки маълумотларнинг эҳтимолий характери шароитида тенгсизлик кўринишидаги оддий ва функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш алгоритми ва дастурий таъминоти ишлаб чиқилган ва жорий этилган. Натижада рухсат этилган соҳада энергетика тизимининг оптимал иш ҳолатини аниқлашга имкон яратилган.

2. Минимакс мезонига асосланиб тугун юкламалари тўғрисида дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида тенгсизликлар кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган. Бу эса барча турдаги ҳолат ва технологик чегаравий шартлар бажарилганда энергетика тизимининг қисқа муддатли ҳолатини оптимал режалаштиришни таъминлаган.

3. Дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаштириш муаммоларини ечишнинг оптимал режасини аниқлаш учун кафолатланган иқтисодни ҳисоблаш асосида, қўшимча мезонларнинг самарадорлигини аниқлаш алгоритми таклиф этилган. Натижада ушбу алгоритмдан фойдаланиш самарадорлиги ҳар хил қўшимча мезонларга кўра олинган барча шартли оптимал ечимлар орасидан энг кам ёқилғи сарфлаш нуқтаи назаридан оптималини танлашга имконият яратилганлиги билан баҳоланади.

4. Дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаштириш учун регрессия усуллариининг имкониятларини ўрганиш асосида кўриб чиқиладиган масалани ечиш учун ушбу моделларидан тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартлар мавжуд бўлмаган ҳолларда фойдаланиш мумкинлиги аниқланган.

5. Оператив оптимал режалаштириш мақсадларида самарали ишлатилиши мумкин бўлган интервалли ҳисоблаш усуллари асосида дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаштириш алгоритмлари таклиф қилинган. Натижада ушбу алгоритм электр энергетика тизимларининг оператив режимларини тез ва самарали оптималлаш имконини берган.



6. Электр энергетика тизимлари режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ва қисман ноаниқ бўлганда частота ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган. Натижада соатига 0,71 т.ш.ё. тежалган.

7. Ушбу диссертация доирасида олиб борилган илмий-тадқиқот ишларининг натижалари «Ўзбекистон миллий электр тармоқлари» АЖ миллий диспетчерлик марказига энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини режалаштириш учун жорий этилган. Натижада олинувчи иқтисодий самара 215,72 миллион сўмни ташкил этган.

**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**

**ЛАТИПОВ ШЕРХОН ШУХРАТОВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВЕРОЯТНОСТИ И ЧАСТИЧНОЙ  
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Тошкент – 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистана за № В2019.4.PhD/Т1448

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:

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

Официальные оппоненты:

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

**Садуллаев Насулло Нематович**  
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

**Ташкентский государственный  
транспортный университет**

Защита диссертации состоится «1» 12 2020 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. Адрес: 100095, г. Ташкент ул. Университетская 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32 e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер -177). Адрес 100095, г. Ташкент, ул. Университетская 2. Тел. (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «19» 11 2020 года.  
(реестр протокола рассылки № 10 от «19» 11 2020 года.



**К.Р. Аллаев**

Председатель научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор, академик

**О.Х. Ишназаров**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник

**М.И. Ибадуллаев**

Председатель научного семинара  
при научном совете по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

## ВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии PhD)

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире как одна из актуальных задач особое внимание уделяется вопросам определения оптимальных режимов энергосистем в процессе производства, передачи и распределения электроэнергии. В настоящее время в развитых странах мира «определена возможность сокращения экономических затрат на 1,6% за счет учета неопределенности исходной информации»<sup>3</sup>. В этом направлении особое внимание уделяется, в частности, задачам оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с учетом вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации, полученные путем прогнозирования.

В мире особое внимание уделяется задачам оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС), где как исходные данные используются, в частности, расчётные параметры схем электрических сетей и нагрузки узлов электропотребления, определяемые на основе прогнозирования соответствующими методами, которые имеют некоторые погрешности. Погрешности в значениях расчетных параметров обычно связаны с изменениями погодных условий и загрузкой элементов сети, поэтому для обеспечения достаточной точности планирования режимов, эти параметры можно предварительно пересчитывать с учётом соответствующих поправочных коэффициентов. Многие существующие и используемые на практике, методы и алгоритмы решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов ЭЭС, предусматривают использования детерминированной исходной информации. В таких случаях, получаемые режимы ЭЭС тоже имеют соответствующие погрешности, которые приводят к уменьшению получаемого эффекта от оптимизации. В связи с этим, для достижения оптимального по всем критериям режима ЭЭС расчеты должны осуществляться с учетом вероятностного характера и частичной неопределенности исходных данных о нагрузках узлов, получаемой в результате прогнозирования.

В настоящее время энергосистема Республики Узбекистан, которая является одним из важных отраслей экономики, функционирует параллельно с энергосистемами ряда соседних государств в составе межгосударственного энергообъединения. При этом одной из основных задач, в соответствии со Стратигией развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы предусмотрено «...сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии, повышение производительности труда в отраслях экономики...»<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Tianqi Hong., Ashhar Raza and Leon Fellow., Optimal Power Dispatch Load Uncertainty Using a Stochastic Approximation Method. /IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 31, NO.6, NOVEMBER 2016.

<sup>4</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Данное диссертационное исследование служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлениях Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы» и №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго-ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования в направлении развития методов и алгоритмов оптимизации режимов электроэнергетических систем при различных характерах используемой исходной информации выполняются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, в University California (USA), New Jersey University (USA), Polytechnic University Milan (Italy), University of Limburg in Maastricht (Belgium), Mersin University (Turkey), Tallinn University of technology (Estonia), Tokyo Metropolitan University (Japan), South China University of Technology (China), Western Australia University (Australia), Институте систем энергетики имени Мелентьева (ИСЭМ, Россия), Новосибирском техническом университете (Россия), Уральском техническом университете (УПИ, Россия), Национальном исследовательском университете (МЭИ) (Россия), Всероссийском научно-техническом институте (ВНИИЭ) (Россия), Ташкентский государственный технический университет, ООО «Научно-технический центр» (Узбекистан), ООО «Узэнергоцентр» (Узбекистан).

Большой вклад в развитии методов и алгоритмов расчета и оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности внесли зарубежные ученые такие, как Shuya Li, David W. Coit, Braspenning, P.J., Jia N.X., Yokoyama R., Zhu J., Yurievich J., Valdma M., Liik O., Tammoja H., Abasi K., Colorni A., Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Семенов В.А., Воропай В.И., Арзамасцев Д.А., Гамм А.З., Мисриханов М.Ш., Обоскалов В.П., Манусов В.З., Шепилов О.Н., Лыкин А.В., Гонштейн В.М., Цветков Е.В. и отечественные ученые как Фазылов Х.Ф., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Абдуллаев Д.А., Соколов В.К., Юлдашев Х.Ю., Гайибов Т.Ш., Сытдыков Р.А., Хамидов Ш.В., Шарипов У.Б. и многие другие.

Несмотря на значительные достижения в решении рассматриваемой проблемы, недостаточно изученными остаются вопросы оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной

неопределённости исходной информации с учётом режимных и технологических ограничений, представляемых в виде неравенств. В данной работе рассматриваются вопросы оптимизации краткосрочных режимов энергосистемы в условиях вероятности и частично неопределённости исходная информация с учетом выраженной в виде неравенства и технологических ограничения и предлагаются их решения.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательской работы прикладных проектов Ташкентского государственного технического университета: ИТД-3-128 «Минимизация потерь при передаче электроэнергии по основным электрическим сетям Республики Узбекистан оптимизацией реактивных мощностей источников и коэффициентов трансформации трансформаторов» (2012-2014) и А-3-96 «Оптимальное управление нагрузкой электропотребителей энергосистемы Республики Узбекистан» (2015-2017).

**Цель исследования.** Разработка алгоритмов решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации с учетом режимных и технологических ограничений в виде равенств и неравенств.

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

исследование и анализ современного состояния оптимального планирования краткосрочных режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации;

усовершенствование методов и алгоритмов оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации с учетом простых и функциональных ограничений в виде неравенств;

создание алгоритма оценки эффективности дополнительных критериев, используемых для выбора оптимального плана в условиях частичной неопределённости исходной информации;

исследование эффективности использования методов интервальных расчетов для решения задач оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации;

исследование возможностей использования регрессионных методов для решения задачи оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации.

исследование проблемы учета изменения частоты при решении задач оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации.

**Объектом исследования** являются электроэнергетическая система с расчётными электростанциями и нагрузками, имеющими вероятностный и

частично неопределенный характер, а также топливные издержки в тепловых электростанциях.

**Предметом исследования** являются математические модели, методы и алгоритмы решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом всех видов режимных и технологических ограничений.

**Методы исследования** базируются на современной теории расчёта и оптимизации режимов ЭЭС, методах линейного и нелинейного математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, а также методах системного анализа.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан и программно реализован алгоритм оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации о нагрузках потребителей с учетом простых и функциональных ограничений в виде равенств и неравенств;

разработаны алгоритм и программа оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации о нагрузках узлов с учетом режимных и технологических ограничений в виде равенств и неравенств;

предложен дополнительный критерий для выбора оптимального плана при решении задачи оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации;

разработан алгоритм оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации с учетом всех видов режимных и технологических ограничений на основе методов интервальных расчетов;

предложен алгоритм оптимального планирования краткосрочных режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации о нагрузках потребителей с учетом изменения частоты в энергосистеме.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработаны алгоритм и программа оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом всех видов ограничений;

предложены алгоритм и программа оптимального планирования краткосрочных режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации с учетом ограничений;

на основе исследований, предложен алгоритм эффективного построения регрессионной модели для оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации, который может быть использован при отсутствии функциональных ограничений в виде неравенств;

предложен и программно реализован алгоритм оптимального планирования краткосрочных режимов ЭЭС в условиях вероятностного

характера и частичной неопределённости исходной информации с учетом изменения частоты в энергосистеме.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается многочисленными экспериментальными расчетами с использованием современных средств и методик проведения исследований, которые базируются на современных теориях расчета режимов ЭЭС, методах линейного и нелинейного математического программирования, теории вероятностей и математической статистики, а также на методах системного анализа.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость полученных результатов характеризуется разработанными методами и алгоритмами оптимизации краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом режимных и технологических ограничений в виде неравенств.

Практическая значимость полученных результатов исследования состоит в разработанных программах оптимизации краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом ограничений. Разработанные алгоритмы и программы расчётов используются для оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом всех режимных и технологических ограничений; определения для каждого интервала периода планирования оптимальных мощностей расчётных станций; определения оптимальных режимов работ электростанций и элементов электрических сетей; рационального учета изменения частоты в энергосистеме.

**Внедрение результатов исследования.** Разработанные математические модели и алгоритмы оптимизации краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации с учетом ограничений программно реализованы и на них получены свидетельства республиканского агентства интеллектуальной собственности. На основе полученных результатов:

алгоритм оптимизации суточных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации о нагрузках потребителей с учетом ограничений в виде равенств и неравенств внедрен в национальный диспетчерский центр АО «Национальные электрические сети Узбекистана» при оптимизации суточного режима энергосистемы Республики Узбекистан (Справка № 01-02-06/3238 от 17.09 2020 года АО «НЭС Узбекистана»). В результате достигнуто уменьшение суммарного суточного расхода условного топлива в ТЭС на 15,8 т.у.т.;

алгоритм оптимального планирования краткосрочных режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределенности исходной информации о нагрузках узлов с учетом ограничений внедрен в



национальный диспетчерский центр АО «Национальные электрические сети Узбекистана» при оптимальном планировании режимов зимнего сезона энергосистемы Республики Узбекистан (Справка № 01-02-06/3238 от 17.09.2020 года АО «НЭС Узбекистана»). В результате обеспечено сокращение суммарного расхода условного топлива в ТЭС на 1024,33 т.у.т.;

разработанные алгоритмы и программы оптимизации краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом всех ограничений на основе использования дополнительного критерия внедрены в национальный диспетчерский центр АО «Национальные электрические сети Узбекистана» для оптимального планирования режима энергосистемы (Справка № 01-02-06/3238 от 17.09.2020 года АО «НЭС Узбекистана»). В результате суммарные топливные издержки в ТЭС уменьшены на 215,72 млн. сумов.

**Апробация результатов исследований.** Результаты исследования прошли апробацию на 5 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и 3 республиканских научных и научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 5 статей в зарубежных журналах (2 статей в научных конференциях включенных в базу данных Scopus), 3 статей в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (PhD), 2 авторских свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 3 статей в сборниках научных конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В введении** обосновывается актуальность и востребованность проведённого исследования, представлены цель и задачи, характеризуются объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов описана научная и практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения по внедрению, апробациям и публикациям результатов исследования, а также структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ существующего состояния оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации**» сформулирована задача комплексной оптимизации режимов

электроэнергетических систем (ЭЭС) по всем переменным и обоснована целесообразность её решения на основе декомпозиции на две подзадачи – оптимизацию режимов по активной мощности и оптимизацию режимов электрических сетей. Осуществлен анализ существующих методов и алгоритмов оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации.

В настоящее время, существует множество методик решения рассматриваемой задачи, основанных на использовании классических, регрессионных, эвристических, эволюционных, методов не четкого множества и др. методов оптимизации. На основе их анализа сделан вывод о том, что методы и алгоритмы решения задачи, в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации, должны быть развиты в направлении повышения точности и эффективного учета влияющих факторов как простых и функциональных ограничений в виде неравенств, регулирующих возможностей электрических станций в соответствии со статическими характеристиками регуляторов скоростей.

Вторая глава диссертации **«Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера исходной информации»** посвящена исследованию вопросов оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации. В таких задачах, вероятностным или частично неопределённым характером может обладать информация о параметрах электрических сетей и нагрузках узлов. Такой характер параметров электрических сетей связан с погодными условиями и загрузкой элементов. Существующие методы учёта таких факторов для оптимизации режимов ЭЭС на основе ввода поправочных коэффициентов дают возможности определения значений этих параметров с достаточной для практических целей точностью. Однако, учёт такого характера нагрузок узлов требует использования специальных методов и алгоритмов.

Таким образом, задачу оптимизации режимов ЭЭС для любого интервала периода планирования в условиях вероятностного характера нагрузок узлов можно сформулировать в следующем виде:

минимизировать функцию суммарных топливных издержек в тепловых электростанциях (ТЭС)

$$B = \sum_{t=1}^T B_t, \quad (1)$$

с учетом ограничений по балансу мощности в энергосистеме

$$\sum_{t=1}^T P_t = \sum_{k=1}^K P_k, \quad (2)$$

минимальным и максимальным возможным мощностям станций

$$P_t^{\min} \leq P_t \leq P_t^{\max}, \quad t=1, 2, \dots, T, \quad (3)$$

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

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

где  $T, K$ - числа расчётных ТЭС и нагрузочных узлов в ЭЭС;  $P_t, P_t^{\min}, P_t^{\max}$  - расчётный и заданные предельные значения мощности  $t$ - й ТЭС;  $P_l, P_l^{\min}, P_l^{\max}$  - расчётный и заданный предельные значения потока активной мощности по  $l$ - й контролируемой ЛЭП;  $P_k$ - нагрузка  $k$ - го узла, носящая вероятностный характер с известным законом распределения.

Решение описанной задачи сводится к минимизации математического ожидания целевой функции (1) с учетом ограничений (2)-(4). Для описания алгоритма рассмотрим случай, когда нагрузка в одном узле  $P$  носит вероятностный характер:

в заданном диапазоне изменения исходного параметра  $P$  выбирается  $m$  участков, в которых он имеет значения  $P_1, P_2, \dots, P_m$  с соответствующими к заданному закону распределения вероятностями появления  $p_1, p_2, \dots, p_m$ ;

при выбранных значениях исходного параметра  $m$  раз решается детерминированная оптимизационная задача. В результате находятся условно-оптимальные планы  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ , которые образуют матрицу столбца;

по известным значениям исходного параметра и полученным условно-оптимальным планам вычисляются соответствующие значения целевой функции, представляющей собой функцию суммарных топливных издержек (или суммарных расходов условного топлива) в ЭЭС

$$B_{ij}=f(Z_i, P_j), \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

которые образуют матрицу, имеющую размерность  $m \times m$ ;

для каждого условно-оптимального плана  $Z_t$  вычисляются математические ожидания целевой функции

$$MB_t = \sum_{j=1}^m p_j B_{tj}, \quad t=1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

план  $Z_t$ , при котором математическое ожидание целевой функции имеет минимальное значение, принимается как оптимальный.

Если исходными вероятностными параметрами являются два параметра  $P_{1i}, i=1, 2, \dots, m$  и  $P_{2j}, j=1, 2, \dots, n$  с соответствующими законами распределения  $p_{1i}, i=1, 2, \dots, m$  и  $p_{2j}, j=1, 2, \dots, n$ , то множество условно-оптимальных планов, получаемое в результате расчёта по такому алгоритму образуют двухмерную матрицу с элементами  $Z_{ij}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ . Соответственно, условия реализации этих планов и матрица являются трехмерными с элементами, определяемыми как

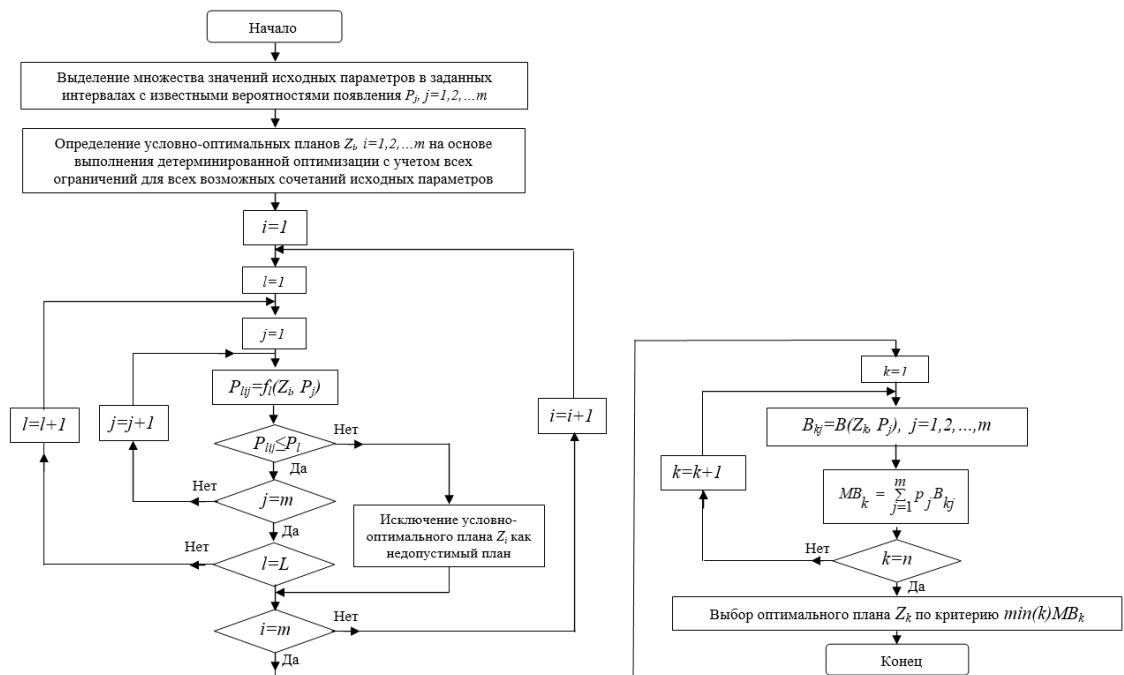
$$B_{ijk}=f(Z_i, P_{1i}, P_{2j}), \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, n; \quad k=1, 2, \dots, n.$$

Математические ожидания целевой функции, соответствующие полученным условно-оптимальным планам, определяются по следующей формуле:

$$MB_t = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n p_j p_k B_{tjk}, \quad t=1, 2, \dots, m \cdot n. \quad (7)$$

На основе расчетно-экспериментальных исследований выявлено, что хотя с увеличением число узлов с вероятностным характером нагрузок размерность получаемой матрицы и, соответственно, объем выполняемых вычислительных операций сильно растёт, возможности современных вычислительных средств позволяет эффективно решить задачу в условиях отсутствия функциональных ограничений в виде неравенств.

В условиях существования ограничений в виде (4), в результате расчётов по описанному алгоритму может получиться недопустимый план с нарушенными ограничениями. Для преодоления такой проблемы в этой главе предложен новый алгоритм оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом функциональных ограничений в виде неравенств. Укрупненная блок-схема этого алгоритма представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации о нагрузках узлов**

Эффективность предложенного алгоритма исследована, в частности, на примере оптимизации режима ЭЭС с четырьмя расчётными ТЭС, четырьмя нагрузочными узлами, мощности которых носят вероятностный характер, и тремя контролируруемыми ЛЭП, потоки мощностей в которых ограничены:

$$P_{6-3} \leq 470 \text{ МВт}, \quad P_{6-5} \leq 95 \text{ МВт}, \quad P_{0-3} \leq 150 \text{ МВт}.$$

В таблице 1 приведены потоки мощности по контролируемой ЛЭП 6-3 при полученных по описанному выше алгоритму условно-оптимальных планах.

Таблица 1

**Потоки мощностей по контролируемой ЛЭП  $P_{6-3}$  при полученных условно-оптимальных планах**

Номер плана	Возможные нагрузки ЭЭС, МВт				
	1620	1710	1800	1890	1980
	Вероятности появления нагрузки ЭЭС				
	0,12	0,242	0,3	0,242	0,12
	Потоки мощности по ЛЭП $P_{6-3}$ , МВт				
1	459,5	427,8	417,5	407,8	396,1
2	<b>472,2</b>	465,0	<b>471,2</b>	461,3	451,1
3	379,6	454,1	469,8	434,1	422,4
4	<b>586,0</b>	<b>575,1</b>	<b>564,8</b>	470,0	<b>544,9</b>
5	<b>590,2</b>	<b>580,3</b>	<b>562,3</b>	451,6	470,0

При использовании описанного выше алгоритма определим, что условно-оптимальные план 2, 4 и 5 являются недопустимыми, так как ограничения по контролируемой ЛЭП, при некоторых условиях их реализации, нарушаются. Соответственно, эти планы исключаем из дальнейшего рассмотрения и оптимальный план ищем среди двух остальных условно-оптимальных планов 1 и 3. Сравнивая математические ожидания для них  $MB_1 = 2312,37$  т.у.т./ч. и  $MB_3 = 2304,68$  т.у.т./ч., как оптимальный принимаем 3- й условно-оптимальный план.

В третьей главе диссертации «**Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределённости исходной информации**» исследованы вопросы оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации. При частичной неопределённости параметра  $P$ , обычно, известными являются лишь минимальное и максимальное граничные значения интервала его возможных истинных значений.

Рассмотрим сущности оптимизации в условиях частичной неопределённости исходной информации для типичного случая, наблюдаемой в задачах оптимизации режимов ЭЭС, где наиболее часто нагрузка задается в виде некоторого отрезка  $[P_{min}, P_{max}]$ , внутри которого не известны какие-либо вероятностные характеристики ввиду их неизвестности. Причем нагрузкам внутри отрезка не приписываются какие-либо вероятностные характеристики, поскольку они неизвестны. В таком случае, для решения задачи в заданном интервале выбирается множество значений нагрузки  $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ , причём  $P_1 = P_{min}$  и  $P_n = P_{max}$ . При этом число возможных значений нагрузки в заданном диапазоне рекомендуется выбрать с учетом обеспечения требуемой точности решения задачи оптимизации и приемлемого объема выполняемых вычислительных операций.

Затем  $n$  раз решается детерминированная задача оптимизации при конкретных принятых значениях нагрузки в заданном интервале  $P_k = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ . В результате таких расчетов получаются соответствующие оптимальные значения отыскиваемого параметра  $z_k = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ . Затем вычисляются значения целевой функции при полученных условно-оптимальных планах и всех возможных условиях их реализации  $B_{kj} = f(z_k, P_j)$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ , которые образуют матрицы  $n \times n$ . Выбор наилучшего плана среди полученных условно-оптимальных планов на основе использования полученной матрицы представляется не возможным без применения дополнительных критериев, так как при неизвестных вероятностях исходной нагрузки различным условиям реализации планов соответствуют различные значения целевой функции  $B_{kj}$ .

В общем случае, в качестве дополнительного критерия для выбора единственного оптимального плана среди всех возможных условно-оптимальных планов могут быть использованы критерии минимакса (критерий Вальда), минимина, Гурвица, Лапласа-Байеса и минимаксного риска (критерий Севиджа).

В работе, на основе анализа этих критериев, как наиболее эффективный, выбран критерий минимакса. При этом, исходим из предположения, что какой бы мы план не приняли, условия его реализации будут обязательно самыми плохими. Например, если мы примем план  $z_1$ , оптимальный при нагрузке  $P_1$ , то обязательно появится нагрузка не  $P_1$ , а  $P_4$ , при которой целевая функция имеет наибольшее (при условии её минимизации) значение среди всех возможных значений для данного плана.

В таком случае, целесообразно принять как оптимальный тот условно-оптимальный план, для которого максимальное значение целевой функции меньше, чем её максимальное значение для любого другого условно-оптимального плана:

$$B_{on} = \min(k) \max(j) B_{kj}, \quad (8)$$

где,  $B_{on}$  - оптимальное значение целевой функции;  $k, j$  - номера условно-оптимального плана и условия его реализации;  $B_{kj}$  - значение целевой функции при  $k$ -м условно-оптимальном плане и  $j$ -й условия его реализации.

Для оценки эффективности перечисленных выше дополнительных критериев в работе осуществлен выбор оптимального плана для различных задач оптимального распределения частично неопределенной нагрузки энергосистемы между ТЭС и расчет возможных перерасходов условного топлива по сравнению с её значениями при наиболее благоприятных (полученных по критерию минимина) и наихудших (полученных по критерию минимакса) условиях:

$$\Delta B_{i,min} = \min(j) B_{ij} - \min(i) \min(j) B_{ij}, \quad (9)$$

$$\Delta B_{i,max} = \max(j) B_{ij} - \min(i) \min(j) B_{ij}. \quad (10)$$

Разность между максимально возможным перерасходом условного топлива  $\min \min \Delta B_{i,max}$ , полученным при использовании критерия минимина и

максимальным возможным перерасходом, полученным при использовании рассматриваемого критерия  $\Delta B_{i,max}$  можно назвать гарантированной экономией для данного критерия:

$$\Delta \Delta B_i = \min \min \Delta B_{i,max} - \Delta B_{i,max}, \quad i = 1, 2, \dots, 5. \quad (11)$$

В таблице 2 приведены минимально возможные и максимально возможные перерасходы по сравнению с наиболее благоприятным условием (полученным при использовании критерия минимина) и гарантированные экономии в суммарном расходе условного топлива при использовании различных критериев для определения оптимального плана.

**Таблица 2**

**Максимальные возможные перерасходы топлива от возможных отклонений суммарной нагрузки энергосистемы, т.у.т./ч**

Критерии	Оптимальные планы	$\Delta B_{i,min}$ , т.у.т./ч.	$\Delta B_{i,max}$ , т.у.т./ч.	$\Delta \Delta B_i$ , т.у.т./ч.
Минимакс (Вальд)	5	175,36	492,42	175,38
Минимин	1	0,0	667,80	0,0
Гурвиц (при $\alpha=0,5$ )	3	43,83	536,27	131,53
Лаплас-Байес	3	43,83	536,27	131,53
Минимаксный риск	3	43,83	536,27	131,53

Как и в других примерах, в данном случае, максимальная гарантированная экономия обеспечена при результате, полученного по критерию минимакса. Поэтому для решения рассматриваемых задач оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации рекомендуется использование дополнительного критерия минимакс.

В этой главе, также исследованы вопросы учёта функциональных ограничений в виде неравенств при оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации. Установлено, что описанный выше алгоритм оптимизации в условиях частичной неопределённости применим только в условиях отсутствия функциональных ограничений в виде неравенств. Их использование при существовании таких ограничений может привести к недопустимым результатам с нарушенными ограничениями. Поэтому, для преодоления этой проблемы, разработан алгоритм оптимизации в условиях частичной неопределённости исходной информации с учетом функциональных ограничений в виде неравенств. Согласно этому алгоритму, после определения условно-оптимальных планов, по значениям каждого из функций ограничений в виде неравенств формируется матрица, элементы которой определяются по аналогичной для значения целевой функции (5) формулам. Затем, по элементам этих матриц определяются и исключаются из дальнейшего рассмотрения недопустимые условно-оптимальные планы, при которых, хотя бы одно функциональное ограничение в виде неравенства, хотя бы при одном условии реализации

нарушаются. Оптимальный план отыскивается среди остальных условно-оптимальных планов на основе использования критерия минимакса.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма осуществлена оптимизация режима ЭЭС, содержащей расчетные ТЭС, в трех ЛЭП которого ограничены потоки мощностей, являющихся функциями неопределенных нагрузок и мощностей расчетных станций:

$$P_{6-3} \leq 470 \text{ МВт}, \quad P_{6-5} \leq 95 \text{ МВт}, \quad P_{0-3} \leq 150 \text{ МВт}.$$

Потоки мощностей по этим ЛЭП определялись по линеаризованным формулам с использованием коэффициентов распределений.

Заданный диапазон значений нагрузок узлов разделены на пять равных интервалов, в пределах которых нагрузки принимались постоянными. В результате оптимизации и формирования матриц значений потоков мощностей по контролируемым ЛЭП получались: при первом условно-оптимальном плане и пятым условии его реализации ограничения по ЛЭП 6-5 и 0-3 ( $P_{6-5}=104,8 \text{ МВт}$ ,  $P_{0-3}=153,5 \text{ МВт}$ ); при четвертом условно-оптимальном плане и первом условии его реализации, ограничение по ЛЭП 6-3 ( $P_{6-3}=478,3 \text{ МВт}$ ) нарушаются. Поэтому, оптимальный план выбран из числа остальных – 2, 3 и 5-й условно-оптимальных планов на основе использования критерия минимакса:

$$\min(i)\max(j)B_{ij}=\min(i)(B_{2\max}; B_{3\max}; B_{5\max})= \\ \min(2345,5; 2344,4; 2355,8)=B_{3\max}=2344,4 \text{ т.у.т./ч.}$$

Таким образом, оптимальным является третий условно-оптимальный план.

В этой главе диссертационной работы исследована также оптимизация режимов ЭЭС в условиях частичной неопределённости исходной информации методами интервальных расчетов.

Задача оптимизации, в общем случае, формулируется следующим образом:

минимизация целевой функции

$$Z(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12)$$

с учётом

- простых ограничений, наложенных на независимые переменные

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (13)$$

- функциональных ограничений в виде равенств и неравенств, наложенных на некоторые функции независимых переменных

$$f_j(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j, \quad j = \overline{1, N}, \quad (14)$$

$$g_l(a_1, a_2, \dots, a_m, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l, \quad l = \overline{1, L}, \quad (15)$$

где  $\bar{f}_j, \bar{g}_l$  - заданные значения функций-ограничений.

При частичной неопределённости исходных параметров  $a_1, a_2, \dots, a_m$ , когда известны их минимальные и максимальные возможные значения, все функции, в частности, целевая функция и функции ограничений также являются частично неопределёнными. Тогда описанная выше задача сводится к минимизации целевых функций, определяемых при возможных



минимальных и максимальных значения исходных частично неопределенных параметров

$$Z(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12a)$$

$$Z(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (12б)$$

с учетом ограничений (13) и функциональных ограничений в виде равенств и неравенств, наложенных на функций, определяемых минимальными и максимальными возможными значениями исходных параметров

$$f_j(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j^{\min}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (14a)$$

$$f_j(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}_j^{\max}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (14б)$$

$$g_l(a_1^{\min}, a_2^{\min}, \dots, a_m^{\min}, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l^{\min}, \quad l = \overline{1, L}; \quad (15a)$$

$$g_l(a_1^{\max}, a_2^{\max}, \dots, a_m^{\max}, x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \bar{g}_l^{\max}, \quad l = \overline{1, L}. \quad (15б)$$

Решение полученной задачи оптимизации (12а)-(15б) сводится к решению эквивалентной двух детерминированных задач. В первой задаче целевая функция представляется в виде (12а), а ограничения состоит из (13), (14а) и (15а). Во второй задаче целевая функция представляет собой вид (12б), а ограничения – (13), (14а) и (15б). В результате решения этих двух детерминированных задач определяются интервальные значения отыскиваемых регулируемых параметров. При этом, нижние граничные значения интервалов получаются в результате решения первой задачи, а верхние граничные значения – в результате решения второй задачи. За конечное решение поставленной исходной задачи принимается одна точка, в которой выполняются все заданные ограничения. Координаты этой точки определяется значениями отыскиваемых параметров в полученных интервалах. А значение целевой функции в точке оптимального решения принимается как интервальное, границы которой определяются по результатам решения первой и второй детерминированных задач.

На основе расчётных экспериментов по оптимизации режимов ЭЭС, описанным алгоритмом определены следующие особенности.

Так как ограничения в виде равенства представляет собой условие баланса активной мощности в энергосистеме левые части ограничений (14а) и (14б) являются одинаковыми. При переводе составляющих, связанных с интервальными нагрузками узлов в ограничениях в виде неравенств по потокам мощностей в контролируемых линиях, левые части ограничений в виде неравенств (15а) и (15б) тоже становятся одинаковыми. В таком случае, в каждой детерминированной задаче участвует по одному ограничению в виде равенства. Поскольку, левые части ограничений в виде неравенства, получаемые из (15а) и (15б) одинаковые, в обеих детерминированных задачах участвует одно из этих ограничений, правая часть которой меньше второго. При этом, второе ограничение с большей правой частью превращается в пассивное ограничение и, соответственно, не участвует в оптимизации. Исходя из этих особенностей рассматриваемой задачи оптимизации, в условиях расчета потоков мощностей по линеаризованным

формулам, использующим коэффициенты распределений мощностей узлов, в интервальной форме получается оптимальная мощность балансирующей станции и значение целевой функции. Для рассмотренного в работе характерного примера получались следующие интервальные мощности ТЭС и суммарный расход условного топлива в них:

$P_0 = [127,72; 247,70]$  МВт,  $P_1 = [547,71; 547,77]$  МВт,  $P_6 = [326,67; 326,84]$  МВт,  $P_7 = [637,67; 637,91]$  МВт,  $B = [856,11; 902,65]$  т.у.т./ч.

Таким образом, для оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации, при использовании предложенного здесь алгоритма интервальных расчетов, диспетчеру энергосистемы для реализации выдаются интервальные значения оптимальных мощностей станций. Право принятия окончательного решения по установлению мощностей станций в этих интервалах остается за диспетчером. Соответственно, данный алгоритм можно считать приближенным. Ввиду сравнительно высокой надёжности и скорости расчёта данного алгоритма, для оперативной оптимизации режимов ЭЭС, рекомендуется использовать данный алгоритм, так как для этого требуется гораздо меньшее число требуемых вычислительных операций.

В этой главе также исследованы возможности использования регрессионных моделей для оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации. Известно, что особенностями таких моделей является определение статистических зависимостей контролируемых параметров от факторов, влияющих на них. В задачах оптимизации режимов энергосистем такими параметрами являются активные мощности станций, участвующие в оптимизации. Коэффициенты уравнений регрессии определяются заранее на основе регрессионного анализа и аппроксимации зависимостей с использованием подходящих методов. Чаще всего, для удобства в дальнейшем использовании, в качестве функции регрессии используют алгебраические полиномы различной степени, получаемые аппроксимацией методом наименьших квадратов.

В данной работе, в качестве регрессионных уравнений для откликов – оптимизируемых активных мощностей станций, приняты квадратичные уравнения в виде

$$P_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n a_{ijk} P_j P_k ,$$

где  $n$ - число узлов с частично неопределенными нагрузками;  $P_j, P_k$ - факторы – нагрузки узлов;  $a_{i0}, a_{ij}, a_{ijk}$  - коэффициенты уравнения регрессии. Они определяются в результате аппроксимации полученных, на основе статистического эксперимента, зависимостей.

В статистических экспериментах значения нагрузок узлов задавались в определенном диапазоне генератором случайных чисел. А соответствующие значения активных мощностей станций, участвующих в оптимизации, определялись на основе оптимизации детерминированным методом.

Проверка адекватности уравнений регрессии осуществлялись на основе расчета суммарного расхода условного топлива при мощностях ТЭС, полученных в результате оптимизации режима энергосистемы и использования уравнений регрессии при детерминированных нагрузках узлов 2, 3, 4 и 5, а также по критерию Фишера.

Среднеквадратичные отклонения суммарного расхода условного топлива при использовании уравнений регрессии с коэффициентами, полученными на основе, как статистического эксперимента, так и планирования эксперимента оказались меньше 0,1 %. Это удовлетворяет требованиям, предъявляемым для практических расчётов.

Результаты исследования показали, что описанный алгоритм оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации о нагрузках узлов при отсутствии функциональных ограничений в виде неравенств методами регрессионных моделей, обладает высокой вычислительной эффективностью. Регрессионные модели, получаемые на основе планирования эксперимента с выбором для каждой неопределенной нагрузки трех значений (минимальный, средний и максимальный), позволяют получить оптимальный результат с достаточной для практических целей точностью. Однако, в условиях существования в ЭЭС функциональных ограничений в виде неравенств, могут получаться недопустимые результаты с нарушенными ограничениями. В одном из рассмотренных примерах, из 100 режимов со случайно выбранными нагрузками узлов в известном диапазоне при мощностях станций, определенных по построенным регрессионным уравнениям, в 86 случаях функциональные ограничения в виде неравенства нарушались на некоторые величины.

Таким образом, установлено, что для оптимизации режимов ЭЭС в условиях частичной неопределенности исходной информации с учётом функциональных ограничений в виде неравенств, регрессионные модели, в общем случае, не приемлемы. Поскольку их использование и может привести к недопустимым результатам.

Четвертая глава диссертации **«Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом изменения частоты»** посвящена исследованию вопросов учета изменения частоты при оптимальном планировании краткосрочных режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера и частичной неопределённости исходной информации.

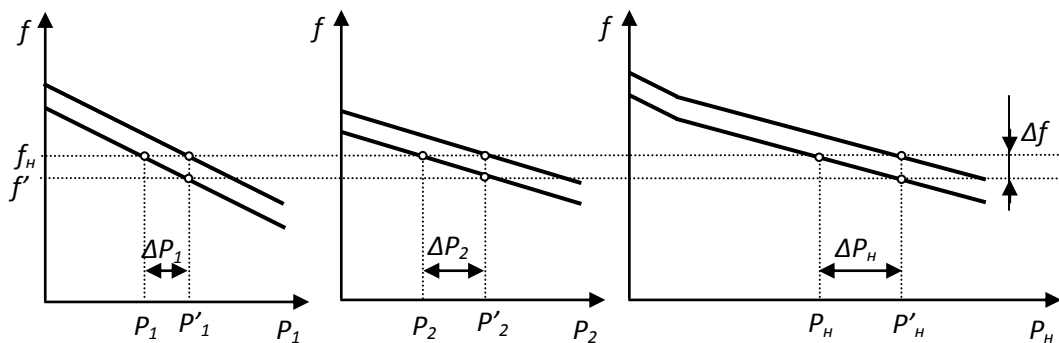
Отклонение реальных нагрузок в отдельных узлах энергосистемы от их запланированных значений приводят к появлению небаланса активной мощности и соответствующему отклонению частоты от номинального значения. В случаях отклонения частоты до недопустимых величин дополнительная нагрузка покрывается станциями, участвующими во вторичном регулировании частоты. В результате режим энергосистемы, определенный при планировании вводом в расчетный процесс единственной балансирующей станции, может отличаться от фактического режима.

Поэтому планирование режимов энергосистем должны быть осуществлены с учетом возможных отклонений нагрузок узлов от их прогнозируемых значений и соответствующих отклонений частоты в энергосистеме. В связи с этим, здесь предложен алгоритм оптимизации краткосрочных режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом изменения частоты.

Отклонение нагрузки энергосистемы от запланированной приводит к соответствующему отклонению частоты в энергосистеме. Для поддержания частоты в допустимых пределах суммарное отклонение нагрузки энергосистемы  $\Delta P_n$  покрывается электрическими станциями, имеющими резерв мощности и участвующими во вторичном регулировании частоты. Распределение суммарного отклонения нагрузки  $\Delta P_n$  между станциями на этапе первичного регулирования происходит согласно статическим характеристикам регуляторов скорости турбин в них.

На рис. 2 представлено распределение суммарной нагрузки  $P_n$  и отклонения от неё  $\Delta P_n$  между двумя станциями согласно статическим характеристикам регуляторов скоростей их турбин.

Суммарная нагрузка для двух станций  $P_n$  распределяется между ними при номинальной частоте  $f_n$  и мощности электростанций получаются  $P_1, P_2$ . Увеличение нагрузки на  $\Delta P_n$  (при этом суммарная нагрузка  $P'_n = P_n + \Delta P_n$ ) на первом этапе также распределяется между станциями аналогичным образом и их мощности становятся как



**Рис. 2. Распределение нагрузки между станциями в соответствии со статическими характеристиками регуляторов скорости турбин**

$$P'_1 = P_1 + \Delta P_1, \quad P'_2 = P_2 + \Delta P_2.$$

Частота в системе становится  $f'$ . Если новая частота  $f'$  меньше допустимой величины, то на станциях, участвующих в регулировании частоты действуют вторичное регулирование, в результате их статические характеристики поднимаются вверх на  $\Delta f$  относительно исходных положений. Вследствии этого восстановится номинальная частота при новых мощностях станций.

При представлении статических характеристик регуляторов скоростей турбин и соответствующих отклонений частоты и мощности целесообразно использование следующих аналитических выражений:

$$\Delta P_1 = k_1 \Delta f, \quad \Delta P_2 = k_2 \Delta f, \tag{16}$$

$$\Delta f = \Delta P_n / (k_1 + k_2), \tag{17}$$

где  $k_1, k_2$ -коэффициенты статических характеристик регуляторов скорости турбин на станциях.

Сущность предложенного алгоритма оптимизации режимов ЭЭС в условиях вероятностного характера исходной информации заключается в следующем:

1) в результате решения задач оптимизации при нагрузках  $P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{nm}$  с вероятностями появления  $p_{n1}, p_{n2}, \dots, p_{nm}$ , соответственно, с учётом всех ограничений получают соответствующие условно-оптимальные планы;

2) для каждого из условно-оптимальных планов при всех возможных условиях их реализации вычисляются значения целевой функции. На этом этапе, отклонение в суммарной нагрузке, получаемое за счёт разности суммарных нагрузок, использованной при получении соответствующего условно-оптимального плана и другой возможной (вероятностной) нагрузкой, распределяется между станциями, участвующими в регулировании частоты в соответствии с характеристиками регуляторов скоростей их турбин. При этом, отклонение частоты определяется по формуле (17), а соответствующие мощности станций – по (16). По полученным значениям целевой функции формируется матрица, элементы которой представляют собой значения целевой функции  $B_{ij}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, m$ ;

3) из числа условно-оптимальных планов на основе сравнения математических ожиданий целевой функции выбирается оптимальный план.

Для исследования эффективности описанного алгоритма рассмотрена задача оптимизации режима энергосистемы в условиях вероятностного характера исходной информации. Для сравнения в таблице 3 приведены мощности 1-й и 3-й ТЭС, полученные для различных условно-оптимальных планов при участии в регулировании частоты одной балансирующей ТЭС и двух ТЭС.

В рассмотренном примере, при участии в регулировании частоты одной балансирующей ТЭС, математическое ожидание целевой функции составляет 525,96 т.у.т./ч., а при участии двух ТЭС – 525,25 т.у.т./ч. Таким образом, часовой экономический эффект от использования предложенного алгоритма составляет 0,71 т.у.т./ч или 0,13%.

**Таблица 3**

**Мощности ТЭС при различных условно-оптимальных планах**

Номер плана	При участии в регулировании частоты одной балансирующей ТЭС		При участии в регулировании частоты двух ТЭС	
	$P_1$ , МВт	$P_3$ , МВт	$P_1$ , МВт	$P_3$ , МВт
1	625,64	448,81	659,92	414,52
2	665,64	448,81	682,78	431,67
3	705,64	448,81	705,64	448,81
4	745,64	448,81	728,49	465,95
5	785,64	448,81	751,35	483,09

## Заключение

На основе результатов научных исследований в рамках диссертационной работы «Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях вероятности и частичной неопределенности исходной информации» представлено следующее заключение:

1. Разработан и программно реализован алгоритм оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом простых и функциональных ограничений в виде неравенств, который позволяет получить оптимальное решение задачи в области допустимых режимов энергосистемы. В результате создана условия для определения оптимального режима работы энергосистемы внутри допустимой области.

2. На основе критерия минимакса разработан алгоритм оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределенности исходной информации о нагрузках узлов с учетом функциональных ограничений в виде неравенств, обеспечивающий оптимального планирования краткосрочного режима энергосистемы при выполнении всех видов режимных и технологических ограничений.

3. Предложен алгоритм определения эффективности дополнительных критериев на основе расчета гарантированной экономии для определения оптимального плана при решении задач оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределенности исходной информации. Использование алгоритма позволяет выбрать среди всех условно-оптимальных планов, полученных различными дополнительными критериями, наиболее оптимального по минимально возможным экономиям топлива.

4. На основе исследования возможностей применения для оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределенности исходной информации регрессионных методов выявлено, что регрессионные модели для решения рассматриваемой задачи могут быть использованы в условиях отсутствия функциональных ограничений в виде неравенств.

5. Предложен алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях частичной неопределенности исходной информации на основе методов интервального расчета, который может быть эффективно использован для целей оперативного оптимального планирования.

6. Предложен алгоритм оптимизации режимов электроэнергетических систем в условиях вероятностного характера исходной информации с учетом изменения частоты. В результате использования этого алгоритма сэкономлена 0,71 т.у.т.

7. Результаты выполненных научно-исследовательских работ в рамках данной диссертации внедрены в национальный диспетчерский центр АО «Национальные электрические сети Узбекистана» для планирования

краткосрочных режимов энергосистемы. Экономический эффект от внедрения составляет 215720000 сумов.

**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**

**LATIPOV SHERKHON SHUKHRATOVICH**

**OPTIMIZATION OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS MODES IN  
CONDITIONS OF PROBABILITY AND PARTIAL UNCERTAINTY OF  
INITIAL INFORMATION**

**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–2020**





## INTRODUCTION (abstract of the PhD thesis)

**The aim of the research work:** Development of algorithms for solving problems of optimal planning of power systems short-term modes under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account the operating 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 analysis of the modern condition of the optimal short-term mode of EPS (electric power system) under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information;

improvement of methods and algorithms for optimization of EPS (electric power system) modes under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of initial information, taking into account simple and functional constraints in the form of inequalities;

creation of an algorithm for evaluating the effectiveness of additional criteria, used to select the optimal plan under conditions of partial uncertainty of the initial information;

investigation of the effectiveness of using interval calculations methods for solving optimization problems of EPS (electric power system) modes under conditions interval calculations of partial uncertainty of the initial information;

investigation of the possibilities of using regression methods to solve the optimization problem of EPS modes under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information.

investigation of the accounting problem for frequency changes when solving optimization problems of EPS modes under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information.

**The object of research work** is the electric power system with calculated power plants and fuel costs in thermal power plants.

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

an algorithm for optimization of EPS modes has been developed and implemented in software under conditions of the probabilistic nature of the initial information, taking into account simple and functional constraints in the form of equalities and inequalities;

an algorithm for optimization of EPS modes has been developed under conditions of partial uncertainty of the initial information, taking into account the regime and technological limitations in the form of equalities and inequalities;

an additional criterion is proposed for choosing the optimal plan when solving the optimization problem of EPS modes under conditions of partial uncertainty of the initial information;

an algorithm for optimization of EPS modes under conditions of partial uncertainty of initial information has been developed, taking into account all types of restrictions based on methods of interval calculations;

algorithms for optimization of EPS modes have been created in conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account changes in the frequency in the power system.

**Practical results of the research** are as follows:

an algorithm and a program have been developed for optimal planning of power systems short-term modes under conditions of the probabilistic nature of the initial information, taking into account all types of restrictions;

an algorithm and a program are proposed for the optimal planning of short-term EPS modes in conditions of partial uncertainty of the initial information, taking into account the limitations;

on the basis of research, an algorithm is proposed for efficiently constructing a regression model for optimizing EPS modes under conditions of partial uncertainty of the initial information, which can be used in the absence of functional constraints in the form of inequalities;

an algorithm for optimizing EPS modes has been developed and implemented in software under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account the frequency change in the power system.

**The reliability of the research results:** confirmed by numerous experimental calculations using modern means and research methods, which are based on modern theories for calculating EPS modes, methods of linear and nonlinear mathematical programming, probability theory and mathematical statistics, as well as methods of system analysis.

**Scientific and practical significance of the research results:**

The scientific significance of the results obtained is characterized by the developed methods and algorithms for optimizing short-term modes of power systems under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account the regime and technological constraints in the form of inequalities.

The practical significance of the obtained research results lies in the developed programs for optimizing short-term modes of power systems under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account the limitations. The developed algorithms and calculation programs are used for optimal planning of short-term modes of power systems under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of the initial information, taking into account all operating and technological limitations; determining for each interval of the planning period the optimal capacities of the settlement stations; determining the optimal operating modes for power plants and elements of electrical networks; rational accounting of frequency changes in the power system.

**Implementation of research results.**

the algorithm of optimization of daily modes of power systems under conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of initial information on consumer loads taking into account constraints in the form of equalities and inequalities was introduced at the NDC JSC National Electrical Networks of Uzbekistan for optimization the daily regime of power system of the Republic of

Uzbekistan (Reference No. 01-02-06 / 3238 of 17.09.2020, JSC NEN of Uzbekistan). As a result, a decrease of total daily consumption of equivalent fuel at TPPs by 15.8 tons of fuel equivalent was achieved;

the algorithm of optimal planning of short-term modes of electric power systems in conditions of partial uncertainty of initial information on loads of nodes taking into account the constraints was introduced at the NDC JSC "National Electrical Networks of Uzbekistan" for optimal planning of modes of the winter season of power system of the Republic of Uzbekistan (Reference No. 01-02-06 / 3238 dated 17.09 2020 JSC "NEG of Uzbekistan"). As a result, the total consumption of equivalent fuel at TPPs was reduced by 1,024.33 tons of fuel equivalent;

the developed algorithms and programs of optimization of short-term modes of power systems in conditions of a probabilistic nature and partial uncertainty of initial information taking into account all constraints based on the use of an additional criterion were introduced at the NDC JSC "National Electrical Networks of Uzbekistan" for optimal planning of the power system mode (Reference No. 01-02-06 / 3238 of 17.09.2020, JSC NEN of Uzbekistan). As a result, total fuel costs at TPPs have been reduced by 215.72 million soums.

**The structure and scope of the thesis.** The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, bibliography and appendices. The volume of the thesis is 116 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PULISHED WORKS**

**I бўлим; (I часть; I part)**

1. Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш. К оптимальному планированию режимов энергосистем в условиях частичной неопределенности исходной информации. //ВЕСТНИК ТашГТУ 2/2019. –С. 88-94. (05.00.00; №16).
2. Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем в условиях интервальной неопределенности исходной информации. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, №3-4 2019 й. –С. 203-209. (05.00.00; №21).
3. Gayibov T.Sh., Latipov Sh.Sh. Taking into Account of Functional Constraints in Optimization of Modes of Power Systems by Genetic Algorithms. //«Engineering», 2019, 11, 240-246 <http://www.scirp.org/journal/eng>. ISSN Online: 1947-394X ISSN Print: (05.00.00; №8).

**II бўлим; (II часть; II part)**

4. Gayibov, T.Sh., Latipov, Sh.Sh.: Optimum planning of power modes in conditions of partial uncertainty of background information. //Technical science and innovation 2(2), 88-95 (2019).
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, 139, 01031 (2019). RSES 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901031>.
6. Gayibov T.Sh., Latipov Sh.Sh., and Uzakov B.A. Power System Mode optimization by piecewise linear approximation of energy characteristics of Power Plants. //E3S Web of Conference 139, 01031 (2019). RSES 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901031>.
7. Gayibov T.Sh., Latipov Sh.Sh., Abdurashidov D.Sh., Pulatov B.M., and Davirov A.Q. Algorithm for power systems mode optimization taking into account the frequency change in terms of probabilistic nature of initial information. //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012185. doi:[10.1088/1757-899X/883/1/012185](https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012185).
8. Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш., Абдурашидов Д.Ш. Программа «Opt\_Ver» для оптимального распределения нагрузки энергосистемы между тепловыми электростанциями при вероятностном характере исходной информации. /Программа для ЭВМ/ № DGU 08070. 24.04.2020 г.
9. Насыров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш., Пулатов Б.М. Программа «RUR\_Ch» для расчета установившегося режима электрической системы с

учетом изменения частоты. /Программа для ЭВМ/ № DGU 08873. 26.06.2020 г.

10. Gayibov T.Sh., Latipov Sh.Sh., Shanazarov A.E. Minimization of Losses in Electric Networks by Optimization of Transformer Ratios. //International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, No. 11s, (2020), pp. 1438-1444 ISSN: 2005-4238 IJAST Copyright © 2020 SERSC 1438.
11. Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш. Учет ограничений в виде неравенств при оптимальном планировании режимов энергосистем в условиях неопределенности исходной информации. //«Евразийский Союз Ученых», (ЕСУ) # 2 (59), 2019. С. 7-10.
12. Гайибов Т.Ш., Латипов Ш.Ш., Узаков Б.А. Оптимизация режимов работ энергосистем кусочно-линейной аппроксимацией энергетических характеристик станций. //«Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики», 2019-Ташкент. С. 294-300.
13. Латипов Ш.Ш., Набиев О.С. Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем в составе межгосударственных энергообъединений. //Сборник материалов II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции «введение в энергетику», 2016-Кемерово. С. 311-315.