

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**РЕЙМОВ КАМАЛ МАМБЕТКАРИМОВИЧ**

**ЭНЕРГИЯ ТИЗИМЛАРИ ЭЛЕКТР ИСТЕЪМОЛЧИЛАРИНИНГ  
ЮКЛАМАЛАРИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ**

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

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

**Тошкент – 2018**

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

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

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

**Реймов Камал Мамбеткаримович**

Энергия тизимлари электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал  
бошқариш..... 3

**Реймов Камал Мамбеткаримович**

Оптимальное управление нагрузками электропотребителей энергосистем 19

**Reymov Kamal Mambetkarimovich**

Optimal control of electric consumers load of power systems..... 35

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 38

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**РЕЙМОВ КАМАЛ МАМБЕТКАРИМОВИЧ**

**ЭНЕРГИЯ ТИЗИМЛАРИ ЭЛЕКТР ИСТЕЪМОЛЧИЛАРИНИНГ  
ЮКЛАМАЛАРИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ**

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

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

**Тошкент – 2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестациялаш комиссиясида В2017.1.PhD/T91 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва “ZiyoNet” Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

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

**Расмий оппонентлар:**

**Бобожанов Махсуд Қаландарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Соколов Валерий Константинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**«SREDAZENERGOSETPROEKT» АЖ**

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

Диссертацияси билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ факс: (99871) 227-03-41

Диссертация автореферати 2018 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2018 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**Қ.Р. Аллаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси  
т.ф.д., профессор, академик

**О.Х. Ишназаров**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., к.и.х

**И.М. Ибадуллаев**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлашда энергия ресурслари сарфини камайтиришга қаратилган тадқиқотлар етакчи ўринни эгалламоқда. Юклама графигини зичлаштириш орқали электр энергия ишлаб чиқаришнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш ва янги истеъмолчиларни электр энергия билан қўшимча станцияларни ишга туширмасдан таъминлаш имконини яратиш «ривожланган мамлакатларда юклама графикларини меъёрлаш бўйича тадбирлар максимал юклама шароитларида қувват берувчи янги станцияларни ишга туширишга нисбатан 3 марта кам маблағни талаб қилади»<sup>1</sup>. Шу жиҳатдан, энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда ростланувчан электр истеъмолчиларининг юклама графикларини оптимал бошқариш орқали энергия самарадорлигини оширишга алоҳида аҳамият қаратилмоқда.

Жаҳонда электр энергетика тизимларининг оптимал иш режимларини таъминлаш учун истеъмолчиларнинг рационал электр юкламаларини аниқлаш масалаларини ечишнинг самарали алгоритмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчилари юкламаларини оптимал бошқаришни эътиборга олиб режалаштириш ва бунда давлатлараро энергетик бирлашмага кирувчи тизимлар ўртасида қувват оқимларини оптималлаштириш, бирламчи энергия ресурси чекланган электр станцияларини ҳисобга олиш ва тармоқ факторини ҳисобга олиш алгоритмларини ишлаб чиқиш йўналишларида амалга оширилаётган илмий-тадқиқот ишларига алоҳида эътибор берилмоқда.

Ҳозирги кунда республикамизда энергетика соҳасини сифат жиҳатидан ривожлантириш ва замонавий талаблар асосида соҳанинг техник-технологик даражасини юксалтиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада энергетика тизимининг иқтисодий жиҳатдан самарали бўлган ишончли ва сифатли қисқа муддатли режимларини режалаштириш учун зарурий алгоритмларни ишлаб чиқиш ишлари амалга оширилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда ростланувчан истеъмолчиларнинг юкламаларини оптималлаштириш ҳисобига ёқилғи сарфини камайтириш алгоритмларини яратишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш зарур ҳисобланмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш...»<sup>2</sup> бўйича вазифалари белгиланган. Мазкур вазифани амалга оширишда,

<sup>1</sup><http://www.energsovet.ru/stat696.html>

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

жумладан, энергетика тизимларининг режимларини режалаштиришда электр истеъмолчилар юкламаларини ва давлатлараро энергетик бирлашмаларда тизимлар орасида қувват оқимларини оптималлаштириш, бунда бирламчи энергия ресурси чекланган станцияларни ва тармоқ факторини ҳисобга олишнинг самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптималлаштиришнинг моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш йўналишида жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан University of Michigan (АҚШ), University of Waterloo (Канада), North China Electric Power University (Хитой), Tokyo technology institute (Япония), Ягона энергетика тизими федерал тармоқ компанияси, Бутунроссия электроэнергетика илмий-тадқиқот институти (ВНИИЭ, Россия), Урал давлат техника университети (УПИ, Россия), Мелентьев номидаги Сибир энергетика институти (МСЭИ, Россия), Москва энергетика институти (Россия), «Илмий-техника маркази» МЧЖ ва «Энергомарказ» МЧЖ (Ўзбекистон)да кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Энергетика тизимининг қисқа муддатли режимини режалаштиришда электр истеъмолчиларининг юклама графикларини бошқариш масалалари бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишда машҳур олимлар Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Семенов В.А., Воропай В.И., Горнштейн В.М., Арзамасцев Д.А., Цветков Е.В., Бартоломей П.И., Манусов В.З., Аюев Б.И., Ерохин П.М., Обоскалов В.П., Баринов В.А., Жангиров В.А., Гамм А.З., Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П., Левин В.М., Натан П. (Nathan P.), Вассерман Р. (Wasserman R.), Мурти П. (Murty P.), Ху Гуою (Xu Guoyu), Ф.Д. Галиана (F.D. Galiana), П.П.Ж. ван ден Буш (P.P.J. van den Bosh), Брукс Б.А. (Brooks B.A.), Модеринк В. (Molderink V.), Равибабу П. (Ravibabu P.), шунингдек, мамлакатимиз

олимлари Фазылов Х.Ф., Юлдашев Х.Ю., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Сытдыков Р.А., Соколов В.К. ва бошқалар томонидан катта ҳисса қўшилган.

Мухим ютуқларга қарамай, турли энергетика тизимлари учун, қўрилаётган масаланинг самарали ечимига, уларнинг фаолиятидаги ўзига хос хусусиятларни ҳисобга олган ҳолда энергетика тизими электр истеъмолчиларининг юклама графикларини оптималлашнинг мавжуд усулларини такомиллаштириш ва янги алгоритмларни яратиш муаммоси етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур ишда энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчилар юкламаларини бошқариб оптимал режалаштириш, давлатлараро энергетик бирлашмага кирувчи тизимлар ўртасида қувват оқимларини ва дастлабки маълумотлар эҳтимолли хусусиятга эга бўлганда оптималлаш, бирламчи энергия ресурси чекланган электр станцияларни ва тармоқ факторини ҳисобга олиш алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга масалалардан бири ҳисобланади.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг ИТД-3-123 «Ўзбекистон Республикасининг асосий электр тармоқларида электр энергияни узатишдаги исрофларни манъбаларнинг реактив қувватлари ва трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентларини оптималлаш орқали минималлаштириш» (2012-2014 й.), А-3-96 «Ўзбекистон Республикаси энерготизими электр истеъмолчилари юкламаларини оптимал бошқариш» мавзусидаги лойиҳалари доирасида бажарилган (2015-2017 й.).

**Тадқиқотнинг мақсади** энергетика тизимларининг қисқа муддатли ҳолатини режим ва технологик чеклашларни ҳисобга олиб электр истеъмолчиларнинг юкламаларини оптимал бошқариш орқали режалаштириш масаласини математик модели ва ечиш алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштиришда электр истеъмолчилари юкламаларини бошқаришнинг мавжуд ҳолатининг тадқиқи ва таҳлили;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда ростланувчан электр истеъмолчиларнинг юкламаларини оптималлаштириш масаласининг математик моделини ишлаб чиқиш;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб, режим ва технологик чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптимал режалаштириш алгоритминини ишлаб чиқиш;

ҳалқаро энергетик бирлашмалар таркибига кирувчи энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштиришда тизимлар орасидаги электр узатиш линияларида қувват оқимларини ҳисобга олиш ва оптималлаштиришнинг алгоритмларини яратиш;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб оптимал режалаштиришда бирламчи энергия ресурси чекланган электр станцияларини ҳисобга олиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб оптимал режалаштиришда тармоқ факторини ҳисобга олиш алгоритмларини такомиллаштириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида электр станциялари ва ростланувчан юкламали электр истеъмолчиларига эга бўлган электр энергетика тизими олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** энергетика тизимининг қисқа муддатли ҳолатларини ростланувчан электр истеъмолчилари шароитида режим ва технологик чеклашларни ҳисобга олиб оптимал режалаштириш алгоритмларини ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида электр энергетика тизимлари режимларини ҳисоблашнинг замонавий назарияси, чизиқли ва ночизиқли математик дастурлаш, математик статистика ва эҳтимолликлар назарияси ҳамда тизимий таҳлил усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда электр истеъмолчилари юкламаларини оптимал бошқаришнинг математик модели ишлаб чиқилган;

энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда электр истеъмолчиларининг юклама графикларини режим ва технологик чеклашларни ҳисобга олиб оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган;

энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини оптималлаштиришда бирламчи энергия ресурси чекланган станцияларни ҳисобга олиш алгоритми ишлаб чиқилган;

электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқаришда тармоқ факторини ҳисобга олиш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб оптимал режалаштириш алгоритмлари ва дастурлари ишлаб чиқилган;

энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда давлатлараро электр узатиш линиялари бўйича оптимал қувватлар оқимини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини бирламчи энергия ресурси чекланган станцияларни ҳисобга олиб оптималлаш алгоритми ва дастури яратилган;

ростланувчан электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқаришда тармоқ факторини ҳисобга олишнинг самарали алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган.



**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги тадқиқот олиб боришнинг электр энергетика тизимлари режимларини ҳисоблашнинг замонавий назарияси, чизиқли ва ночизиқли математик дастурлаш усуллари, математик статистика ва эҳтимолликлар назарияси ҳамда тизимий таҳлил усуллари асосланган замонавий воситалари ва услубларидан фойдаланувчи кўп сонли экспериментал тасдиқлашлар билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини ростланувчан электр истеъмолчиларни бошқариш ҳисобига оптимал режалаштириш масаласининг ҳисобий станциялар ва электр истеъмолчиларининг оптимал юклама графикларини тизимлар орасидаги линияларда қувват оқимлари, бирламчи энергия захираси чекланган иссиқлик электр станциялари ва тармоқ факторини ҳисобга олиб аниқлаш имконини берувчи математик моделлари ва ечиш алгоритмлари билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчилар юкламаларини бошқариб ва барча чеклашларни ҳисобга олиб оптимал режалаштиришнинг ишлаб чиқилган дастурлари билан изоҳланади. Ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурлари энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини ростланувчан электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб ва барча режим ҳамда технологик чегаравий шартларни ҳисобга олиб оптимал режалаштириш; давлатдараро тизимлар ўртасидаги линияларда оптимал қувват оқимларини аниқлаш; бирламчи энергия ресурси захираси чекланган станцияларнинг оптимал иш режимлари; тармоқ факторини рационал ҳисобга олиш ва энергетика тизимларининг электр тармоқлари режимларини оптималлаштиришда фойдаланилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Энергия тизимлари электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқариш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ростланувчан электр истеъмолчилар юклама графигини оптималлаш масаласининг математик модели Ўзбекистон энергетика тизимининг суткалик режимини оптимал режалаштиришда «Ўзбекэнерго» АЖ Миллий диспетчерлик маркази (МДМ)га жорий қилинган («Ўзбекэнерго» АЖнинг 2017 йил 30 октябрдаги РМ-01-21/8193 - сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижасида энергетика тизимининг қисқа муддатли ҳолатларини режим ва технологик чеклашларни ҳисобга олиб, режалаштиришда ростланувчан электр истеъмолчиларнинг оптимал юклама графикларини аниқлаш имкони яратилган;

электр энергия истеъмолчилари юклама графигини оптималлаш алгоритмлари Ўзбекистон энергетика тизимининг суткалик режимини оптимал режалаштиришда «Ўзбекэнерго» АЖ МДМ га жорий қилинган («Ўзбекэнерго» АЖнинг 2017 йил 30 октябрдаги РМ-01-21/8193-сон

маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида суткасига 63,6 тонна шартли ёқилғини тежаш имконини берган;

энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчилар юкламаларини бошқариб оптимал режалаштиришда давлатлараро энергетик бирлашмага кирувчи тизимлар ўртасида қувват оқимларини оптималлаштириш, бирламчи энергия ресурси чекланган электр станцияларини ҳисобга олиш ва тармоқ факторини ҳисобга олишнинг самарали алгоритмлари А-12-072 «Электр энергетика тизимлари режимларини оптималлаш ва бошқариш учун сунъий интеллект усулларини қўлловчи эксперт тизимларини ишлаб чиқиш» грант лойиҳасида (2006–2008 й.) қўлланилган (Фан ва технологиялар агентлигининг 2017 йил 15 декабрдаги ФТА-02-11/1303-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида электр станциялари ва ростланувчан электр истеъмолчиларининг энергетика тизими бўйича сарфланувчи харажатларни минимал бўлишини таъминловчи оптимал юкламаларини ҳолат ва технологик чегаравий шартларни эътиборга олган ҳолда аниқлаш имкони яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 9 та халқаро ва битта республика илмий-амалий ва илмий-техник анжуманларда апробациядан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 29 та илмий иш, шу жумладан, хорижий журналларда 5 та мақола, республика журналларда 8 та мақола чоп этилган бўлиб, 5 та ЭҲМ дастури гувоҳномаси мавжуд.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 109 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Ишнинг **Кириш** қисмида диссертация тадқиқотининг зарурлиги ва долзарблигининг асосланиши, мақсади ва асосий кўриладиган масала ҳамда Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиянинг ривожланиш йўналишларига мослиги, илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг назарий ва амалий ахамияти, ишларни чоп этганлик ишлар ҳақида маълумотлар ва диссертациянинг тузилиши келтирилган.

Диссертациянинг **«Электр истеъмолчилар юкламаларини бошқаришнинг замонавий ҳолати таҳлили»** деб номланган биринчи бобида Ўзбекистон Республикаси ва жаҳонда электр истеъмолчилар юкламаларини бошқариб энергетика тизими режимларини қисқа муддатга оптимал режалаштиришнинг мавжуд ҳолати изоҳланган. Мавзу бўйича адабиётлар ҳаволаси, энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини оптималлашда электр истеъмолчилар юкламаларини оптимал бошқариш масалаларини ечишнинг мавжуд моделлари, усуллари ва алгоритмлари таҳлили натижалари тақдим этилган. Электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқариш билан боғлиқ бўлган асосий муаммолар аниқланган.

Диссертациянинг «Энергетика тизими электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқаришнинг математик модели ва алгоритмлари» деб номланган иккинчи бобида электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқариш масалалари ечимининг математик модели ва ечиш алгоритми келтирилган. Ҳамда электр истеъмолчиларнинг юкламаларини бошқаришнинг оптималлик шарти, тавсия этилган математик модел ва алгоритм самарадорлигининг тадқиқот натижалари берилган.

Энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқариб оптималлаш масаласи математик тарзда қуйидагича ифодаланади:

$T$  режалаштириш даврида барча ИЭСдаги умумий ёқилғи сарфи ҳаражатларини ўзида акс эттирувчи мақсад функциясини

$$B = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} B_i(P_i^t) \quad (1)$$

қўйидаги:

-  $T$  режалаштириш даврида ҳар бир интервалда энергетика тизимида қувват баланси бўйича

$$W_t = \sum_{i \in N} P_i^t - \sum_{j \in M} P_j^t = 0, \quad t \in T \quad (2)$$

- ҳар бир ҳисобий электр истеъмолчилари (оптималлашда иштирок этувчи) учун режалаштириш даврида электр энергия баланси бўйича

$$\varphi_j = \sum_{t \in T} P_j^t - \mathcal{E}_j^T = 0, \quad j \in M \quad (3)$$

- ҳисобий электр станциялар ва электр истеъмолчиларнинг мумкин бўлган минимал ва максимал юкламалари бўйича

$$P_i^{t, \min} \leq P_i^t \leq P_i^{t, \max}, \quad i \in N, \quad t \in T, \quad (4)$$

$$P_j^{t, \min} \leq P_j^t \leq P_j^{t, \max}, \quad j \in M, \quad t \in T \quad (5)$$

- қувват оқимлари назорат қилинувчи электр узатиш линиялари (ЭУЛ) қувват оқимини рухсат этилган қиймати бўйича

$$P_l^t \leq \bar{P}_l^t, \quad l \in L_p, \quad t \in T \quad (6)$$

чеклашларни ҳисобга олган ҳолда минималлаштирилсин.

Бу ерда  $N$ ,  $M$  – оптималлашда иштирок этувчи ИЭС ва электр истеъмолчилари тўплами,  $L_p$ -қувват оқимлари назорат қилинувчи ЭУЛ тўплamlари;  $P_i^t, P_j^t$ -  $t$ - интервалдаги ростлаш даврида  $i$ -ИЭС ва  $j$ - электр истеъмолчи қувватлари;  $B_j(P_i^t)$  - ростлаш даврида  $t$ - интервалда  $i$ -ИЭС нинг  $P_i^t$  юкламасидаги ёқилғи ҳаражатлари;  $W_t, \varphi_j$  –мос ҳолда  $t$ - интервалда актив қувват ва  $T$  режалаштириш даврида  $j$ - истеъмолчининг электр энергияси бўйича нобаланс функциялари.

Кўрилатган масалани ечишда тавсия этилаётган алгоритм, тенглик кўринишидаги чеклашларни эътиборга олиб, ҳисобий электростанциялар ва ростланувчи электр истеъмолчиларнинг ўзгарувчи қувватларини мустақил ( $y_i, i=1, 2, \dots, T+m$ ) ва номустақил ( $x_j, j=1, 2, \dots, T^*(n+m)-(T+m)$ )

ўзгарувчиларга ажратишни назарда тутати. Бунда, тенглик кўринишидаги ҳар бир чеклашдан биттадан ўзгарувчи номустиқил ўзгарувчи сифатида ажратилади. Натижада номустиқил ўзгарувчиларнинг сони тенглик кўринишидаги чеклашлар сонига тенг бўлади. Бундай ўзгарувчилар сифатида, рухсат этилган ўзгариш диапазони катта бўлган ўзгарувчиларни танлаш тавсия этилади.

Мақсад функцияси кўйидагича ифодаланади:

$$F = B + \sum_{t \in T} \sum_{l \in L_p} \Pi_l^t \quad (7)$$

Ҳисоблаш жараёни номустиқил ўзгарувчилар учун дастлабки қийматларни, дастлабки қадамлар ва ҳисоблаш аниқлигини қабул қилишдан бошланади. Мустиқил ўзгарувчиларнинг маълум қийматларида номустиқил ўзгарувчилар қийматлари (2) ва (3) тенглик кўринишидаги чеклашлардан иборат тенгламалар системасини ечиш асосида топилади.

Мақсад функцияси (7) градиентнинг компонентлари, мақсад функциясининг мустиқил ўзгарувчиларига мураккаб боғлиқлигини ҳисобга олган ҳолда ҳисобланади:

$$\frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial y_j} = \frac{\partial \bar{F}^{(k-1)}}{\partial y_j} + \sum_{i=1}^{T+m} \frac{\partial \bar{F}^{(k-1)}}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial x_i^{(k-1)}}{\partial y_j}, \quad j = 1, 2, \dots, T^*(n+m) - (T+m) \quad (8)$$

Мустиқил ўзгарувчилар ҳар бир  $k$  - итерацияда кўйидаги формула бўйича ҳисобланади:

$$y_j^{(k)} = y_j^{(k-1)} - h_j^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial y_j}, \quad j = 1, 2, \dots, T^*(n+m) - (T+m) \quad (9)$$

Антиградиент йўналишдаги қадамлар кўйидаги шарт бўйича аниқланади:

$$h^{t(k)} = \begin{cases} 1, 3h^{t(k-1)}, & \text{агар } \frac{\partial L^{(k-1)}}{\partial P^t} \cdot \frac{\partial L^{(k-2)}}{\partial P^t} > 0, \\ 0, 4h^{t(k-1)}, & \text{агар } \frac{\partial L^{(k-1)}}{\partial P^t} \cdot \frac{\partial L^{(k-2)}}{\partial P^t} < 0. \end{cases} \quad (10)$$

Шундай қилиб, электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқариб энерготизимнинг қисқа муддатли режимини оптималлаш ва номустиқил ўзгарувчиларни ажратиш, чеклашларни эътиборга олган ҳолда берилган алгоритм бўйича ҳисоблаш жараёни кўйидагича бўлади:

1) мустиқил ўзгарувчилар сифатида қабул қилинган ҳисобий станция ва тугун юкламаларининг ростланувчи электр истеъмолчилари қувватларининг бошланғич қийматлари, мустиқил ўзгарувчилари бўйича қадам ва ҳисоблаш аниқлиги қабул қилинади;

2) (2) ва (3) тенглик кўринишидаги чеклашлардан иборат тенгламалар системасини ечиш асосида мустиқил ўзгарувчиларнинг бошланғич қийматларида номустиқил ўзгарувчи сифатида қабул қилинган ҳисобий станцияларнинг ва юклама тугунлари қувватларининг қийматлари аниқланади;

3) (8) формуладан мустақил ўзгарувчилар бўйича мақсад функциясининг градиент компонентлари ҳисобланади;

4) (10) шартдан мустақил ўзгарувчилар бўйича антиградиент йўналишидаги қадамлар аниқланади;

5) (9) формуладан келгуси итерациядаги мустақил ўзгарувчилар қийматлари аниқланади;

6) (2) ва (3) тенглик кўринишидаги чеклашлардан иборат тенгламалар системасини ечиш асосида топилган мустақил ўзгарувчилар қийматларида келгуси итерациянинг номустақил ўзгарувчи қийматлари аниқланади;

7) Барча чеклашлар бажарилганда итерация жараёнининг яқинлашиши шартини таъминлаш текширилади:

$$|B^{(k-1)} - B^{(k)}| \leq \varepsilon_B$$

Яқинлашиш шарти бажарилган ҳолда, ҳисоблаш жараёни тўхтатилади ва охириги итерацияда олинган натижа оптимал натижа сифатида қабул қилинади. Акс ҳолда, 3 пунктдан шунга ўхшаш кейинги итерация бажарилади.

Берилган алгоритмнинг самарадорлиги иккита ИЭС ва ростланувчи юкламага эга истеъмолчилардан ташкил топган, энерготизимнинг юклама графигини оптимал қоплаш мисолида тадқиқ қилинган. ИЭСларнинг ёқилғи

**1-жадвал** харажатлари тавсифлари  $B_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$  (\$/ч.) кўринишида квадратик шаклда ифодаланган бўлиб, коэффициентларнинг қийматлари 1-жадвалда келтирилган.

**ИЭСнинг энергетик тавсифлари коэффициентлари ( $a_i=0$ )**

ТЭС	$b_i$	$c_i$
ТЭС – 1	4,0	0,024
ТЭС – 2	6,0	0,016

Ростлаш даврида истеъмолчиларнинг қатъий бўлмаган юкласи ва электроэнергия қийматлари 2-жадвалда келтирилган.

**2-жадвал**

**Ростлаш даврида истеъмолчиларга узатиладиган электроэнергия ва истеъмолчиларнинг қатъий бўлмаган юклама графиги**

Истеъмолчи	Оладиган электрэнергияси МВт.ч.	Интервал бўйича чегаралардаги (мумкин бўлган минимал ва максимал) юкламалар, МВт			
		1	2	3	4
1	1650,0	300,0	400,0	350,0	470,0
		400,0	400,0	380,0	600,0
2	1400,0	200,0	350,0	450,0	250,0
		300,0	350,0	600,0	300,0

Истеъмолчиларнинг юкламаларини бошқариб энерготизимнинг режимини оптимал режалаштириш натижалари 3-жадвалда берилган.

Энергетика тизимининг режимини оптимал режалаштириш натижаларини таққослаш учун истеъмолчиларнинг қатъий чегаравий юклама (ростланмайдиган) графикларини оптимал қоплаш натижалари келтирилган. Бунда умумий ёқилғи харажатлари \$39160,0 ва \$38169,3 бўлиб, улар юклама

графикини оптимал бошқариб режалаштиришдагига нисбатан салмоқли даражада кўпдир.

### 3-жадвал

#### Қатъий бўлмаган юклама графикини оптимал қоплаш

Субъектлар		Узатиловчи электроэнергия, МВт.ч.	ИЭС ва истеъмолчиларнинг оптимал юклама графики, МВт				Жами ёқилғи хара- жатлари \$.
			1	2	3	4	
Истеъ- молчилар	1	1650,0	400,0	400,0	350,0	500,0	-
	2	1400,0	300,0	350,0	450,0	300,0	-
ИЭС	ИЭС-1	1320,0	305,0	325,0	345,0	345,0	15760,8
	ИЭС-2	1730,0	395,0	425,0	455,0	455,0	22391,2
Жами		3050,0	700,0	750,0	800,0	800,0	<b>38152,0</b>

Диссертация тадқиқотининг учинчи боби «**Электр истеъмолчи юкламаларини бошқаришни ҳисобга олган ҳолда, давлатлараро энергетик бирлашмалар таркибидаги энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини оптималлаш**» давлатлараро ЭУЛда қувват оқимларини, бирламчи энергия ресурси чекланган электр станциялар ва энерготизим режимларини дастлабки маълумотлар эҳтимолли ҳусусиятга эга бўлган шароитларда оптималлаш масалаларига бағишланган.

Бу ерда давлатлараро ЭУЛда оптимал қувват оқимларини ҳисоблашнинг самарали алгоритми тавсия этилади. Алгоритмнинг маъноси қуйидагилардан иборат:

1) ҳар бир тизимлараро линия учун қувватнинг олдиндан давлатлараро ўзаро келишувлар асосида аниқланган нархини узатиловчи қувватга боғланишидан фойдаланиш асосида ҳар бир ЭУЛ (ёки унинг гуруҳи) учун қувват нархини узатиловчи қувватга боғлиқлик характеристикаси курилади;

2) ҳар бир давлатлараро ЭУЛ (ёки унинг гуруҳи) ҳисобий маънода мос фиктив станция билан алмаштирилади. Уларнинг энергетик тавсифлари сифатида 1-пунктда олинган тавсифлар қабул қилинади;

3) кўриляётган давр учун ҳисобий станцияларнинг ёқилғи сарфи харажатлари тавсифлари ва фиктив станиялар учун қувват нархининг узатиловчи қувватга боғлиқлиги бўйича энерготизимнинг юклама графикини оптимал қопланади.

Ҳосил бўлган фиктив станцияларнинг юклама графиклари давлатлараро ЭУЛ бўйича қувват оқимларининг оптимал графиклари ҳисобланади.

Бу бобда, шунингдек, электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқаришда энергия ресурслари чекланган электр станцияларни ҳисобга олиш алгоритми тавсия этилган. Бундай станциялар қаторига биринчи навбатда, режалаштириш даврда берилган сув ҳажмини тўлиқ сарфлаши керак бўлган ГЭС киради. Ростлаш даврида ёқилғи ресурслари чекланган ИЭСлар мавжуд бўлган шароитларда масала янада мураккаблашади. Бундай чеклашлар тенгсизлик кўринишида ифодаланади. Чунки, ростлаш даврида юклама графикини оптимал қоплашда кам ёқилғи ишлатилса, ёқилғининг қолган қисми кейинги ростлаш даврида қўлланилиши мумкин. Ёқилғини кўп миқдорда қўллаш эса, унинг миқдори чекланганлиги туфайли мумкин

эмас.Шунинг учун кўрилаётган масала, ушбу мақсадларда, махсус яратилган алгоритмларни қўллаш асосида ечилиши мумкин.

Ушбу масалани ечишда тавсия этилаётган алгоритмда, математик моделга тенгсизлик кўринишидаги чеклашларни киритиш кўзда тутилади ва у қуйидагича ифодаланади:

$$\sum_{t=1}^{24} B_{jt}(P_{jt}) \leq \bar{B}_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

бу ерда  $B_{jt} - P_{jt}$  юкламада сутканинг  $t$ - вақт интервалида ёқилғи миқдори чекланган  $j$ - ИЭСда ҳисобий ёқилғи сарфи.

Тавсия этилган алгоритмда охирги чеклаш жарима функциялари усулида ҳисобга олинади. Умумлашган мақсад функциясига жарима ташкил этувчисини қўшилади ва у қуйидагича ифодаланади:

$$Ш_j = \frac{\alpha}{2} \left( \sum_{t=1}^{24} B_{jt}(P_{jt}) - \bar{B}_j \right)^2 \quad (12)$$

бу ерда  $\alpha$ - юк (жарима) коэффициентини.

Алгоритмнинг самарадорлиги энергетика тизимининг 6 та интервалдан ташкил топган юклама графигини шартли ёқилғи тавсифлари берилган 3 та ИЭС ўртасида 3-ИЭС да шартли ёқилғи захираси чекланган, яъни 900 т.ш.ё га тенг бўлган ҳолатда оптимал қоплаш мисолида тадқиқ қилинган.

4- жадвалда 3-ИЭСдаги шартли ёқилғи захираси чеклангани ҳисобга олинмаганда ва олингандаги ҳолатда оптималлаш натижалари бўйича вақт интерваллари бўйича умумий ёқилғи сарфи келтирилган.

#### 4-жадвал

##### Вақт интерваллари ва ростлаш давридаги умумий ёқилғи сарфи

Оптимал режимлар	Ростлаш даври интерваллари						Жами ёқилғи сарфи, т.ш.ё.
	1	2	3	4	5	6	
Чеклашлар ҳисобга олинмаганда	476,65	436,65	542,73	497,87	616,11	590,23	3160,24
Чеклашлар ҳисобга олинганда	477,85	438,04	544,05	499,10	617,58	521,18	3097,80

Кўрилаётган вазиятда тавсия этилган алгоритм бўйича 3-ИЭС да шартли ёқилғи чекланганини ҳисобга олиш натижасида ёқилғи сарфидаги иқтисод 62,44 т.ш.ё (2%) ни ташкил этади.

Шунингдек, ушбу бобда дастлабки маълумотлар эҳтимолли хусусиятга эга бўлган шароитларда энерготизимнинг қисқа муддатли режимларини оптималлаш алгоритми таклиф этилган. Таклиф этилган алгоритмга мувофиқ бошланғич параметрларининг ҳар бир эҳтимолий қийматлари учун энерготизимнинг режимларини оптималлаш масаласи ечилади. Бошланғич параметрининг барча мумкин бўлган режаларида ва эҳтимолий қийматларида мақсад функциясининг қийматлари аниқланади. Мақсад функциясининг аниқланган қийматлари бўйича тўлов матрицаси шакллантирилади. Сўнгра мақсад функциясининг математик кутилмаси аниқланади. Мақсад

функциясининг энг кичик қийматга эга режаси масаланинг оптимал ечими сифатида қабул қилинади. Тенгсизликлар кўринишида функционал чеклашлар мавжуд бўлганда, ушбу матрица ҳар бир шундай чеклашлар учун шаклланади. Кейин мумкин бўлган оптимал режаларда ҳеч бўлмаганда чеклашлардан биттаси бузилса, у рухсат этиб бўлмайдиган режа сифатида ташлаб юборилади. Масаланинг оптимал ечими қолган рухсат этилган режалар ичидан кидирилади.

Диссертация тадқиқотининг тўртинчи боби «**Энергетика тизими электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптималлашда тармоқ факторини ҳисобга олиш**» тармоқларда исрофлар ва тармоқ факторини ҳисобга олиш усуллари ва алгоритмларни ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришга йўналтирилган.

Ўзгарувчиларнинг оптимал қийматларида, яъни, ҳисобий электр станциялар ва электр истемолчиларнинг ростланувчи юкламаларининг оптимал кувватлари, номаълум Лагранж кўпайтирувчиларини аниқлашда кўйидаги шарт бажарилади:

$$\left. \begin{aligned} \eta_i \left( b_i + \sum_{l \in L_p} w_{li}^t \right) &= \eta_j \left( \lambda_j + \sum_{l \in L_p} w_{lj}^t \right), \quad t \in T \ (i \in N, j \in M); \\ \sum_{i \in N} P_i^t - \sum_{j \in M} P_j^t - \pi_t &= 0, \quad t \in T; \\ \sum_{t \in T} P_j^t - \vartheta_j^T &= 0, \quad j \in M. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$N, M$  – оптималлашда иштирок этувчи ИЭС ва электр истеъмолчилари тўплами;  $T$ - энергетика тизимининг режимини режалаштиришдаги вақт даври;  $\pi_t$  - электр тармоқлардаги ростлаш даврининг  $t$ - интервалдаги жами актив кувват исрофлари;  $\lambda_j$ - ростлаш даврида  $j$ - тугундаги куввати ростланувчи истеъмолчиларни электр энергия баланси бўйича ҳисобга олувчи Лагранжнинг номаълум кўпайтирувчилари ;  $\sigma_i^t = \frac{\partial \pi_t}{\partial P_i^t}$  - электр тармоқда жами актив кувват исрофининг ростлаш цикли даврида  $t$  – интервалда  $i$  – ИЭС нинг куввати бўйича ҳосиласи,  $\sigma_j^t = \frac{\partial \pi_t}{\partial P_j^t}$  - электр тармоқда жами актив кувват исрофининг ростлаш цикли даврида  $t$  – интервалда  $j$ - ростланувчи электр истеъмолчига эга юклама тугуни куввати бўйича ҳосиласи.  $\eta_i^t = \frac{1}{1 - \sigma_i^t}$  ;  $\eta_j^t = \frac{1}{1 + \sigma_j^t}$ .

Охирги система (4) ва (5) кўринишидаги содда чеклашлар билан биргаликда, электр истеъмолчиларнинг ростланувчи юкламаларини оптимал бошқаришда, электр тармоқларда исрофларни ҳисобга олган ҳолда энерготизим юклама графигини иссиқлик электр станциялари ёрдамида оптимал қоплаш шarti ҳисобланади.

Кўрилатган масалани, яъни (13) дан олинган тенгламалар системасини ечишда умумий ҳолда итерация жараёни тебранма хусусиятга эгаллиги ва



узоқлашиш мумкинлиги билан тавсифланади. Шунинг учун, олинган система фақатгина кўрилаётган масалани электр тармоқларда исрофларни ҳисобга олиб оптималлаш масаласини тушунтириш учун қўлланилади.

Диссертация ишида электр истеъмолчилар юкламаларини бошқариб, тармоқлардаги исрофларни ҳисобга олган ҳолда, энерготизимнинг қисқа муддатли режимларини оптимал режалаштиришда тугунларнинг тармоқ факторларининг актив юкламага боғлиқлигини аввалдан қуришга асосланган янги алгоритми тавсия этилган.

Алгоритм маъноси қуйидагидан иборат:

1) энергетика тизимининг натижавий юклама графиги, тармоқдаги исрофларни ҳисобга олмаган ҳолда электр истеъмолчи юкламаларини оптимал бошқариш орқали, тармоқдаги исрофни ҳисобга олмасдан барча ҳисобий ИЭСлар ўртасида оптимал тақсимланади. Натижада ҳисобий электр станциялар ва электр истеъмолчиларнинг оптимал юклама графиклари ҳосил қилинади.

2) ростлаш даврининг ҳар бир интервали учун электр тармоқнинг барқарорлашган режимлари ҳисобланади. Станция қувватлари ва юклама тугунлари бўйича тармоқ коэффицентлари ва исрофлар ҳосилалари аниқланади. Станция ва истеъмолчиларнинг юклама графиклари нотекислиги туфайли бу ерда  $\sigma_i(P_i)$  ва  $\sigma_j(P_j)$  боғланишлар ҳосил бўлади.

3) Ҳисобий станцияларнинг НЎТни мос равишда  $\eta_i(P_i)$  боғланишга кўпайтирилади ва тармоқ факторини ҳисобга олган ҳолда  $\bar{b}_i(P_i) = \eta_i(P_i) \times b_i(P_i)$  НЎТ олинади.

4) қаралаётган давр ичида худди тармоқ факторини ҳисобга олмаган ҳолдагидек, қайта қурилган НУТ  $\bar{b}_i(P_i)$  ни қўллаш орқали энерготизимнинг режимларини оптимал режалаштириш амалга оширилади. Бу босқичда ростланувчи истеъмолчиларга эга тугун юкламалари бўйича градиент компонентларини ҳисоблашда, 2-пунктда бажарилган натижалардан олинган  $\sigma_j(P_j)$  боғлиқликлари қўлланилади.

Тармоқ факторини ҳисобга олган ҳолда изоҳланган алгоритм бўйича ўтказилган тадқиқот натижаларига кўра натижавий шартли ёқилғи сарфи 0,26% гача камайди. Бундан ташқари тармоқ факторини ҳисобга олувчи юқорида кўрсатилган оптималлаш алгоритми итерация жараёнининг юқори ишончлиликда яқинлашиш имконин берди.

## ХУЛОСА

Ушбу диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқот натижаларини умумлаштириш асосида қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:

1. Мавжуд ҳолатни тадқиқ қилиш асосида энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда ростланувчан электр истеъмолчиларнинг юкламаларини оптималлаштириш масаласининг математик модели ишлаб чиқилган. Натижада юкламаларни ростлаш шароитларида энергетика тизимининг оптимал режимини юқори аниқликда

ифодалаш имкони яратилган.

2. Оптималлаштиришнинг градиент усули асосида энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини истеъмолчиларнинг юкламаларини бошқариб оптимал режалаштириш алгоритми ва дастури яратилган. Натижада электр станциялари ва ростланувчан электр истеъмолчиларининг оптимал юкламаларини режим ва технологик чеклашларни эътиборга олиб аниқлаш ва бу орқали рухсат этилган соҳада энергетика тизимининг энг самарали иш режимини таъминлаш имкони яратилган.

3. Давлатлараро энергетик бирлашма таркибига кирувчи энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини режалаштиришда тизимлараро қувватлар оқимини оптималлаштириш алгоритми ишлаб чиқилган. Натижада тизимлараро электр узатиш линияларини орқали ўтувчи қувватларнинг ҳар иккала энергетика тизими учун оптимал бўлган қийматини аниқлаш имкони яратилган.

4. Бирламчи энергия ресурси захираси чекланган станцияларни ҳисобга олиш масаласини математик ифодаси ва ечиш алгоритми яратилган. Натижалар таркибида бирламчи энергия ресурси захираси чекланган станциялар мавжуд бўлган энергетика тизимларининг самарали иш режимларини аниқлаш ва таъминлаш имконини берган.

5. Тугунлар ҳақида дастлабки маълумотларнинг эҳтимолли характердалиги шароитларида энергетика тизимларининг режимларини тенгсизлик кўринишидаги оддий ва функционал чеклашларни ҳисобга олиб оптималлаштириш алгоритми таклиф этилган. Натижада истеъмолчи юкламалари эҳтимолли характерда бўлган шароитларда энергетика тизимининг қисқа муддатли режимларини тенгсизлик кўринишидаги чеклашларни ҳисобга олиб юқори аниқликда оптимал режалаштириш имкони яратилган.

6. Мавжуд алгоритмларни такомиллаштириш асосида энергетика тизимларининг қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариш орқали оптимал режалаштиришда тармоқ факторини ҳисобга олишнинг исроф нисбий ўсишини ҳисобий станцияли ва юкламали тугунларнинг қувватларига боғланишларидан фойдаланишга асосланган самарали алгоритми и дастури ишлаб чиқилган. Натижада энергетика тизимларининг оптимал қисқа муддатли режимларини электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариш шароитларида тармоқ факторини ҳисобга олиб топиш имкони яратилган.

7. Тадқиқот натижалари «Узбекэнерго» АЖ Миллий диспетчерлик марказида Ўзбекистон энергетика тизимининг суткалик режимини ростланувчан электр истеъмолчиларининг юкламаларини бошқариб оптимал режалаштиришда жорий қилинган. Илмий тадқиқот натижасида сутка давомида 63,6 тонна шартли ёқилғини тежаш имкони яратилган.

Ростланувчан электр истеъмолчиларининг юкламаларини оптимал бошқариш масаласини математик модели ва ечиш алгоритминини қўллашдан олинган умумий иқтисодий самарадорлик бир кварталга 146 млн сўмни ташкил этган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК DSC.27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и  
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**РЕЙМОВ КАМАЛ МАМБЕТКАРИМОВИЧ**

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКАМИ  
ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ  
(DOCTOR OF PHILOSOPHY) ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**Ташкент — 2018 год**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.1. PhD/T91.**

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)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Гайбоб Тулкин Шерназарович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Бобожанов Махсуд Каландарович</b> доктор технических наук, профессор <b>Соколов Валерий Константинович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>АО «SREDAZENERGOSETPROEKT»</b>

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. в \_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и ООО «Научно-техническом центре». Адрес: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ 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 - \_\_\_\_). Адрес: 100095, Тошкент, Университет кўча, 2. Тел./ факс: (99871) 227-03-41

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.  
(протокол реестра № «\_\_» от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.).

**К.Р. Аллаев**

Председатель научного совета  
по присуждению учёной степени,  
д.т.н., профессор, академик

**О.Х. Ишназаров**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёной степени, д.т.н., с.н.с

**М.И.Ибадуллаев**

Председатель научного семинара при  
Научном совете по присуждению  
ученой степени, д.т.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире ведущую роль играют исследования, направленные на сокращение расхода энергоресурсов при производстве, передаче и распределении электроэнергии. Уплотнение графика нагрузки улучшает технико-экономические показатели производства электроэнергии и дает возможность обеспечения новых потребителей электроэнергией без строительства дополнительных электростанций. «В развитых странах признано, что мероприятия по выравниванию графиков нагрузок в условиях максимальной нагрузки требуют в 3 раза меньше затрат, чем ввод в эксплуатацию новых станций»<sup>1</sup>. В этом отношении исследования, направленные на повышение энергоэффективности посредством оптимального управления графиками нагрузок регулируемых электропотребителей при планировании краткосрочных режимов энергосистем, имеют важное значение.

В мире особое внимание уделяется разработке математических моделей и алгоритмов решения задач определения рациональных электрических нагрузок потребителей для обеспечения оптимальных режимов работ самих электроэнергетических систем. В этом направлении, в частности, уделяется особое внимание научно-исследовательским работам, нацеленным на разработку алгоритмов планирования краткосрочных режимов энергосистем с учетом оптимального управления нагрузок электропотребителей, оптимизацию при этом потоков мощностей между системами, входящими в межгосударственные энергообъединения, учету электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов и сетевого фактора.

В настоящее время в нашей республике особое внимание обращается на качественное развитие энергетической отрасли и повышение технико-технологического уровня отрасли на основе современных требований. В этом направлении, в частности, ведутся работы по разработке необходимых алгоритмов расчета для планирования краткосрочных режимов энергосистем, эффективных по экономичности, надежности и качеству. Вместе с тем одной из важных задач является ведение научно-исследовательских работ, направленных на создание алгоритмов уменьшения расходов топлива за счет оптимизации нагрузок регулируемых потребителей при планировании краткосрочных режимов энергосистем. В Стратегии действий по дальнейшему развитию 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>2</sup>. Одной из актуальных проблем в выполнении этих задач является разработка эффективных алгоритмов оптимизации нагрузок потребителей и потоков мощностей

---

<sup>1</sup> <http://www.energosovet.ru/stat696.html>

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

между системами в межгосударственных энергообъединениях, учету при этом станций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов и сетевого фактора.

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

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования, направленные на решение актуальных задач по разработке эффективных алгоритмов оптимизации краткосрочных режимов энергосистем, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в University of Michigan (США), University of Waterloo (Канада), North China Electric Power University (Китай), Tokyo technology institute (Япония), Федеральной компании единой энергосистемы России, Всероссийском научно-исследовательском институте электроэнергетики (ВНИИЭ, Россия), Уральском техническом университете (УПИ, Россия), Сибирском институте энергетики имени Мелентьева (СИЭМ, Россия), Московском энергетическом институте (МЭИ, Россия), ООО «Научно-технический центр» и ООО «Энергоцентр» (Узбекистан).

Большой вклад в решение научных проблем энерго- и ресурсосбережения, в частности, управления графиком электрических нагрузок при планировании краткосрочных режимов энергосистем внесли известные ученые, такие как Совалов С.А., Руденко Ю.Н., Семенов В.А., Воропай В.И., Горнштейн В.М., Арзамасцев Д.А., Цветков Е.В., Бартоломей П.И., Манусов В.З., Аюев Б.И., Ерохин П.М., Обоскалов В.П., Баринов В.А., Джангиров В.А., Гамм А.З., Гуртовцев А.Л., Забелло Е.П., Левин В.М., Натан П. (Nathan P.), Вассерман Р. (Wasserman R.), Мурти П. (Murty P.), Ху Гуою (Xu Guoyu), Ф.Д. Галиана (F.D. Galiana), П.П.Ж. ван ден Буш (P.P.J. van den Bosh), Брукс Б.А. (Brooks B.A.), Модеринк В. (Molderink V.), Равибабу П. (Ravibabu P.), а также отечественные ученые Фазылов Х.Ф., Юлдашев Х.Ю., Насиров Т.Х., Аллаев К.Р., Сытдыков Р.А., Соколов В.К. и др.

Несмотря на достигнутые успехи, недостаточно исследованы вопросы усовершенствования существующих и создания новых алгоритмов оптимизации графиков нагрузок электропотребителей с учетом особенностей

функционирования современных энергосистем. В этом направлении одними из задач, имеющих актуальное значение, являются разработка алгоритмов оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой потребителей, оптимизация потоков мощностей между энергосистемами, входящими в межгосударственные энергообъединения, учет электростанций с ограниченным запасом энергоресурсов и сетевого фактора.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательской работы и 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 гг.) и А-3-96 «Оптимальное управление нагрузкой электропотребителей энергосистемы Республики Узбекистан» (2015-2017 гг.).

**Цель исследования** заключается в разработке математической модели и алгоритмов решения задач оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей и учетом режимных и технологических ограничений.

**Задачи исследования:**

исследование и анализ существующего состояния управления нагрузкой электропотребителей при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем;

разработка математической модели задачи оптимизации нагрузок регулируемых электропотребителей при планировании краткосрочных режимов энергосистем;

разработка алгоритма оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей и учетом всех видов режимных и технологических ограничений;

создание алгоритмов учета и оптимизации потоков мощностей по межсистемным линиям электропередачи при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем, входящих в состав межгосударственных энергообъединений;

разработка алгоритма учета электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей;

усовершенствование алгоритмов учета сетевого фактора при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем с оптимальным управлением нагрузкой электропотребителей.

**Объектом исследования** является электроэнергетическая система с электростанциями и электропотребителями с регулируемыми нагрузками.

**Предметом исследования** являются алгоритмы оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с учетом режимных и технологических ограничений в условиях управления нагрузкой регулируемых электропотребителей.

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

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана математическая модель задачи оптимизации нагрузок электропотребителей при планировании краткосрочных режимов энергосистем;

разработан алгоритм оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей и учетом режимных и технологических ограничений;

создан алгоритм учета электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем;

разработан алгоритм учета сетевого фактора при оптимальном управлении нагрузкой электропотребителей.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработаны алгоритмы и программы оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей;

разработан алгоритм расчета оптимальных потоков мощностей по межгосударственным линиям электропередачи при планировании краткосрочных режимов;

созданы алгоритм и программа оптимизации краткосрочных режимов энергосистем с учетом электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов;

разработаны эффективный алгоритм и программа учета сетевого фактора при оптимальном управлении нагрузкой регулируемых электропотребителей.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается натурными измерениями и многочисленными экспериментальными расчетами с использованием современных средств и методик проведения исследований, которые базируются на современной теории 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 математическими моделями и алгоритмами оптимизации



краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей, позволяющими определить оптимальные графики нагрузок расчетных станций и регулируемых электропотребителей с учетом перетоков мощностей по межсистемным ЛЭП, наличием ТЭС с ограниченным запасом первичных энергоресурсов и действием сетевого фактора.

Практическая значимость полученных результатов характеризуется разработанными программами оптимизации краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей. Разработанные алгоритмы и программы расчетов используются для оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с оптимальным управлением нагрузок регулируемых электропотребителей и учетом всех режимных и технологических ограничений; для определения оптимальных межсистемных перетоков мощностей по межгосударственным межсистемным линиям электропередачи; для определения оптимальных режимов работы электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов; для рационального учета сетевого фактора и оптимизации режимов электрических сетей энергосистем.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по оптимальному управлению электропотребителей энергосистем:

математическая модель задачи оптимизации краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей внедрена в Национальном диспетчерском центре (НДЦ) УП «Узэлектросеть» для оптимизации суточного режима энергосистемы (Справка №РМ-01-21/8193 от 30 октября 2017 года АО «Узбекэнерго»). В результате научного исследования создана возможность определения оптимальных графиков нагрузок электропотребителей с учетом режимных и технологических ограничений при планировании краткосрочных режимов энергосистем;

алгоритм оптимизации графиков нагрузок электропотребителей внедрен в НДЦ УП «Узэлектросеть» для оптимизации суточного режима энергосистемы (Справка №РМ-01-21/8193 от 30 октября 2017 года АО «Узбекэнерго»). В результате научного исследования создана возможность уменьшения суточного расхода условного топлива на 63,6 т.у.т.;

эффективные алгоритмы оптимизации потоков мощностей между энергосистемами, входящими в межгосударственное энергообъединение, учета электростанций с ограниченным запасом энергоресурсов и сетевого фактора использованы в проекте А-12-072 (2006-2008 г.) «Разработка экспертных систем методов искусственного интеллекта для оптимизации и управления режимами электроэнергетических систем» (Справка № ФТА-02-11/1303 от 15 декабря 2017 года Агентства науки и технологий). В результате научного исследования создана возможность определения оптимальных мощностей электростанций и регулируемых электропотребителей, обеспечивающих минимальные затраты по энергосистеме с учетом режимных и технологических ограничений.

**Апробация результатов исследований.** Результаты данного исследования прошли апробацию на 9 международных и одной республиканской научно-технических и научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 29 научных трудов, в том числе 5 статей в иностранных, 8 статей в республиканских журналах, вместе с тем имеется 5 свидетельств на программу для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Объем текста диссертации составляет 109 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** приводится обоснование актуальности и востребованности диссертационного исследования, описание цели и основных задач, а также объектов и предметов, соответствующих приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, научная новизна и практические результаты, теоретическая и прикладная значимость результатов, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ современного состояния управления нагрузкой электропотребителей**» изложено существующее состояние оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей в мире и в Республике Узбекистан. Приводится обзор литературы по теме диссертации, результаты анализа существующих моделей, методов и алгоритмов решения задач управления нагрузкой электропотребителей при оптимизации краткосрочных режимов энергосистем. Определяются основные проблемы, связанные с оптимальным управлением нагрузкой электропотребителей.

Во второй главе диссертации «**Математические модели и алгоритмы оптимального управления нагрузкой электропотребителей энергосистем**» приводятся математическая модель и алгоритм решения задачи оптимального управления нагрузкой электропотребителей, получены условия оптимальности краткосрочного режима энергосистемы с учетом управления нагрузкой электропотребителей и приведены результаты исследования эффективности предложенной математической модели и алгоритма решения задачи.

Задача оптимизации краткосрочных режимов энергосистем с оптимальным управлением нагрузкой электропотребителей математически описывается следующим образом:

минимизировать целевую функцию, представляющую собой функцию суммарных топливных издержек на производство электроэнергии всеми ТЭС за цикл регулирования  $T$

$$B = \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} B_i(P_i^t) \quad (1)$$

с учетом ограничений:

по балансу мощности в энергосистеме в каждом интервале цикла регулирования  $T$ :

$$W_t = \sum_{i \in N} P_i^t - \sum_{j \in M} P_j^t = 0, \quad t \in T, \quad (2)$$

по балансу электроэнергии за цикл регулирования для каждого из расчетных (участвующих в оптимизации) электропотребителей:

$$\varphi_j = \sum_{t \in T} P_j^t - \mathcal{E}_j^T = 0, \quad j \in M, \quad (3)$$

по минимально и максимально возможным нагрузкам расчетных электростанций и электропотребителей:

$$P_i^{t, \min} \leq P_i^t \leq P_i^{t, \max}, \quad i \in N, \quad t \in T, \quad (4)$$

$$P_j^{t, \min} \leq P_j^t \leq P_j^{t, \max}, \quad j \in M, \quad t \in T, \quad (5)$$

по перетокам мощностей контролируемых линий электропередач (ЛЭП)

$$P_l^t \leq \bar{P}_l^t, \quad l \in L_p, \quad t \in T, \quad (6)$$

где  $N, M$ - множество ТЭС и электропотребителей, участвующих в оптимизации;  $L_p$ - множества ЛЭП, в которых контролируются перетоки мощности;  $P_i^t, P_j^t$ - мощности  $i$ - й ТЭС и  $j$ - го электропотребителя в  $t$ - м интервале цикла регулирования;  $B_i(P_i^t)$ - топливная издержка  $i$ - й ТЭС при её нагрузке в  $t$ - м интервале цикла регулирования  $P_i^t$ ;  $W_t, \varphi_j$ - функции небалансов активной мощности в  $t$ - м интервале и электроэнергии  $j$ - го потребителя за цикл регулирования  $T$ , соответственно.

Предлагаемый алгоритм решения рассматриваемой задачи предусматривает учет ограничений в виде равенства разделением переменных мощностей расчетных станций и нагрузок регулируемых электропотребителей на независимые ( $y_i, i=1, 2, \dots, T+m$ ) и зависимые ( $x_j, j=1, 2, \dots, T^*(n+m)-(T+m)$ ) переменные. При этом, с каждого из ограничений в виде равенства по одной из переменных выделяется в качестве зависимой переменной. В результате, число зависимых переменных равняется числу ограничений в виде равенства. За такие переменные рекомендуется выбрать переменные с большим допустимым диапазоном изменения.

Целевая функция представляется как

$$F = B + \sum_{t \in T} \sum_{l \in L_p} \Pi_l^t. \quad (7)$$

Расчетный процесс начинается с принятия начальных значений для независимых переменных, начальных шагов и точности расчета. Значения зависимых переменных при известных значениях независимых переменных находятся на основе решения системы уравнений, состоящей из ограничений в виде равенства (2) и (3).

Компоненты градиента целевой функции (7) вычисляются с учетом сложной зависимости целевой функции от независимых переменных:

$$\frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial y_j} = \frac{\partial \bar{F}^{(k-1)}}{\partial y_j} + \sum_{i=1}^{T+m} \frac{\partial \bar{F}^{(k-1)}}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial x_i^{(k-1)}}{\partial y_j}, \quad j = 1, 2, \dots, T^*(n+m) - (T+m). \quad (8)$$

Независимые переменные на каждой  $k$ -й итерации вычисляются по формуле

$$y_j^{(k)} = y_j^{(k-1)} - h_j^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial y_j}, \quad j = 1, 2, \dots, T^*(n+m) - (T+m). \quad (9)$$

Шаги в направлении антиградиента определяются по условиям

$$h^{t(k)} = \begin{cases} 1,3h^{t(k-1)} & \text{если } \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P^t} \cdot \frac{\partial F^{(k-2)}}{\partial P^t} > 0, \\ 0,4h^{t(k-1)} & \text{если } \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P^t} \cdot \frac{\partial F^{(k-2)}}{\partial P^t} < 0. \end{cases} \quad (10)$$

Таким образом, процесс расчета по данному алгоритму оптимизации краткосрочного режима энергосистемы с оптимальным управлением нагрузкой электропотребителей и учетом ограничений выделением зависимых переменных выглядит следующим образом:

1) принимаются начальные значения мощностей расчетных станций и нагрузочных узлов с регулируемым электропотребителями, которые являются независимыми переменными, шаги по независимым переменным и точность расчета;

2) на основе решения системы уравнений, состоящей из ограничений в виде равенства (2) и (3), при начальных значениях независимых переменных определяются значения мощностей расчетных станций и нагрузочных узлов, принятых как зависимые переменные;

3) по формуле (8) вычисляются компоненты градиента целевой функции по независимым переменным;

4) из условия (10) определяются шаги в направлении антиградиента по независимым переменным;

5) по формуле (9) определяются значения независимых переменных в очередной итерации;

6) на основе решения системы уравнений, состоящей из ограничений в виде равенства (2) и (3), при полученных значениях независимых переменных определяются значения зависимых переменных в очередной итерации;

7) проверяется обеспечение условия сходимости итеративного процесса:

$$|B^{(k-1)} - B^{(k)}| \leq \varepsilon_B$$

при выполнении всех ограничений.

В случае выполнения условия сходимости расчетный процесс останавливается и результат, полученный на последней итерации,

принимается как оптимальный. В противном случае аналогично выполняется следующая итерация, начиная с пункта 3.

**Таблица 1**  
**Коэффициенты энергетических характеристик ТЭС**  
( $a_i=0$ ).

ТЭС	$b_i$	$c_i$
ТЭС – 1	4,0	0,024
ТЭС – 2	6,0	0,016

Эффективность описанного алгоритма исследована, в частности, на примере оптимального покрытия графика нагрузки энергосистемы, содержащей двух потребителей с регулируемыми графиками нагрузок, двумя ТЭС. Характеристики топливных издержек станций представлены в квадратичной форме как  $B_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$

(\$/ч.), коэффициенты которой приведены в табл. 1.

Электроэнергия, получаемая потребителями в течение цикла регулирования, и их нежесткие графики нагрузок даны в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Графики граничных нагрузок и электроэнергия, отпускаемая потребителям в течение полного цикла регулирования**

Потребитель	Получаемая эл. энергия, МВт.ч.	Граничные (минимально и максимально возможные) нагрузки по интервалам, МВт			
		1	2	3	4
1	1650,0	300,0	400,0	350,0	470,0
		400,0	400,0	380,0	600,0
2	1400,0	200,0	350,0	450,0	250,0
		300,0	350,0	600,0	300,0

Результаты оптимального планирования режима энергосистемы с учетом управления графиков нагрузок потребителей на рассматриваемый период приведены в табл. 3.

**Таблица 3**  
**Оптимальное покрытие нежестких графиков нагрузок**

Субъекты		Отпускаемая электроэнергия, МВт.ч.	Оптимальные графики нагрузок потребителей и ТЭС, МВт				Суммарные топливные издержки, \$.
			1	2	3	4	
Потребители	1	1650,0	400,0	400,0	350,0	500,0	-
	2	1400,0	300,0	350,0	450,0	300,0	-
ТЭС	ТЭС-1	1320,0	305,0	325,0	345,0	345,0	15760,8
	ТЭС-2	1730,0	395,0	425,0	455,0	455,0	22391,2
Суммарный по энергосистеме		3050,0	700,0	750,0	800,0	800,0	<b>38152,0</b>

Для сравнения результатов оптимального планирования режима энергосистемы приведены результаты оптимального покрытия жестких (нерегулируемых) графиков граничных нагрузок потребителей. При этом суммарные топливные издержки составляли \$39160,0 и \$38169,3, которые соответственно значительно больше, чем при планировании с оптимальным управлением нагрузок электропотребителей.

Третья глава диссертационного исследования «**Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем в составе межгосударственных энергообъединений с учетом управления нагрузкой электропотребителей**» посвящена вопросам оптимизации перетоков мощностей по межгосударственным межсистемным ЛЭП, учету электростанций с ограниченным запасом энергоресурсов и оптимизации режимов энергосистем в условиях вероятностного характера исходной узловой информации.

Здесь предлагается эффективный алгоритм расчета оптимальных перетоков мощностей в межгосударственных межсистемных ЛЭП. Сущность алгоритма заключается в следующем:

1) на основе использования стоимости мощностей, определяемых предварительно заключенными межгосударственными соглашениями для каждой из межсистемных линий (или для их групп), для каждого характерного интервала планируемого периода, строятся зависимости этих стоимостей от передаваемой мощности;

2) каждая межсистемная линия электропередачи (или их группа) заменяется в расчетном плане с соответствующей фиктивной станцией, за энергетическую характеристику которой принимается полученная в результате выполнения пункта 1;

3) по характеристикам топливных издержек расчетных станций и зависимостям стоимости от передаваемой мощности для фиктивных станций производится оптимальное покрытие графика нагрузки энергосистемы для рассматриваемого периода.

Получаемые в результате такого расчета графики нагрузок фиктивных станций являются оптимальными графиками перетоков мощностей по межсистемным линиям электропередачи.

В этой главе также предложен алгоритм учета электростанций с ограниченным запасом энергоресурсов при оптимальном управлении нагрузкой электропотребителей. В число таких станций в первую очередь входят ГЭС с заданным на планируемый период объемом воды, который должен быть израсходован полностью. Задача гораздо усложняется в условиях наличия ТЭС с ограниченным запасом топлива за цикл регулирования. Такие ограничения представляются в виде неравенства. Так как при использовании меньшего количества топлива при оптимальном покрытии графика нагрузки за цикл регулирования оставшаяся часть топлива может быть истрачена в последующих циклах, а расход большего количества топлива – невозможен из-за его отсутствия. Поэтому рассматриваемая задача может быть решена на основе специально созданных алгоритмов.

Предлагаемый алгоритм решения задачи предусматривает ввод в математическую модель задачи ограничения в виде неравенства, представляемого следующим выражением:

$$\sum_{t=1}^{24} B_{jt}(P_{jt}) \leq \bar{B}_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (11)$$

где  $B_{jt}$  – расчетный расход топлива в  $j$ -й ТЭС с ограниченным количеством топлива в  $t$ - м временном интервале суток при её нагрузке  $P_{jt}$ .

Последнее ограничение в предлагаемом алгоритме учитывается методом штрафных функций, добавлением в обобщенную целевую функцию штрафного составляющего, представляемого в виде:

$$Ш_j = \frac{\alpha}{2} \left( \sum_{t=1}^{24} B_{jt}(P_{jt}) - \bar{B}_j \right)^2, \quad (12)$$

где  $\alpha$ - весовой (штрафной) коэффициент.

Эффективность алгоритма исследована на примере оптимального покрытия графика нагрузки энергосистемы, состоящего из 6 характерных интервалов, с тремя ТЭС с заданными характеристиками расходов условного топлива при ограниченном запасе условного топлива в ТЭС-3 900 т.у.т.

В табл. 4 приведен суммарный расход условного топлива (в т.у.т./ч.) по временным интервалам, полученный в результате оптимизации без учета и с учетом ограничения по запасу условного топлива в ТЭС-3.

**Таблица 4**

**Суммарные расходы топлива по интервалам и за цикл регулирования**

Оптимальные режимы	Интервалы цикла регулирования						Суммарный расход топлива за цикл, т.у.т.
	1	2	3	4	5	6	
Без учета ограничения	476,65	436,65	542,73	497,87	616,11	590,23	3160,24
С учетом ограничения	477,85	438,04	544,05	499,10	617,58	521,18	3097,80

В рассматриваемом случае экономия в расходе топлива от учета ограничения по запасу топлива в ТЭС-3 предложенным алгоритмом составляет 62, 44 т.у.т. (2%).

В этой главе также предлагается алгоритм оптимизации краткосрочных режимов энергосистем в условиях вероятностного характера исходной информации. Согласно предложенному алгоритму для каждого из вероятных значений исходного параметра решается задача оптимизации режимов энергосистем. Определяются значения целевой функции при всех полученных возможных планах и вероятных значениях исходного параметра. По полученным значениям целевой функции формируется платежная матрица. Затем определяются математические ожидания целевой функции. План, при котором целевая функция имеет наименьшее значение, принимается как оптимальное решение задачи. В условиях наличия функциональных ограничений в виде неравенств данная матрица формируется для каждого из таких ограничений, затем возможные оптимальные планы, при которых хотя бы одно из этих ограничений нарушается, исключаются из дальнейшего рассмотрения как недопустимый план. Оптимальное решение задачи ищется среди оставшихся допустимых планов.

Четвертая глава диссертационного исследования «Учет сетевого фактора при оптимизации нагрузок электропотребителей энергосистем» направлена на разработку и усовершенствование методов и алгоритмов учета потерь в сетях и сетевого фактора.

При оптимальных значениях переменных – активных мощностей расчетных электростанций и нагрузок регулируемых электропотребителей и при использовании неопределенных множителей Лагранжа выполняется условие:

$$\left. \begin{aligned} \eta_i^t \left( b_i^t + \sum_{l \in L_p} w_{li}^t \right) &= \eta_j^t \left( \lambda_j + \sum_{l \in L_p} w_{lj}^t \right), \quad t \in T \ (i \in N, j \in M); \\ \sum_{i \in N} P_i^t - \sum_{j \in M} P_j^t - \pi_t &= 0, \quad t \in T; \\ \sum_{t \in T} P_j^t - \mathcal{E}_j^T &= 0, \quad j \in M. \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

где  $N, M$ - множества расчетных станционных и нагрузочных узлов;  $T$ - период времени, за который осуществляется планирование режима энергосистемы;  $\pi_t$  - суммарные потери активной мощности в электрических сетях в  $t$ - м интервале цикла регулирования;  $\lambda_j$  - неопределенные множители Лагранжа, учитывающие условия баланса энергии в  $j$ - м нагрузочном узле с регулируемым электропотребителем за цикл регулирования;  $\sigma_i^t = \frac{\partial \pi_t}{\partial P_i^t}$  - производная суммарной потери активной мощности в электрических сетях в  $t$ - м интервале цикла регулирования по мощности  $i$ - й ТЭС в  $t$ - м интервале цикла регулирования;  $\sigma_j^t = \frac{\partial \pi_t}{\partial P_j^t}$  - производная суммарной потери активной мощности в электрических сетях в  $t$ - м интервале цикла регулирования по мощности  $j$ - го нагрузочного узла с регулируемыми электропотребителями в  $t$ - м интервале цикла регулирования;  $\eta_i^t = \frac{1}{1 - \sigma_i^t}$ ;  $\eta_j^t = \frac{1}{1 + \sigma_j^t}$ .

Последняя система совместно с простыми ограничениями (4) и (5) является условием оптимальности покрытия графика нагрузки энергосистемы тепловыми электростанциями с учетом потерь в электрических сетях при оптимальном управлении нагрузкой регулируемых электропотребителей.

Итеративный процесс расчета при решении рассматриваемой задачи на основе решения системы уравнений, получаемой из (13), в общем случае, носит колебательный характер и может расходиться. Поэтому полученная система используется лишь для представления сущности рассматриваемой задачи оптимизации с учетом потерь в электрических сетях.

В диссертационной работе предлагается алгоритм учета сетевого фактора при оптимальном планировании краткосрочного режима энергосистемы с управлением нагрузкой электропотребителей.



Сущность алгоритма заключается в следующем:

1) осуществляется оптимальное покрытие суммарного графика нагрузки энергосистемы всеми расчетными ТЭС с оптимальным управлением нагрузкой электропотребителей без учета потерь в электрических сетях. В результате получаются оптимальные графики нагрузок расчетных электростанций и электропотребителей;

2) для каждого интервала цикла регулирования выполняются расчеты установившихся режимов электрических систем, определяются производные потери и сетевые коэффициенты по мощностям станций и нагрузочных узлов. Ввиду неравномерности графиков нагрузок станций и потребителей здесь получаются зависимости  $\sigma_i(P_i)$  и  $\sigma_j(P_j)$ ;

3) перемножая характеристики относительных приростов (ХОП) расчетных станций на соответствующие зависимости  $\eta_i(P_i)$  получают ХОП с учетом сетевого фактора  $\bar{b}_i(P_i) = \eta_i(P_i) \times b_i(P_i)$ ;

4) осуществляется оптимальное планирование режима энергосистемы на рассматриваемый период с использованием перестроенных ХОП расчетных станций  $\bar{b}_i(P_i)$  как без учета сетевого фактора. На этом этапе при расчете компонентов градиента по нагрузкам узлов с регулируемым потребителями используются полученные в результате выполнения пункта 2 зависимости  $\sigma_j(P_j)$ .

В результате проведенных расчетных экспериментов по учету сетевого фактора описанным алгоритмом суммарные расходы условного топлива уменьшились до 0,26%. Кроме того, было установлено, что описанный выше алгоритм оптимизации с учетом сетевого фактора обладает высокой надежностью сходимости итеративного процесса расчета.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты исследований, относящиеся к данной диссертации, можно сделать следующие выводы:

1. На основе исследования существующих положений разработана математическая модель задачи оптимизации нагрузок регулируемых электропотребителей при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем. В результате создана возможность математического описания задачи оптимального режима энергосистемы в условиях управления нагрузкой электропотребителей с высокой точностью.

2. На основе градиентного метода оптимизации разработаны алгоритм и программа оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей. В результате создана возможность определения оптимальных нагрузок расчетных электростанций и регулируемых электропотребителей с учетом режимных и технологических ограничений и обеспечения на их основе эффективных режимов работ энергосистем в допустимой области.

3. Разработан алгоритм оптимизации перетоков мощностей по межсистемным линиям электропередачи при планировании краткосрочных режимов энергосистем, входящих в межгосударственные энергообъединения. В результате создана возможность определения оптимальных потоков мощностей по межсистемным линиям, выгодных для обеих энергосистем.

4. Созданы математическая модель задачи и алгоритм учета электростанций с ограниченным запасом первичных энергоресурсов. Результаты дали возможность определения и обеспечения экономичных режимов работ энергосистем, содержащих станции с ограниченным запасом первичных энергоресурсов.

5. Предложен алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом простых и функциональных ограничений в виде неравенств в условиях вероятностного характера исходной узловой информации. В результате создана возможность оптимизации с высокой точностью краткосрочных режимов энергосистем с учетом ограничений в виде неравенств в условиях вероятностного характера нагрузок электропотребителей.

6. На основе усовершенствования существующих алгоритмов разработаны эффективный алгоритм и программа учета сетевого фактора при оптимальном планировании краткосрочных режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей, основанные на перестройку зависимостей относительных приростов потерь от мощностей узлов с расчетными станциями и регулируемые электропотребителями. В результате создана возможность определения оптимальных краткосрочных режимов энергосистем с учетом сетевого фактора в условиях управления нагрузкой электропотребителей.

7. Результаты исследования внедрены в Национальном диспетчерском центре АО «Узбекэнерго» для оптимального планирования суточных режимов энергосистем с управлением нагрузкой регулируемых электропотребителей. В результате научных исследований создана возможность сбережения 63,6 тонн условного топлива за сутки.

Общий экономический эффект от внедрения математической модели и алгоритма решения задачи оптимального управления нагрузками регулируемых электропотребителей составил 146 млн. сумов за квартал.

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND  
LLC «SCIENTIFIC TECHNICAL CENTER» SCIENTIFIC COUNCIL  
FOR AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc.27.06.2017.T.03.03**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**REYMOV KAMAL MAMBETKARIMOVICH**

**OPTIMAL CONTROL OF ELECTRIC CONSUMERS LOAD OF  
POWER SYSTEMS**

**05.05.02- Electrical engineering. Electrical Power plants, systems. Electro technical  
complexes and installations**

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

**Tashkent-2018**

**The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2017.1.PhD/T91.**

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

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

**Scientific supervisor:** **Gayibov Tulkin Shernazarovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Official opponents:** **Bobojanov Makhsud Kalandarovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Sokolov Valeriy Konstantinovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Leading organization:** **«SREDAZENERGOSETPROEKT» JSC**

The defense will be take place «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 at \_\_\_\_\_ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc 27.06.2017.T.03.03 Tashkent State Technical University and LLC «Scientific technical Center». Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone/fax: (99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information–Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number –\_\_\_). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone/fax: (+998 71) 246-03-41.

Abstract of dissertation was distributed on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 year.

(mailing record № \_\_\_\_\_ on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 year)

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

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

**M.I. Ibadullaev**  
Chairman of the scientific seminar under scientific council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, Professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research** is to develop a mathematical model and algorithms for solving of problems of optimal planning of power system's short-term modes with load management of electric consumers and taking into account the regime and technological limitations.

### **Tasks of the research:**

research and analysis of the existing state of load management for electric consumers in the optimal planning of power system's short-term modes;

development of a mathematical model of the problem of optimization of loads of regulated electric consumers in the planning of power system's short-term modes;

development of an algorithm for the optimal planning of power system's short-term modes with load management of regulated electric consumers and taking into account all types of regime and technological limitations;

creation of algorithms for accounting and optimization of power flows through inter-system transmission lines with optimal planning of power system's short-term modes that are part of interstate energy associations;

development of an algorithm for accounting for power plants with a limited supply of primary energy resources with the optimal planning of power system's short-term regimes with load management of regulated electric consumers;

**Object of the research** is an electric power system with rated power plants and electric consumers with regulated loads.

### **Scientific novelty of the research** is as following:

a mathematical model of the problem of optimization of loads of electric consumers in the planning of power system's short-term modes;

an algorithm for the optimal planning of power system's short-term modes with load management of electric consumers and taking into account regime and technological limitations;

an algorithm for accounting for power plants with a limited supply of primary energy resources has been developed for the optimal planning of power system's short-term modes;

the algorithm of the network factor accounting is developed at the optimal planning of power system's short-term modes.

**The structure and volume of the research work.** The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of literature, and applications. The volume of the thesis is 109 pages.

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

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов. Минимизация потерь в электрических сетях по ЭДС трансформаторных ветвей. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. -Ташкент, 2012. № 3-4, с.33-37. (05.00.00; №21).
2. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов. К оптимизации режимов энергосистем управлением нагрузкой электропотребителей. //Вестник ТашГТУ, Ташкент, 2013 №3, с. 78-83. (05.00.00; №16).
3. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов. А.Т.Хабибуллина. Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем, содержащих станций с ограниченными запасами энергоресурсов. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент. 2013. №3-4, с.151-156. (05.00.00; №21).
4. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов. К учету потерь в сетях при оптимизации режимов энергосистем. // Вестник филиала АН РУз. Нукус. 2014. №2. с. 26-28. (05.00.00; №19).
5. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов, Х.Ф.Шамсутдинов. Оптимизация режимов электрических сетей по напряжениям узлов и коэффициентам трансформации трансформаторов. // Вестник ТашГТУ, 2014. №1 с. 56-61. (05.00.00; №16).
6. Т.Ш.Гайибов., К.М.Реймов. Учет функциональных ограничений при оптимизации режимов энергосистем по активной мощности в условиях вероятностного характера исходной информации. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, 2014. № 4. С.55-59. (05.00.00; №21).
7. Т.Ш. Гайибов, К.М. Реймов, Э.А. Самаджонов, Х.Ф. Шамсутдинов. Минимизация нагрузочных потерь в электрических сетях Восточных МЭС Узбекской энергосистемы. // Вестник ТашГТУ, Ташкент, 2015. №1. 67-72 с. (05.00.00; №16).
8. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Учет режимно-технологических ограничений при оптимизации режимов энергосистем с управлением нагрузкой электропотребителей. //Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, 2016. № 3-4. С.111-115. (05.00.00; №21).
9. T.Sh.Gayibov., K.M.Reymov. Optimal planning of short-term modes of power systems with control of loads of electric consumers and taking into account of network factor// Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2017. - №9-10 September-October. PP. 86-91. ISSN 2310-5577. (05.00.00; №3).

## II бўлим (II часть; part II)

10. Tulkin Gayibov, Kamal Reymov, About Power Flows optimization on intersystem Electric Transmission Lines // International Scientific Conference «UNITECH' 13» 22 – 23 November 2013. Gabrovo. Pg.63-65.
11. Gayibov Tulkin, Reymov Kamal. Optimization of modes of electrical power systems with the control of power consumption // Technical University of Kosice. The 7<sup>th</sup> International Scientific Symposium «ELEKTROENERGETIKA 2013». September 18–20, 2013, Stara Lesna, Slovakia. Pg.83-85. ISBN 978-80-553-1441-9.
12. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Оптимальное планирование краткосрочных режимов энергосистем с учетом управления электропотреблением. // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов седьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - Благовещенск: Издательство Амурского государственного университета, 2013 г. С.75-78.
13. К.М.Реймов. Оптимизация перетоков мощностей при планировании режимов межгосударственных энергосистем. // ЎзР ФА. Тошкент шаҳри. «Ёш олимлар конференцияси – 2013» илмий анжумани. 2013 йил 26 декабрь. Б.134.
14. Т.Ш.Гайибов, К.М.Реймов. Оптимизация краткосрочных режимов энергосистем с управлением электропотребления. // РФ. Журнал “Электрика”. 2014. №6. с. 2-5.
15. T. Sh. Gayibov., K.M.Reymov., E.Samadjonov. Optimization of Short-term Modes of Power Systems Containing the Stations with Limited Stock of Power Resources //International Electrical Engineering Journal. Vol. 5 (2014) No.5, pp. 1408-1412. ISSN 2078-2365. (№2. JIF, IF:3.688).
16. Реймов К.М. Исследование зависимости оптимальности режима энергосистемы от выбора балансирующей станции. // «Горно-металлургический комплекс: Проблемы и их решения». г.Алматы. 08.04.2015 г., с. 255.
17. К.М.Реймов. Математическая модель задачи оптимального управления нагрузкой электропотребителей. Интернет ресурс. <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energ/2015/energ/pages/sections.htm>. г.Кемерово. 2015 г.
18. К.М.Реймов. Определения критерия оптимального распределения активной нагрузки между агрегатами ТЭС. // Автоматизированные технологии и производства. №2. 2016 й. Магнитогорск. С.25-28.
19. T.Sh.Gayibov., K.M.Reymov. Taking into account the Power Losses in Optimization of Modes of Power Systems. //International Electrical Engineering Journal Vol. 7 (2016) No.2, pp. 2156-2160. ISSN 2078-2365. (№2. JIF, IF:3.688).
20. К.М.Реймов. Разработка алгоритма оптимизации режимов энергосистем линейной аппроксимацией нелинейных зависимостей с учетом ограничений. //Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и

- перспективы развития. XIV Международной научно-практической конференции. Новосибирск - 2016 г. С.210-214.
21. Реймов К.М., Танирбергенов Р.М. Об оптимальном покрытии графика нагрузки энергосистем в программе Matlab. «Молодой ученый» №11 (145). Март 2017 г. Казань. С.99-102.
  22. Реймов К.М., Хужаев А.А. К учету потерь в сетях при оптимизации режимов энергосистем. III-я международная (VI-я Всероссийская) научно-техническая конференция «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий». 20 – 21 апреля 2017 г. УФА 2017. С.489-494.
  23. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М., Эгамбердиев Ф.А. К вопросу оптимизация графиков нагрузок потребителей энергосистем. XXII-ой Международной научно-практической конференции «Инновация-2017». 2017. – С.147-148.
  24. Реймов К.М., Эгамбердиев Ф.А., Собитов А.А. Оптимизации режимов энергосистем в условиях вероятностного характера исходной информации. XXII-ой Международной научно-практической конференции «Инновация-2017». – Ташкент, 2017. – С.150-151.
  25. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М., Жураев М.Э. Программа «Opt\_K» для оптимизации режимов электрических сетей по коэффициентам трансформации трансформаторов. /Программа для ЭВМ/ № DGU, 28.10.2014 г.
  26. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Программа «TESGES» для оптимального покрытия графиков нагрузок энергосистемы тепловыми и гидравлическими электрическими станциями. /Программа для ЭВМ/ № DGU 03033, 10.02.2015 г.
  27. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Программа «UCHSET» для оптимизации режима электроэнергетической системы с учетом потерь в сетях. /Программа для ЭВМ/ № DGU 03399, 24.11.2015 г.
  28. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Программа «OPT\_Q» для оптимизации режимов электрических сетей по реактивной мощности. /Программа для ЭВМ/ № DGU 04236. 19.01.2017 г.
  29. Гайибов Т.Ш., Реймов К.М. Программа «OptNag» для оптимизации графиков нагрузок электропотребителей энергосистем. /Программа для ЭВМ/, № DGU 04837. 27.10.2017 г.



Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида  
таҳрирдан ўтказилди.

Бичими 84x60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи 2,75. Адади 100. Буюртма № 3.

«ЎзР Фанлар академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилди.  
100170, Тошкент, Зиёлилар кўчаси, 13-уй