

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон
Ба номи академик М.С. Осимӣ

КДУ-621.3:669.711

Бо ҳуқуқи дастнавис



АМИРХАНОВ Алишер Сайвалиевич

**КОРКАРДИ СИСТЕМАИ ИДОРАКУНИИ СИФАТИ ЭНЕРГИЯИ
ЭЛЕКТРИКӢ ДАР ҚОРХОНАҲОИ МЕТАЛЛУРГИЯИ РАНГА
(ДАР МИСОЛИ ҶСК “ШАТ”)**

АВТОРЕФЕРАТИ

рисолаи илмӣ барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси **05.14.02** – “Нерӯгоҳҳои электрикӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ”

Душанбе – 2022

Кори диссертатсионӣ дар кафедраи “Асосҳои назариявии радио ва электротехника”- и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ анҷом дода шудааст.

Роҳбариилмӣ:

Назиров Хуршед Бобохочаевич
номзади илмҳои техникӣ, мудири
кафедраи «Электроэнергетика»-и
филиали «Донишгоҳи миллии
таҳқиқоти Донишкадаи энергетикии
Москва» дар шаҳри Душанбе.

Муқарризони расмӣ:

Грачева Елена Ивановна
доктори илмҳои техникӣ, дотсент,
профессори кафедраи
“Барқтаъминкунии корхонаҳои
саноатӣ”-и Муассисаи таълимии
бучавии давлатии федералии таҳсилоти
оли “Донишгоҳи давлатии энергетикии
Қазон”

Раҳматулов Ашурали Зокирович
номзади илмҳои техникӣ, Сардори
шӯъбаи “Тақсимот ва талафоти нерӯи
барқ”-и Филиали Чамъияти Саҳоми
Кушодаи “Шабакаҳои тақсимои
барқ” дар шаҳри Бохтар.

Муассисаи пешбар:

**Донишкадаи кӯхию металлургии
Тоҷикистон.**

Ҳимояи такрории диссертатсия «7» апрели соли 2023, соати 14⁰⁰ дар
ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-049 дар назди Донишгоҳи техникии
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, бо нишони 734042, ш. Душанбе,
хiebони академикҳо Рачабовҳо, 10А, баргузор мегардад. E-mail:dis.sia@mail.ru

Бо диссертатсия дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникии
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ www.ttu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат « ___ » _____ соли 2023 тавзеъ шудааст.

Котиби илмии
Шӯрои диссертатсионӣ 6D.KOA-049,
номзади илмҳои техникӣ, дотсент

Ш.М. Султонзода

ИХТИСОРАҲО

ЧСК “ШАТ” - чамъмияти саҳомии кушодаи “Ширкати алюминийи Тоҷик”
СЭҚТ – системаи электроэнергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон
НСЭЭ - нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ
СЭЭ - сифати энергияи электрикӣ
ҚГО - қараёни гармоникаҳои оӣ
ГО - гармоникаҳои оӣ
ОТВ – олотҳои тақсимои воридотӣ
ТВАҒ – тавсифи вольт-амперии ғайрихатӣ
ТА – трансформатори асосӣ
ТТБ – танзимкунӣ таҳти бор
ХИБ – хати интиқоли барқ
САБТЭЭ – системаи автоматикунонидашудаи ба ҳисобгирии тиҷоратии энергияи электрикӣ
НТ – нуқтаи тақсимоӣ
ОТА – олотҳои тақсимоии асосӣ
ҚДБ – қоидаҳои дастгоҳҳои барқӣ
ШП – шиддати паст
ШБ – шиддати баланд
СБ – системаи барқтаъминкунӣ
ДФҚ – дастгоҳҳои филтрию чубронкунанда
ФФ – филтрҳои фаъол
ФҒ – филтрҳои ғайрифавол
ВЧ – воситаҳои ченкунӣ
СИА – системаи идоракунии автоматӣ

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Муҳимияти масъалаҳои таҳқиқот. Энергияи электрики ҳамчун мол, ки дар корхонаҳои саноатии бо номи “Неругоҳҳои барқӣ” истеҳсол карда мешавад, дар зернеругоҳҳо табил дода мешавад ва бо востай ХИБ интиқол карда мешавад, бояд нишондодҳои мувофиқ будаи сифати энергияи электрикиро (СЭЭ) дошта бошад. Барои таъмини истеъмолкунандагон бо энергияи электрикии босифат бояд дар шабакаҳои электрикии ҳозиразамон системаи идоракунии СЭЭ коркард карда шавад. Таҷрибаҳо нишон медиҳад, ки ҳангоми набудани системаи муназзами идоракунии СЭЭ дар дилхоҳ шабакаҳои электрикӣ мушкилӣ вобаста ба таъмини нишондодҳои СЭЭ дида мешавад. Системаи муназзами идоракунии СЭЭ таъминоти кафолатноки НСЭЭ истеъмолкунандагонро таъмин мекунад. Чун қоида ҳангоми бад шудани НСЭЭ дар шабакаҳои электрикии таъиноташон гуногун ҳолати электромагнитӣ бад шуда, речаи кории мӯътадили дастгоҳҳо ва қабулқунакҳои электрикӣ вайрон мешавад. Ҳар сол бо мақсади таъмини сифати энергияи электрикӣ дар ҳамаи сатҳҳои идоракунии хоҷагии энергетикӣ хароҷотҳои зиёд сарф карда мешавад.

Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ гузаронидашудаи нишондодҳои СЭЭ дар солҳои 2011, 2015, 2016 ва 2018 нишон доданд, ки сарчашмаҳои асосии монеаҳои электрикӣ барои пайдоиши чараёни гармоникҳои олӣ (ЧГО) - технологияи истеҳсоли алюминий, аниқтараш ваннаҳои электролизӣ ба ҳисоб мераванд, ки бо чараёни доимӣ кор мекунанд. Чараёни доимӣ аз ҳисоби табилдиҳандаҳои ростқунакҳои пурқувват гирифта мешаванд. Аз рӯи натиҷаҳои таҳлили системаҳои барқтаъминкунии корхона барои кам кардани сатҳи ЧГО ва монеаҳо чораҳои пешбинӣ кардашуда басанда нестанд.

Чараёни ГО-и ҳосилшуда ба элементҳои шабакаҳои электрикӣ паҳн шуда, талафотҳои иловагиро ба вучуд меорад ва қисмҳои чараёнгузарро гарм намуда, шароити тез шудани раванди кӯҳнашавии оиқхоро ба миён меорад.

Муҳим будани масъалаҳои гузошташуда аз руи натиҷаҳои ченкунӣ дар гиреҳҳои лозимаи нақшаҳои барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” бо ёрии воситаҳои махсуси ченкунии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ тасдиқ карда мешаванд.

Ба ҳама саъю кушишҳои барқтаъминкунии корхона оиди таъмини сифати энергияи электрикӣ дар шабакаҳои электрикӣ нигоҳ накарда, масъалаи беҳтарсозии сифати энергияи электрикӣ дар системаи электроэнергетикии ҚТ ҳалношуда боқӣ мемонад. Яке аз масъалаҳои бадшавии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ аз рӯи шиддат ва чараёнҳои ғайрисинусоидалӣ дар СЭҚТ мустақиман бо речаҳои кории ҚСК “ШАТ” алоқаманд аст.

Ба самаранок коркунӣ, фароҳам овардани шароити мусоиди электротехникӣ барои кор кардани воситаҳои электротехникии истеъмолкунандагони асосӣ ва иловагии корхона, мусоидат мекунанд. Таъмини сифати энергияи электрикӣ ин шартӣ зарурии беҳатарии ҳаёт ва саломатии аҳоли ба ҳисоб меравад.

Дарачаи коркардашудаи мавзӯ. Саҳми муҳимро дар масъалаҳои таҳқиқот ва коркарди усулҳо ва тарзҳои таъмини СЭЭ чунин олимони хориҷӣ,

ба монанди Брэдли Д., Арриллага Дж., Фукс Э., Дрехслер Р., Масум М., ва дигарон гузоштаанд.

Дар давлатҳои собиқ Иттиҳоди Шуравӣ дар бобати масъалаҳои беҳтарсозии сифати энергияи электрикӣ Солдаткина Л.А., Курбатский В. Г., Зыкин Ф. А., Железко Ю. С., Коверникова Л. И., Кузнецов В. Г., Маркушевич Н.С., Сальников В. Г., Кучумов Л. А., Розанов Ю. К., Жежеленко И. В., Смирнов С. С., Майер В. Я., Шидловский А. К., Карташев И. И., Тульский В.Н., ва дигарон кор карданд.

Масъалаҳои тамини СЭЭ ва коркарди системаи идоракунии дар конференсияҳои байналмиллалӣ CИRED, CIGRE, IEEE ва конференсияҳои сатҳи минтақавӣ дар базаи институтҳои машҳури “ИУТЭ, НТЦ ФСК”, ва муасисаҳои таҳсилоти олиӣ “ДМТ ДЭМ”, “ДДТН”, “ДЭТЛ” ва дигарон гузаронда шуда, муҳокима карда шуданд. Дар маводҳои коркардшуда оиди масъалаи коркарди усулҳои системавии таъмини СЭЭ дар корхонаҳои алюминӣ диққати махсус дода нашудааст.

Масъалаҳои таҳқиқ ва таъмини сифати энергияи электрикӣ бевосита дар системаи энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон дар корҳои Назиров Х.Б., Чураев Ш.Ҷ., ва Иноятов Д.Ҷ., дида баромада шудааст.

Дар корҳои муаллифҳои дар боло номбаршуда, масъалаҳои таъсири чараёни гармоникҳои олӣ, ки дар ҚСК “ШАТ” ба вучуд меояд, ба речаи кори элементҳои системаи электрикӣ дида баромада шудаанд.

Таъсири чараёни ГО ба речаи кори қабулқунакҳои электрикӣ ёрирасон ва дар нақшаҳои дохилаи барқтаъминкунии завод бо таври зарурӣ дида баромада нашудаанд. Масъалаи асосии таҳқиқоти зерин, баҳодиҳии паҳншавии чараёни ГО нақшаҳои дохилаи барқтаъминкунии завод ва муайян намудани камбудии алоқаманд бо пастшавии нишондодҳои СЭЭ ва ҳалли ин масъалаҳо бо ёрии системаҳои коркардашудаи идоракунии СЭЭ дар сохтори идоракунии хоҷагии энергетикӣ корхона мебошад.

Мақсади кор: Сохтани низоми идоракунии СЭЭ дар нақшаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” ва таъмини кори мӯътадили қабулқунакҳои ёрирасон.

Дар доираи мақсадҳои мухтасар ифодаёфта, дар диссертатсия масъалаҳои зерин ҳал карда шудаанд:

1. Ҷенкунии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ, ошкоркунии сабабҳои асосии пастшавӣ ва таҳқиқоти ҳолати муосири нақшаҳои барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” дар ҳолати таъмини СЭЭ.

2. Таҳқиқоти нишондодҳои СЭЭ аз рӯи майлқунии шиддати гузошташуда, инчунин зарифи шакли ғайрсинусоидалии шиддат дар модели нақшаҳои барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ”.

3. Таҳқиқоти паҳншавии чараёни ГО аз рӯи нақшаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” ва баҳодиҳии таъсири ҚГО ба речаи кори элементҳо ва қабулқунакҳои барқии ҚСК “ШАТ”:

а) коркарди модели математикӣ системаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” барои таҳқиқоти ҚГО.

б) коркарди модели гармии трансформаторҳои сеҳӣ, олотҳои тақсимоти воридотӣ (ОТВ) барои баҳодиҳии таъсири ҶГО, ҳамчун гармкунии иловагӣ ба ҳарорати умумии трансформатор.

4. Коркарди усули муайянкунии пурбории ҷоизии трансформаторҳо ва муҳарриқҳои барқии 6-10 кВ дар ҳолати мавҷуд будани ҶГО дар печакҳои он.

5. Коркарди усулҳои кам кардани ҷараёни гармоникҳои оӣ дар нақшаҳои барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ”.

6. Коркарди системаҳои мониторинги СЭЭ дар мисоли системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” бо назардошти нишондодҳои мушоҳидашавандаи СЭЭ ва хусусиятҳои системаҳо аз рӯи сатҳи мувофиқаи электромагнитӣ.

7. Коркарди модели шӯбаи идоракунии СЭЭ дар ҳаёти сохтори дар намуди амудии ҳамгироии ҶСК “ШАТ”.

Обекти таҳқиқот - Нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ”, ки дорои қабулкунакҳои электрикӣ бо тавсифҳои вольт-амперии ғайриҳаттӣ мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот – ин таъсири ҶГО ба речаи кории қабулкунакҳои барқии асосӣ ва ёрирасони ҶСК “ШАТ” ба ҳисоб меравад.

Дурустии натиҷаҳои гирифташуда дар асоси мазмуни классикии бунёдии назарияи умумии электротехника ва математика, дурустнокии иҷроӣ асосҳои назариявӣ, тасдиқи натиҷаҳои бадастоварда дар мисолҳои сершумор асоснок карда мешавад. Тасдиқ намудани натиҷаҳои ҳосилшуда дар моделҳои ТАЛКОроии барномаҳои комплекси B2Spice, ELCUT (ИМА) иҷро карда шудаанд.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:

- Бори нахуст дар асоси барномаи комплекси B2SPICETRIAL модели математикии нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” барои ҳисоби дараҷаи ГО дар нуқтаҳои гуногуни назоратӣ (ҶСК “ШАТ”) коркард ва тасдиқ шудааст;
- Бори нахуст (дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК ШАТ) усули коркарди баҳодиҳии таъсири ҶГО ба пурбории воқеии трансформаторҳо, ки имконият медиҳанд, боркунии ҷоизиро муайян кунанд;
- Коркарди низоми идоракунии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” барои муътадил кардани монетаҳое, ки ба речаи кории истеъмолкунандагони ёрирасон ба миён меояд, ба риштаи таҳқиқ қашида шуда, натиҷагирӣ карда шудааст;
- Бори нахуст системаи мониторинги НСЭЭ дар мисоли нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” коркард карда шудааст;

Аҳамияти таҷрибавӣ диссертатсия. Аҳамияти таҷрибавӣ диссертатсия аз инҳо иборат мебошад:

Комплекси ҷорабиниҳои коркардшудаи ташкилӣ, техникӣ ва методӣ асосан метавонад барои сохтани системаи идоракунии сифати энергияи электрикӣ дар системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” хизмат кунад, ки ин амал имкон медиҳад, иҷроиши талаботи меъёри сифати энергияи электрикиро дар исқанҷаҳои қабулкунакҳои электрикӣ дар ҳолати хароҷоти муносиб дар истифодабарӣ ва талафоти энергияи электрикиро таъмин намояд.

Мазмунҳои асосие, ки дар Ҳимоя қайд карда шудаанд:

1. Модели математикии системаи барқтаъминкуни барои ҳисоби ҚГО ҳангоми якҷоякуниҳои гуногуни тағирёбии тавоноии ҚСК “ШАТ”.

2. Модели математикии равандҳои гармӣ дар Ҳс, ки имконият медиҳад ҳарорати майдон бо усули элементҳои охирин ҳисоб карда шавад ва эффект аз таъсири ҚГО баҳо дода шавад.

3. Усули баҳодиҳии таъсири ҚГО ба тавоноии истеҳсолшудаи Ҳс, имкон медиҳад, ки тавоноии ҷоизӣ барои кам кардани ҳарорати оиқ ҳангоми мавҷуд будани ҚГО – ии муваққатӣ дар печаки статор муайян карда шавад.

4. Алгоритми кам кардани таъсири ҚГО, ки қабулкунакҳои барқии ТВАҒ доранд.

Мувофиқат бо шиносномаи ихтисос:

Диссертатсия бо формулаи ихтисоси илмии 05.14.02 – “Нерӯгоҳҳои электрикӣ ва системаи электроэнергетикӣ” аз рӯи бандҳои зерин мувофиқат мекунад:

- ш.2 “Коркарди усулҳои таҳлили параметрҳои речавии дастгоҳҳои асосии нерӯгоҳҳои барқӣ” ба муайянкунии тавоноии истеҳсолшавандаи максималии Ҳс ҳангоми кор кардан дар системаи электрикӣ, ки қабулкунакҳои барқии дорои ТВАҒ, дохил мешавад.
- ш.6 “Коркарди усулҳои моделсозии математикӣ ва физикӣ дар электроэнергетика” ба модели математикии коркардшудаи речави ғайрисинусоидалӣ ба нақшаи барқтаъминкунии барои муайянкунии дараҷаи ҚГО тааллуқ дораду, ҚСК “ШАТ” дар барномаи комплекси В2Spice ва дар модели коркардшудаи математикии равандҳои гармӣ дар трансформаторҳо дар барномаи комплекси ELCUT ҳосил карда мешавад.
- ш.12 “Коркарди усулҳои санҷиш ва таҳлили СЭЭ ва воситаҳои таъмини он” ба алгоритми коркардшуда оиди пасткунии таъсири ҚГО ба речави кории гидрогенераторҳо тааллуқ дорад.

Тасдиқи натиҷаҳои кор. Натиҷаҳои кори диссертатсияи илмӣ дар конференсияҳои зерин муҳокима карда шуданд:

- дар 7-умин конференсия байналмилалӣ илмӣ-амалии олимони ҷавон ва донишҷӯён “ОПЫТ ПРОШЛОГО-ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ”, Тула, 2-3 ноябри соли 2017;
- дар XXIV-умин конференсия байналмилалӣ илмӣ-техникии донишҷӯён ва аспирантони “Радиоэлектроника, электротехника ва энергетика”, Москва 15-16 марти соли 2018;
- дар конференсия байналмилалӣ илмӣ-амалӣ бахшида ба рӯзи энергетикҳо, Бохтар 17 декабри соли 2017;
- Маводҳои III-умин конференсия илмӣ-амалии аспирантон, магистрон ва донишҷӯён “НАУКА-ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ” (Душанбе, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ, 26-27 апрели соли 2018);
- Дар 1-умин конференсия байналмилалӣ илмӣ-амалии “ВНЕДРЕНИИ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН” бахшида ба 5-умин солагарди чашни ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ” дар ш. Душанбе ва бахшида ба 27-умин солгарди чашни Истиклоли Чумхурии Тоҷикистон (ш.Душанбе 17-уми сентябри соли 2018);

- дар конфронси байналмилалии илмӣ-амалии “Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона” (ш. Душанбе, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ 21 декабри соли 2018);
- дар конфронси байналмилалии илмӣ-амалии “Водноэнергетические ресурсы основа реализации международного десятилетия действий “Вода для устойчивого развития” 2018-2028” (ш. Душанбе, филиали ФГБОУ ВО “НИУ МЭИ” дар шаҳри Душанбе, 12 апрели соли 2019)
- дар конфронси байналмилалии илмӣ-амалии IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (ш. Санкт-Петербург, 27 январ – 01 февралӣ 2020).

Наشري мавзӯи диссертатсияи илмӣ. Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқотҳои диссертатсияи илмӣ 18-то қорҳои ҷопшуда, аз он ҷумла, 12-то қор дар маҷмӯи маърузаҳо ва тезисҳо (фишурдаҳо) дар қорҳои конференсияҳои байналмилалӣ; 4-то мақола дар нашрияҳои, ки ҚОА ҚТ барои наشري натиҷаҳои асосии диссертатсияи илмӣ барои дарёфти унвони дараҷаи докторӣ ва номзади илм тавсия додааст (Паёми политехникӣ(4)) тава 2-мақола дар маводҳои конференсе, ки дар базаи маълумотҳои *IEEE* ва *SCOPUS* дохил мешаванд, нашр карда шудаанд.

Саҳми шахсии муаллиф ҳангоми таҳқиқот дар ҷен намудани нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ дар низоми барқтаъминкунӣ ҚСК «ШАТ» (90 %) ваназорати ҳарорати трансформаторҳо ва қабулкунакҳои барқии ҚСК «ШАТ» (95 %); қорқард намудани модели математикӣ системаи барқтаъминкунӣ ҚСК "ШАТ" барои муайян намудани паҳншавии ҚГО (80 %), алгоритми хоҳиш додани таъсири ҚГО барои таъмини қори мӯътадили трансформаторҳо (85 %) ва мониторинги НСЭЭ системаи идоракунии сифати нерӯи барқ дар низоми барқтаъминкунӣ ҚСК "ШАТ" (75 %) мебошад.

Соҳтор ва ҳаҷми қор. Диссертатсия иборат аст аз: Сарсухан, 4 боб, хулоса, 89 номгӯи адабиёт ва 3 замима бо ҳаҷми умумии 163 саҳифаи матни ҷопӣ. Матни асосии диссертатсия аз 140 саҳифа иборат буда, 45 расм ва 18 ҷадвалро дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар сарсухан муҳимияти мавзӯи диссертатсия асоснок карда шудааст, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот мухтасар дар соҳтори диссертатсия инъикос ёфтааст, навигарӣҳои илмӣ ва мазмуни амалии қор нишон дода шудааст, мазмуни асосии илмӣ диссертатсия ҷамъбаст гардидааст.

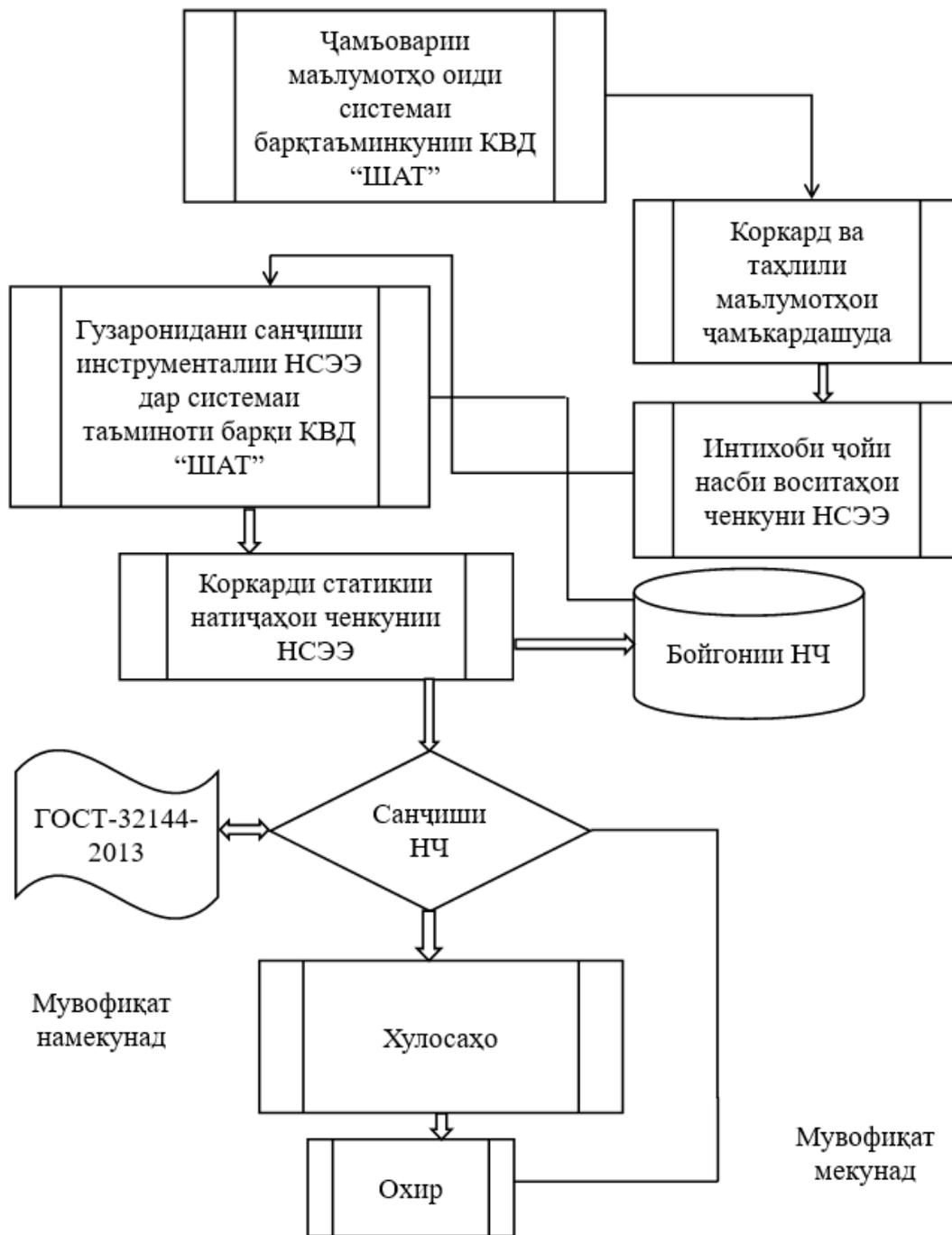
Дар боби авали диссертатсия “Баҳодиҳии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар корхонаи металлургияи рангаи ҚСҚ “ШАТ” дар диссертатсияи илмӣ шарҳи мухтасари масъалаҳои мавҷудбудаи системаи барқтаъминкунии ҚСҚ “ШАТ” аз нуқтаи назари таъмини сифати энергияи электрикӣ гузаронида шудааст. Таҳлили ҳуҷҷатии мувофиқати электромагнитии қабулкунакҳои барқии асосӣ ва ёрирасони раванди технологияи системаи барқтаъминкунии корхонаи муоинашаванда оиди бад будани сифати энергияи электрикӣ иҷро карда шуд. Мувофиқи натиҷаҳои таҳлили раванди технологияи кори сеҳҳо ва биноҳои ҚСҚ “ШАТ” таносуби ҶОИИ тавоноии истифодабурда ва муқарраршудаи қабулкунакҳои электрикӣ асосӣ ва ёрирасон ба даст оварда шуд. Натиҷаҳои таҳлил дар расми 1 ва 2 оварда шудааст.

Чи тавре, ки аз графикҳои сохтори истифодабарии қувваи барқ дида мешавад, истеъмолкунандаи асосии ҚСҚ “ШАТ” ин сеҳи электролизӣ мебошад, ки ҳиссаи вай қариб 90 % - ро дарбар мегирад. Сеҳҳои боқимонда ҳамагӣ 10 % - и тавоноии умумиро истеъмол мекунанд. Мувофиқи адабиётҳо маҳз ваннаҳои электролизӣ манбаъҳои асосии монетарӣ чараёнҳои гармоникаи олӣ ба ҳисоб мераванд, ки ба таври манфӣ ба речаи кории дигар қабулкунакҳои барқии корхона ва элементҳои системаи барқтаъминкунии завод таъсир мерасонад.



Расми 1 - Таносуби тавоноии муқарраршудаи сеҳҳои ҚСҚ “ШАТ”

Барои баҳодиҳии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар шабакаҳои барқии ҚСҚ “ШАТ” тавсияҳои ҳуҷҷатҳои меъёриро ба инобат гирифта, алгоритми раванди таҳқиқоти нишондодҳои СЭЭ дар объекти дидашаванда, ки дар расми 3 нишон дода шудааст, коркард карда шуд.



Расми 3 - Алгоритми таҳлили НСЭЭ дар системаи барқтаъминкунии ҚСК "ШАТ"

Нишондодҳои СЭЭ-и тадқиқшаванда: майлқунии басомад Δf , тағйирёбии сусти шиддат δU_y , зарби ғайрисиметрияи пайдарпайии баргашт K_{2U} ва сифри K_{OU} зарби тавсифқунандаи нодурустии шакли синусоидалии шиддати қач. Дар баробари нишондодҳои асосии СЭЭ, параметрҳои ёрирасони электроэнергетика, ки ҷараён ва тавоноиро тавсиф медиҳанд, чен карда шудаанд. Давомнокии ченкунӣ дар нуқтаҳои интиҳобшуда мувофиқи ГОСТ 32144-2013 на кам аз як ҳафта ро ташкил медиҳад.

Натиҷаҳои ченкунии СЭЭ дар гиреҳҳои хоси нақшаи барқтаъминкунии ҚСК "ШАТ", бо назардошти мувофиқат ба талаботи ГОСТ 32144-2013, дар ҷадвали 1- оварда мешавад.

Ҷадвали 1 - Натиҷаҳои ҷенкунии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ

Шиддати номиналӣ кВ	Нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ					
	Δf	δU_y	K_{2U}	K_{0U}	K_U	$K_{U(n)}$
10 кВ	+	+	+	+	-	-
6 кВ	+	+	+	+	-	-

+/- - Ба меъёрҳои ГОСТ-32144-2013 мувофиқат мекунад ва намекунад.

Хулоса оиди боби якум. Гузаронидани ҷенкунии инструменталии сифати энергияи электрикӣ сатҳи пасти якҷанд нишондодҳои сифати энергияи электриро тасдиқ мекунад. Ин дар ҳолат, ки ҳангоми гузаронидани ҷенкуниҳо ҶСК «ШАТ» фақат бо 30% аз тавоноии пурраи худ кор мекард. Зариби суммавии қачхатагии ҳолати синусоидалии шиддат дар худудҳои ҷоизӣ қарор дорад, аммо зариби қачхатагии ҳолати синусоидалии ҷараён ба меъёр дароварда намешавад, ки ба речаи кории элементҳо ва қабулкунакҳои системаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» таъсир мерасонад. Натиҷаҳои ҷенкунии нишон медиҳад, ки коркарди як қатор ҷорабиниҳо барои таъмини сифати энергияи электрикӣ мақсаднок мебошад.

Дар боби дуюм, яъне «Моделиронии системаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» барои баҳодиҳии паҳншавии ҷараёнҳои гармоникҳои оӣ» усулҳои ҳисоби речаҳои ғайрисиносоидалӣ ва талабот ба онҳо дида шудааст. Моделиронии раванди ҳисобкунӣ ва паҳншавии ҷараёни гармоникҳои оӣ аз рӯи алгоритми мувофиқ ба роҳ монда мешавад. Барои баҳодиҳии пурраи паҳншавии ҶГО дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» амсилае коркард карда мешавад, ки чунин давраҳоро дар бар мегирад: моделиронии нақша; моделиронии дастгоҳҳои электрии шабакаҳо ва борҳо; асосноккунии андозаҳои нақшаҳои ҳисобии шабака; эквиваленткунонии элементҳои нақша; муайянкунии дақиқияти нақшаҳои ҳисобӣ; баҳисобгирии гуногунии речаҳо.

Нақшаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» элементҳои зиёд дорад.

Барои соддакунии вазифаҳои моделиронӣ қисме аз нақшаҳои дохилаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» (ОТВ-1 ва 1НТ аз ТА-1) оиди гузаронидани тадқиқотҳои речаи гармоникҳои оӣ дар нақшаҳои дидашаванда интиҳоб карда мешавад.

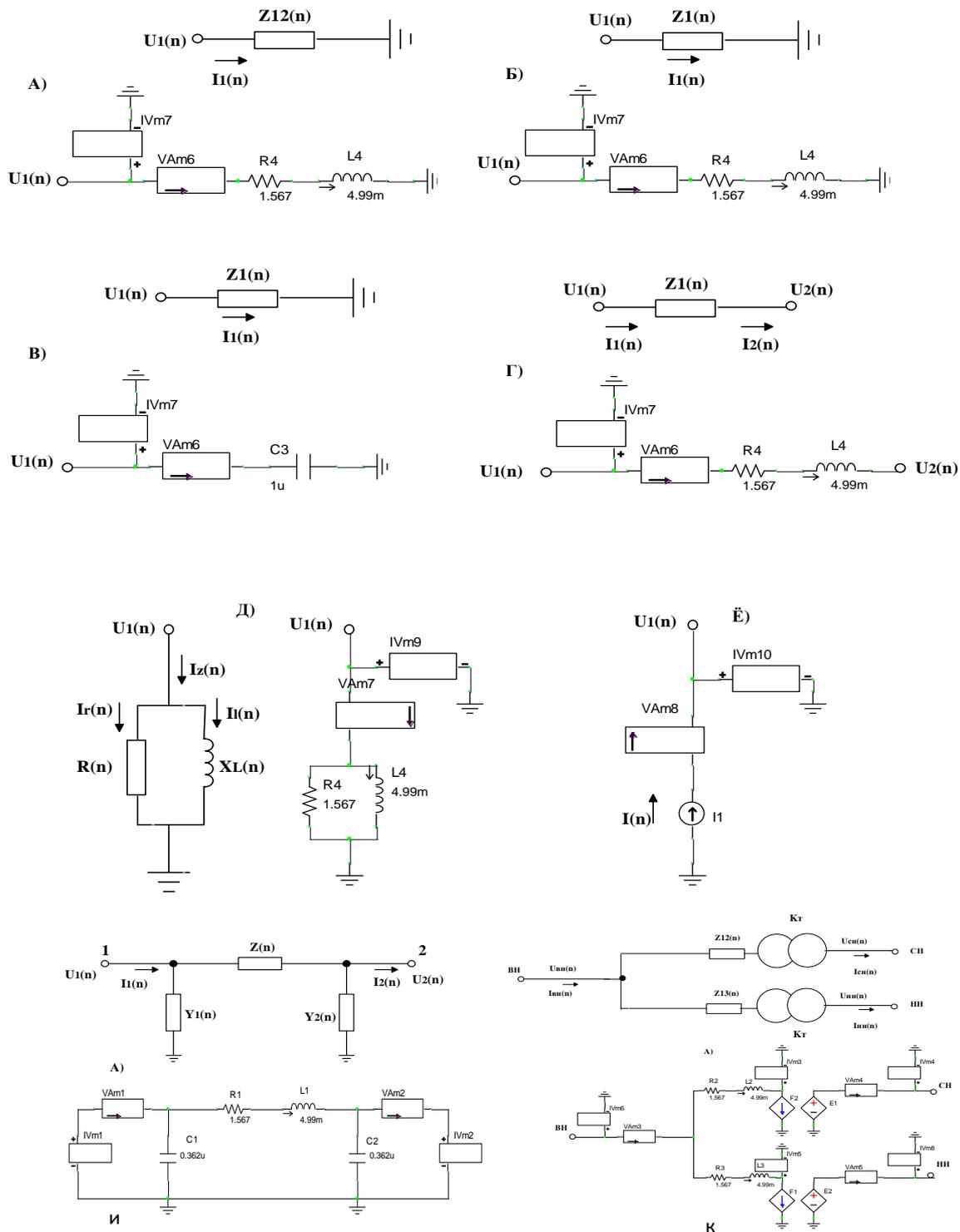
Қисми боқимондаи нақшаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» якхела мебошад ва бо китъаи дидашаванда монанд аст (ОТВ-1 ва 1НТ аз ТА-1).

Ба сифати бор дар ҶГО қабулкунакҳои электрии ёрирасон ва элементҳои нақшаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» дохил мешаванд.

Барои моделиронии системаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» ба сифати асбоби ҳисобӣ барномаи комплекси *B2Spice* ва барои коркарди натиҷаҳои моделиронӣ *Microsoft Excel* истифода шудааст.

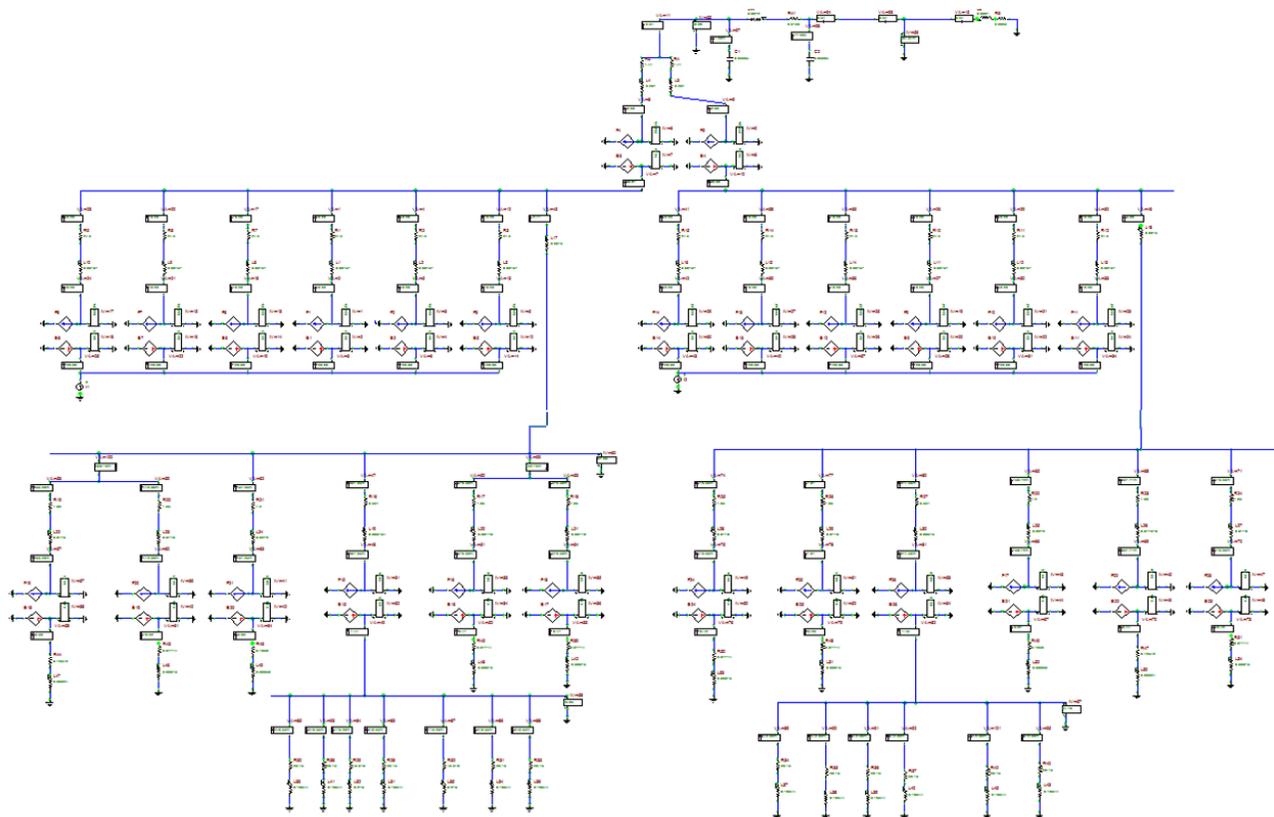
Чунин элементҳои асосии системаи барқтаъминкунии ҶСК «ШАТ» моделиронӣ карда шудааст: хатти интиқоли барқи ҳавоии 220 кВ бо дарозии 4,35 км, намуди АС-240/32; трансформатор бо печакҳои таҷзияшудаи 220/10 кВ бо

тавоноии 3x66,6 МВА; трансформаторҳои дастгоҳҳои росткунанда; диодҳои венти́лӣ; муҳаррикҳои асинхронии 6 кВ.



Расми 4 - Модели элементҳои системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” дар барномаи комплекси B2Spice.

а) – мошинаҳои синхронӣ ва асинхронӣ; б, г) –реакторҳо; в) - батареяҳои конденсаторӣ; д) - гиреҳи бори комплекси дар вақти пайвасти параллелӣ; е) – табдилдиҳандаҳои венти́лӣ ҳамчун манбаи чараёнҳои гармоникҳои олии; и) - хатҳои интиқоли барқи ҳавоӣ; к) трансформаторҳо.

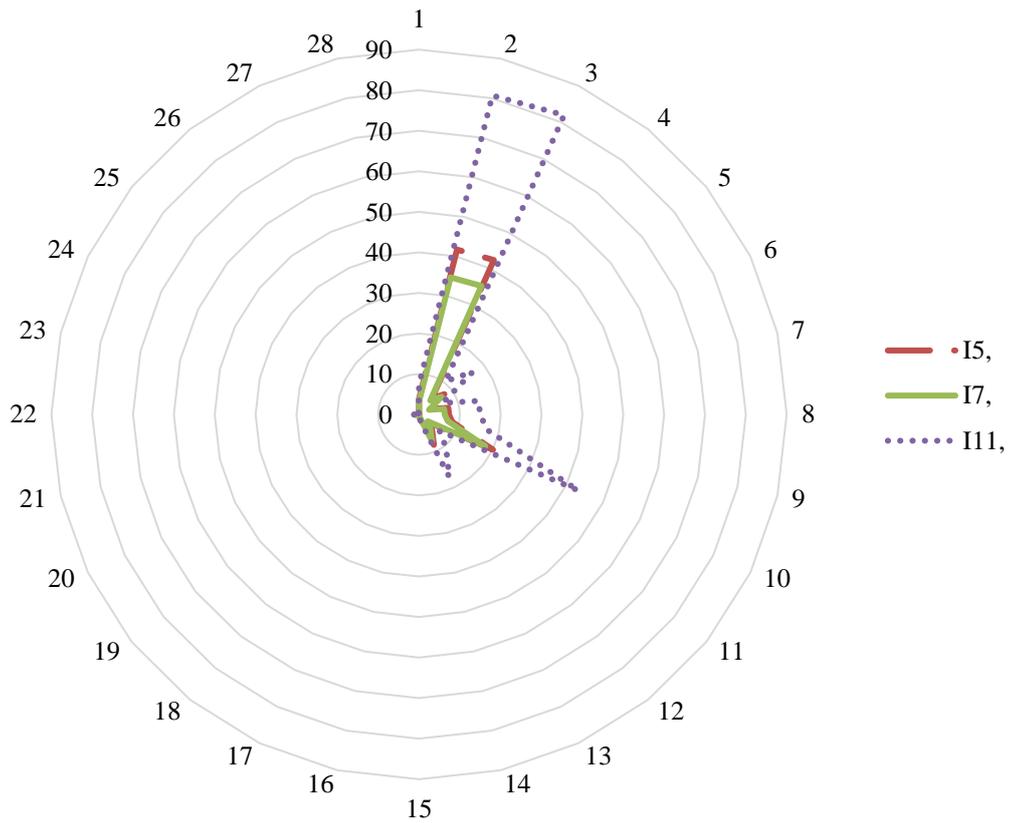


Расми 5 - Модели КВД “ШАТ” барои ҳисоб ва баҳодихии гармоникҳои оӣ дар барномаи V2spice

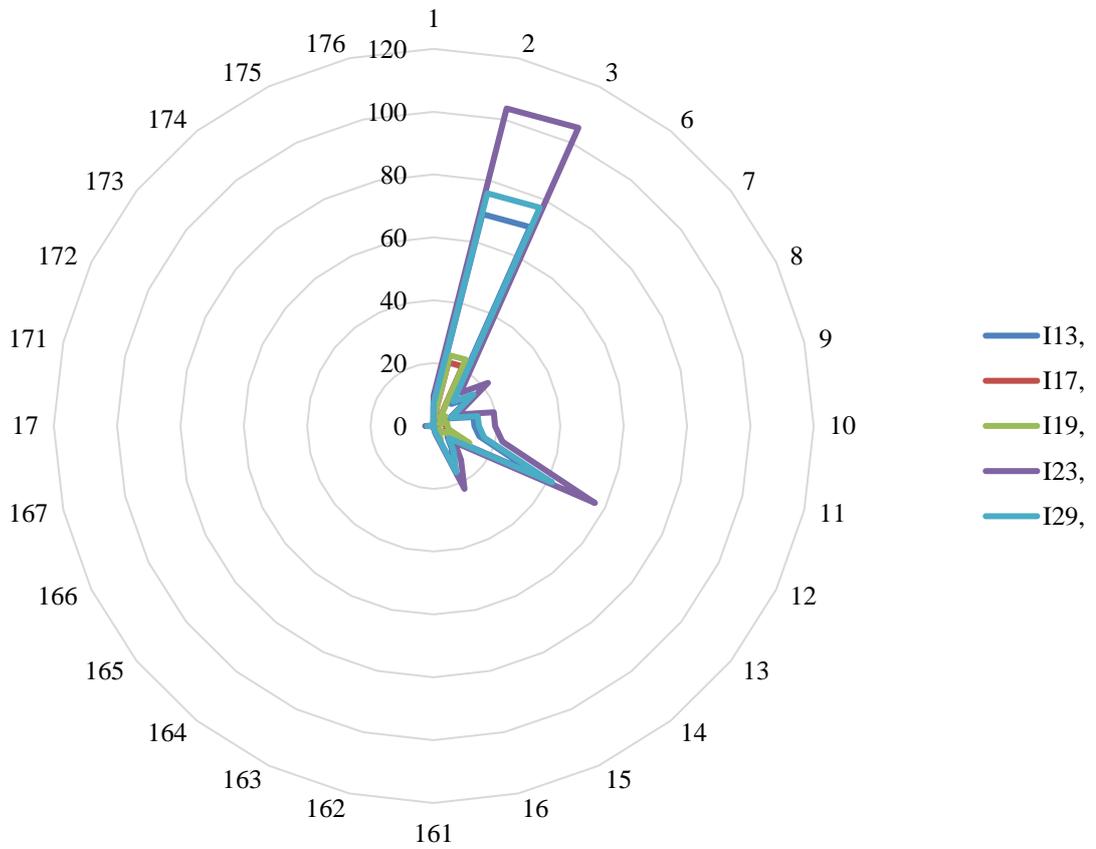
Навиштаҷоти математикии ҳар як элементи мувофиқ барои барномаи комплекси B2Spice дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Ҷадвали 2 - Формулаҳои математикӣ барои ҳисоби ҶГО барои барномаи комплекси B2Spice

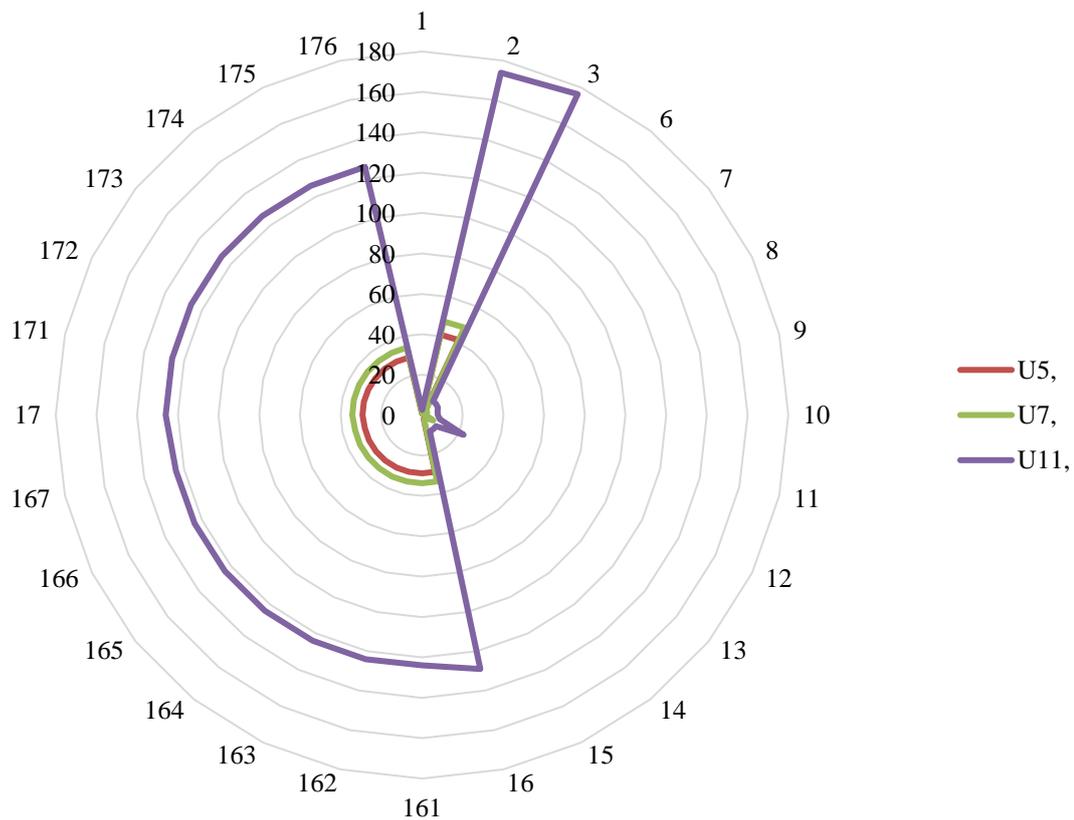
Мошинаҳои синхронӣ ва асинхронӣ	$Z_2 = r_2 + jx_2 = \frac{r_{2\%}U_H^2}{100S_H} + j \frac{x_{2\%}U_H^2}{100S_H}$ $Z_2 = r_2\sqrt{n} + jx_2nk_x,$ $x_{2\%} = 22 - 30\%, r_{2\%} = 1.5 - 3\%,$ $x_{2\%} = 25 - 30\%, r_{2\%} = 4 - 5\%.$	Дар нақшаи расми 5.А.
Хати интиқоли барқии ҳавоӣ	$U_1 = ch(\gamma_0 l) + I_2 Z_6 sh(\gamma_0 l),$ $I_1 = \frac{U_2}{Z_6} sh(\gamma_0 l) + I_2 ch(\gamma_0 l),$ $\gamma_0 = \sqrt{Z_0 Y_0},$ $Z_B = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}},$ $Z_0 = k_r r_{0(1)} + jn x_{0(1)},$ $y_0 = g_{0(1)} + jn b_{0(1)},$	Дар нақшаи расми 5.И.
Трансформатори дупеҷака	$Z_{(1)} = r_{(1)} + jx_{(1)} = \frac{\Delta P_K U_{6H}^2}{S_{НОМ}^2} + j \frac{U_{K\%} U_{6H}^2}{100 S_{НОМ}}$ $K_m = \frac{U_{6H}}{U_{HH}},$ $Z_{m(n)} = k_r r_{(1)} + jk_x x_{(1)},$ $k_r = \sqrt{n}, K_x = n$	Дар нақшаи расми 5. К.
Реакторҳо	$Z_1 = r_1 + jx_1 = \frac{\Delta P_{xx} 10^3 U_H^2}{S_H^2} + j \frac{U_H^2}{100 S_H}$ $Z_1 = r_1 + jx_1 = \frac{\Delta P_K 10^3}{I_H^2} + j \frac{x_{2\%} U_H^2}{100 I_H^2}$ $Z_1 = k_r r_1 + jx_1 n$ $\lambda = 0,238 \sqrt{\frac{n}{r_{0(1)}}}$	Дар нақшаи расми 5. Б,Г.
Батареяи конденсаторӣ	$x_1 = -j \frac{U_H^2}{Q_H}, Z_1 = 0 + j \frac{X_1}{n}$	Дар нақшаи расми 5. В.



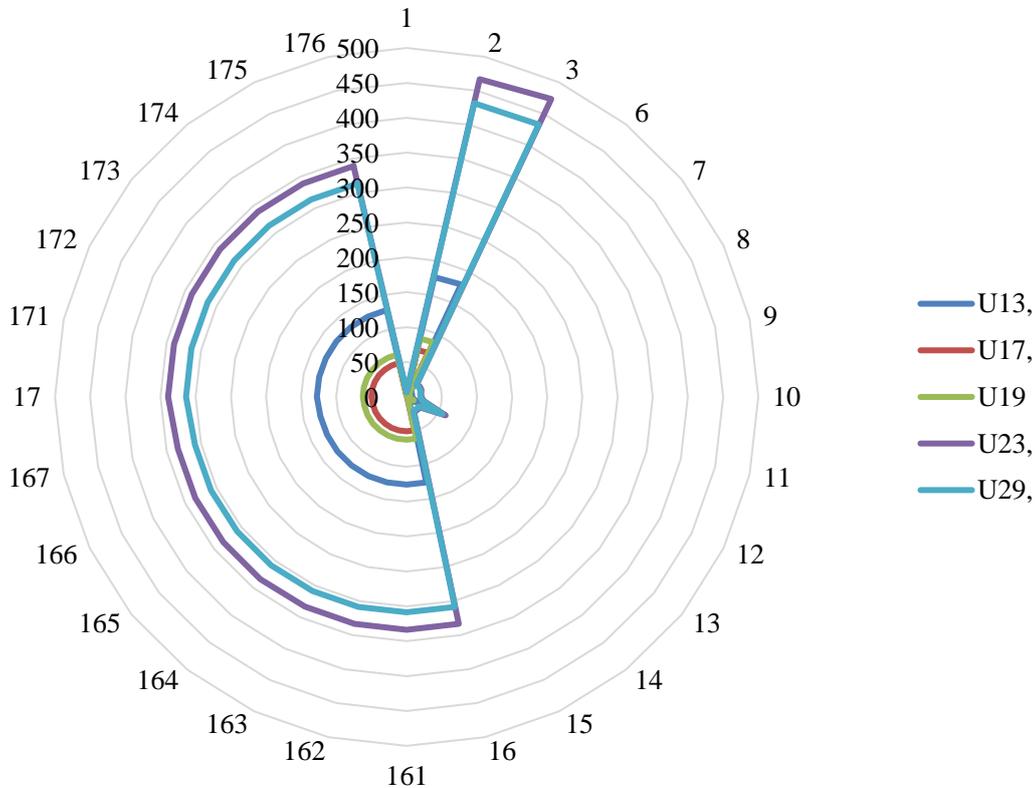
Расми 6 - Тақсимоги ҷараёни ГО бо рақамҳои тартибии 5,7,11



Расми 7- Тақсимоги ҷараёни ГО бо рақамҳои тартибии 13,17,19,23,29



Расми 8 - Шиддати ГО дар гиреҳҳои нақшаи дидашаванда бо басомадҳои 250, 350, 550 Ҳс



Расми 9 - Шиддати ГО дар гиреҳҳои нақшаҳои дидашаванда бо басомади 850, 950, 1150, 1450 Ҳс

Тавоноии качшавии дар барномаи комплекси B2Spice аз рӯи нишондоди амперметрҳо ва вольтметрҳои виртуалӣ бо ёрии ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$P_{(n)} = IVm_i \cdot VAm_i \cdot \cos(\varphi_{IVm_i} - \varphi_{VAm_i}); \quad (1)$$

Дар ин ҷо: IVm_i, VAm_i – ин нишондодҳои вольтметр ва амперметри виртуалӣ, ки дар гиреҳҳои мувофиқ насб карда шудааст; $\varphi_{IVm_i}, \varphi_{VAm_i}$ – кунҷи шиддат ва ҷараёни асбобҳои ченкунандаи мувофиқ; i – рақами тартибии вольтметрҳо ва амперметрҳо дар модел.

Аз натиҷаҳои моделиронӣ (расми 6-9) дида мешавад, ки сатҳи ҷараёнҳои гармоникҳои олий дар тахтасими 10 кВ-и гурӯҳи трансформаторҳои (ГТ) завод хеле баланд мебошад, ки ин бо он ифода мегардад, ки ин нуқтаҳо дар наздикии манбаи качшавӣ (росткунакҳо) ҷойгиранд. Дар тарафи 6 кВ нақшаи барқтаъминкунии завод дар баромадҳои печакҳои ШП –ТМ №12 бузургии шиддати ГО тартиби $(6 \cdot k \pm 1)$ то тартиб 29-ум нисбати дигар басомадҳо хеле баланданд. Махсусан шиддати ГО дар басомадҳои 550, 650, 1150 ва 1450 Ҳс хеле баланд аст, ин онро мефаҳмонад, ки дар ин басомадҳо муқовимат дар нуқтаҳои дидашаванда на он қадар баланд аст ва системаи барқтаъминкунии корхона дар ин нуқтаҳо нисбати система наздик ба резонанс кор мекунад. Аз ин бармеояд, ки таҳқиқот ва муайян намудани ҷараён ва шиддати басомадҳои олий саривақтӣ ба ҳисоб рафта, омӯختани онҳо имконияти бартарафкунии саривақтии таъсири манфии ГО-ро ба дастгоҳҳои барқии системаи барқтаъминкунии медиҳад. Зариби ғайрисинусоидалии ташкилдихандаи гармоникаи n -ум аз рӯи шиддат ба таври намоён дар искаҷаҳои муҳаррикҳои барқии сеҳи газтозакунӣ (нигаред ба расми 8-9 аз нуқтаҳои 16 то 176) баланд мешавад, ки ба речаи кории муҳаррикҳои барқии ДАЗО 6 кВ таъсири манфӣ мерасонад.

Натиҷаҳои муқоисакунӣ комилан мувофиқ будани модели коркардшударо нишон медиҳад, ки аз рӯи қиматҳои хатогии муқоисакунӣ (камтар аз 5%) тасдиқ карда мешавад. Модели системаи барқтаъминкунии ҚСҚ “ШАТ” дар мисоли ТА-1 ва ОТВ-1 дар диссертатсияи илмӣ нишон дода шудааст.

Хулосаҳо оиди боби дуюм. Модели системаи барқтаъминкунии ҚСҚ “ШАТ” дар мисоли ТА-1 барои ҳисоби ҷараён ва шиддати гармоникҳои олий дар барномаи комплекси B2Spice коркард шудааст. Қиматҳои шиддат ва ҷараёни ГО аз рӯи гиреҳҳои нақшаи дохилии барқтаъминкунии ба даст оварда шудааст. Натиҷаҳо нишон доданд, ки ҷараён ва шиддатҳои гармоникҳои олий ба басомади (550, 650, 1150 ва 1450 Ҳс) нисбати дигар басомадҳо, ки бо речаи кории дастгоҳҳои росткунандаи ваннаҳои электролизӣ алоқаманд мебошад, қимати баланд доранд. Нисбатан миқдори зиёди ҷараёни гармоникҳои олии (ҚГО) ҳамаи тартибҳоро трансформаторҳои бахшҳои тахтасими 1 ва 2-и ОТВ-1 истеъмол мекунад ва ҳиссаи ками ҷараёнҳои гармоникҳои олий (ҚГО) ба элементҳои системаи электроэнергетикии Тоҷикистон паҳн мешаванд. Бори муҳаррикҳои корхона ҷараёни гармоникҳои олиро нисбатан кам истеъмол мекунад, аммо шиддати гузошташудаи ғайрисинусоидалии нисбати дигар гиреҳҳои шабака хеле зиёд мебошад.

Боби сеюми диссертатсия “Баҳодиҳии таъсири чараён ва шиддати гармоникҳои олий ба речаи кории қабулкунакҳои барқии ёрирасони ҶСК “ШАТ””. Дар ин боб таҳлили таъсири чараёнҳо ва шиддатҳои гармоникҳои олий ҳамчун монеа ба речаи кории қабулкунакҳои барқии ёрирасони ҶСК “ШАТ” оварда шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқоти кори ҳисобкунакҳои барқӣ дар вақти мавҷуд будани чараёнҳои гармоникҳои олий нишон дода шудааст. Аз рӯи натиҷаҳои таҷриба дар вақти будани чараёнҳои гармоникҳои олий дар ҳисобкунакҳои индуксионӣ ҳангоми баҳисобгирии энергияи электрикии истеъмолкунандаи борҳои ғайрихаттӣ баъзе аз онҳо ҳисоб карда мешавад, барои борҳои ғайрихаттӣ ҳангоми шиддати ғайрисинусоидалӣ бошад, ҳисоб карда намешавад. Ҳамин тариқ истеъмолкунандаи бо бори қачшуда сифати пастшудаи энергияи электрикиро аз нуқтаи назари баҳисобгирии тичоратӣ пардохт мекунад.

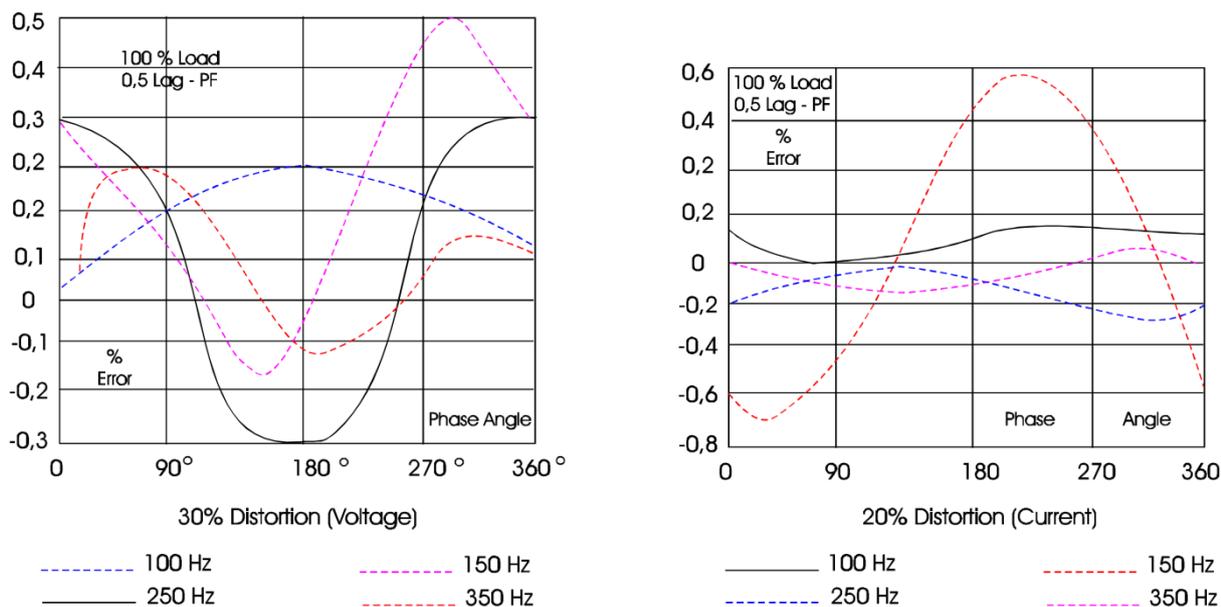
Тавоноӣ барои борҳои ғайрихаттӣ дар лаҳзаи ченкунии ҳисобкунакҳои индуксионӣ

$$P_{ex} = P_1 - \sum_2^n P_n \quad (2)$$

Тавоноии борҳои хаттӣ ҳангоми шиддати ғайрисинусоидалӣ

$$P_x = P_1 + \sum_2^n P_n \quad (3)$$

Тавсифномаи зудии ҳисобкунакҳои индуксионӣ дар вақти қиматҳои гуногуни гармоникҳо дар расми 10 оварда шудааст.



Расми 10 - Синусоидаи ченкардашудаи чараён ва шиддати ГО дар исканҷаҳои гурӯҳи ҳисобкунакҳои барқии индуксионии ҶСК “ШАТ”

Аз рӯи таҷрибаҳои бисёр гузаронидашуда оиди баҳодиҳии таъсири чараёни ГО ба ҳисобкунакҳои электрикии рақамӣ муқаррар карда шудааст, ки истеъмолкунандаи бо манбаи қачшуда барои энергияи электрикӣ маблағ кам месупорад ва истеъмолкунандае, ки энергияи электрикии бо гармоникҳои олиро мегирад нисбат ба он ҳолате, ки манбааш шиддати синусоидалӣ бошад, маблағи бисёр месупорад.

Ҳамин тариқ, баҳисобгирии энергияи электрикии фаъол ҳангоми речаи ғайрисинусоидалӣ бо хатогиҳои зиёд алоқаманд аст, ки 5-6 % - ро дар бар

мегирад. Аммо таҷрибаҳои воқеӣ дар шароитҳои озмоишӣ нишон доданд, ки ҳатогиҳои ҳисобкунакҳо аз 0,5% зиёд нест. Тавоноии истеъмолшавандаи ҚСҚ “ШАТ” ва ҳисобкунакҳои муосирро, ки дар нуқтаи баҳисобгирии тичоратӣ бо дараҷаи дақиқии 0,2 пайваस्त аст, ба назар гирифта, мумкин аст, ки системаи энергетикӣ Тоҷикистон аз сабаби гармоникҳои олиӣ системаи барқтаъминкунии корхона ҳар сол аз ҳисоби пардохти энергияи электрикӣ якчанд миллион сомони ро ба даст наорад. Қимати дақиқии мувозинати тавоноӣ дар ин кор аз ҳисоби маҳдуд будани ҳаҷми кори диссертатсионӣ гузаронида нашудааст.

Сипас барои таъмини сифати энергияи электрикӣ дар системаи барқтаъминкунии ҚСҚ “ШАТ” усули камкунии зарби бории трансформаторҳо аз ҳисоби аз он гузаштани тавоноие, ки аз ҷараён ва шиддати ГО таркиб ёфтааст, коркард карда шуд. Аз рӯи қоида дар трансформаторҳо талафоти доимӣ ва тағйирёбандаи тавоноӣ ҷой дорад. Мавҷуд будани ҷараёнҳои гармоникҳои олий ба қимати талафотҳои доимӣ назар ба талафотҳои борӣ қариб, ки таъсир намерасонад. Талафотҳои борӣ аз квадрати қимати амалкунандаи ҷараёни ҷоришаванда ва рақами гармоник дар дараҷаи вобаста мебошад. Барои талафотҳои иловагии аз ҳисоби ҷараёнҳои гирбодӣ ва гирдгаштӣ дар печакҳои трансформатор ин дараҷа баробари 2 ва барои талафотҳои иловагии аз ҷараёнҳои гирбодӣ дар зарф ва дигар қисмҳои конструктиви трансформатор бошад, мувофиқан 0,8 ва 1,05 мебошад. Зиёдшавии ҳар як ташкилдиҳандаи талафотҳои иловагии тавоноии фаъол ҳангоми будани гармоникҳои олий зарби зиёдшавии талафотро нисбат ба речаи кори номиналӣ тавсиф медиҳад.

$$K_{обм} = \frac{P_{обм}}{P_{обм, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^2 \quad K_б = \frac{P_б}{P_{б, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^{1,05}$$

$$K_{др} = \frac{P_{др}}{P_{др, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^{0,8} \quad (4)$$

Аз ҳисоби онҳо, ки қимати миёнаи квадрати ҷараён решаи суммаи квадрати ҷараёнҳои басомади асосӣ ва гармоникҳои олий мебошад, дар умум чунин ҳосил мешавад:

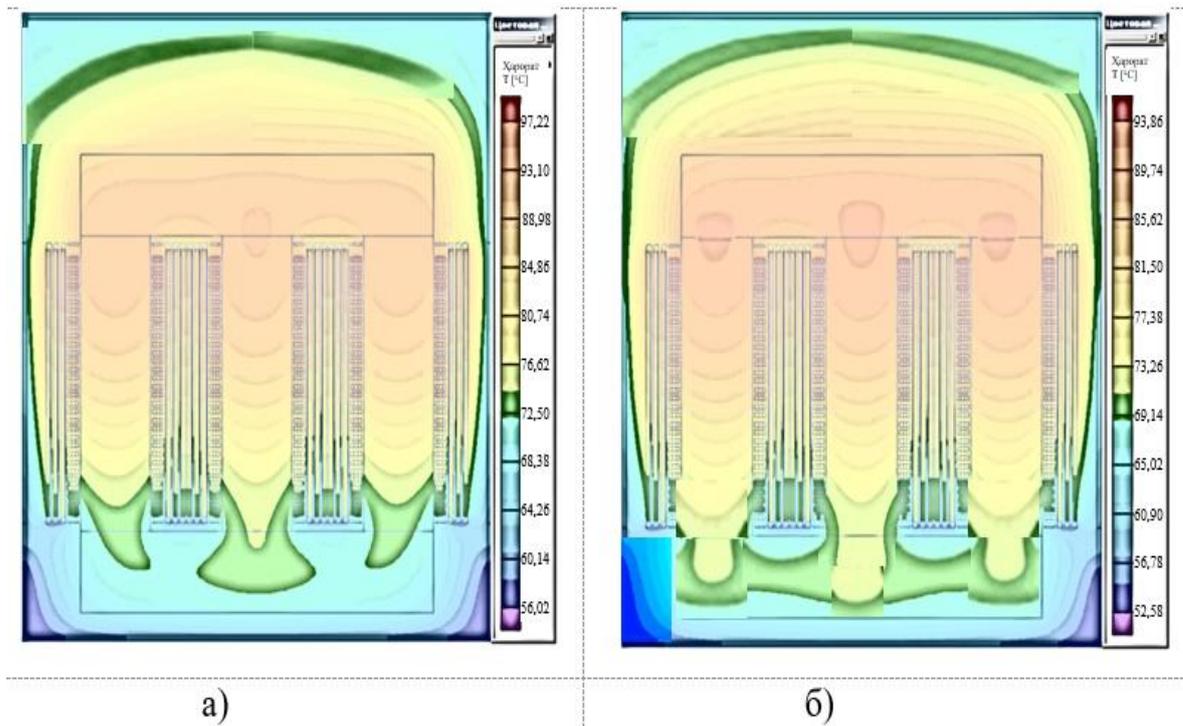
$$K_б = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^{1,05}}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2}; \quad K_{др} = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^{0,8}}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2} \quad (5)$$

дар ин ҷо: $P_{обм, ном}$, $P_{б, ном}$, $P_{др, ном}$ - талафот дар печак, бак ва дигар қисмҳои трансформатор.

$$\frac{I}{I_{ном}} = \sqrt{\frac{P_{*нагр, ном}}{1 + K_{обм} \cdot P_{*обм, ном} + K_б \cdot P_{*б, ном} + K_{др} \cdot P_{*др, ном}}} \quad (6)$$

Муодилаи (б) нишон медиҳад, ки ба кадом миқдор бояд қимати миёнаи квадрати чараён ҳангоми мавҷуд будани борҳои қач нисбати чараёни номиналии трансформатор кам шавад.

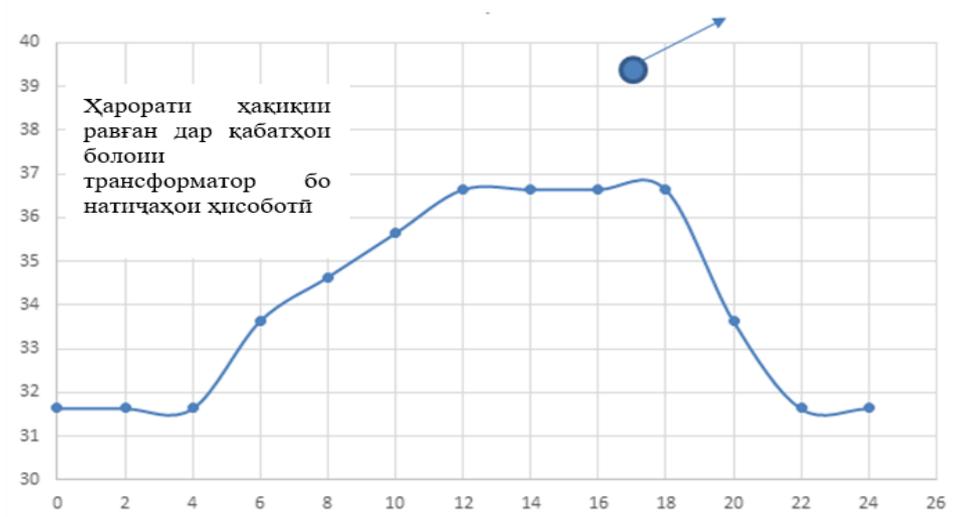
Бузургии гирифташуда – ин қобилияти борбардории эквивалентии трансформатор ҳангоми будани борҳои қач мебошад. Барои тасдиқи ин усул ҳисоби ҳарорати трансформатор дар барномаи комплекси ELCUT гузаронида шуд. Тартиби ҳисоб муфассалтар дар кори диссертатсионӣ оварда шудааст.



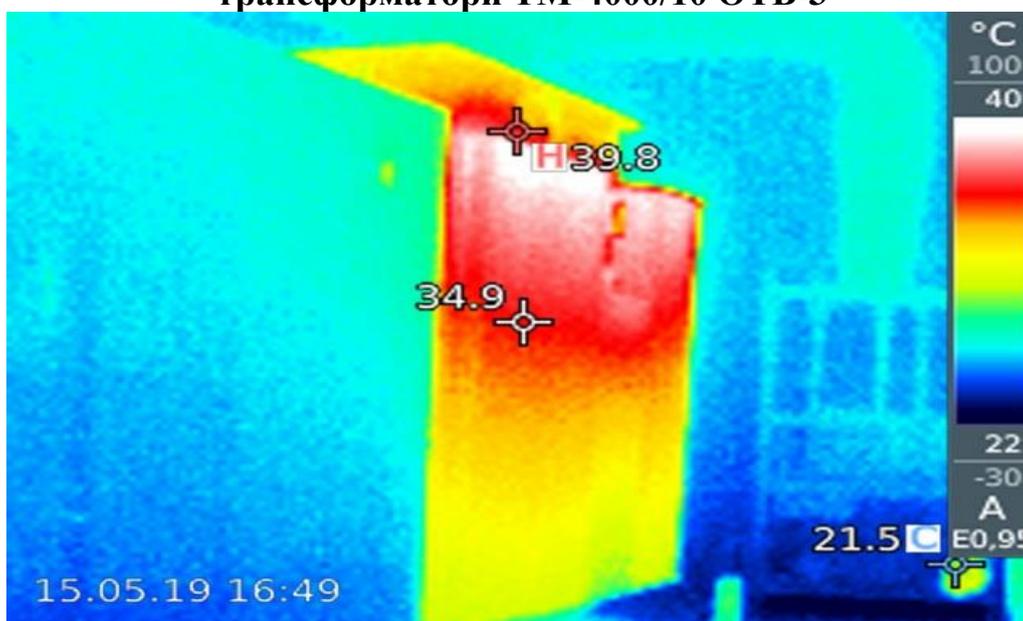
Расми 11 – Расми майдони ҳароратӣ дар трансформатор дар ҳолати бордоркунии номиналӣ бе баҳисобгирии камшавии қобилияти гузаронандагӣ (а) аз сабаби чараёнҳои гармоникҳои оӣ ва бо баҳисобгирӣпаштшавии зарифи серборӣ

Аз расми 11 дида мешавад, ки агар трансформаторро бе назардошти ҚГО бордор кунем, ҳарорати печакҳо аз қимати ҳозии ГОСТ зиёд мешавад ва фарқи ҳарорат байни речаи кори трансформатор бо ҚГО ва бе ҚГО $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ро ташкил медиҳад.

Ҳарорати трансформатори намуди ТМ-4000/10 ОТВ-3 (ЗТ-9, ТП-9, ки алоҳида дар шакли пӯшида насб шудааст).



Расми 12 - Графики муқоисавии ҳарорати равшан дар қабатҳои болоии трансформатори ТМ-4000/10 ОТВ-3



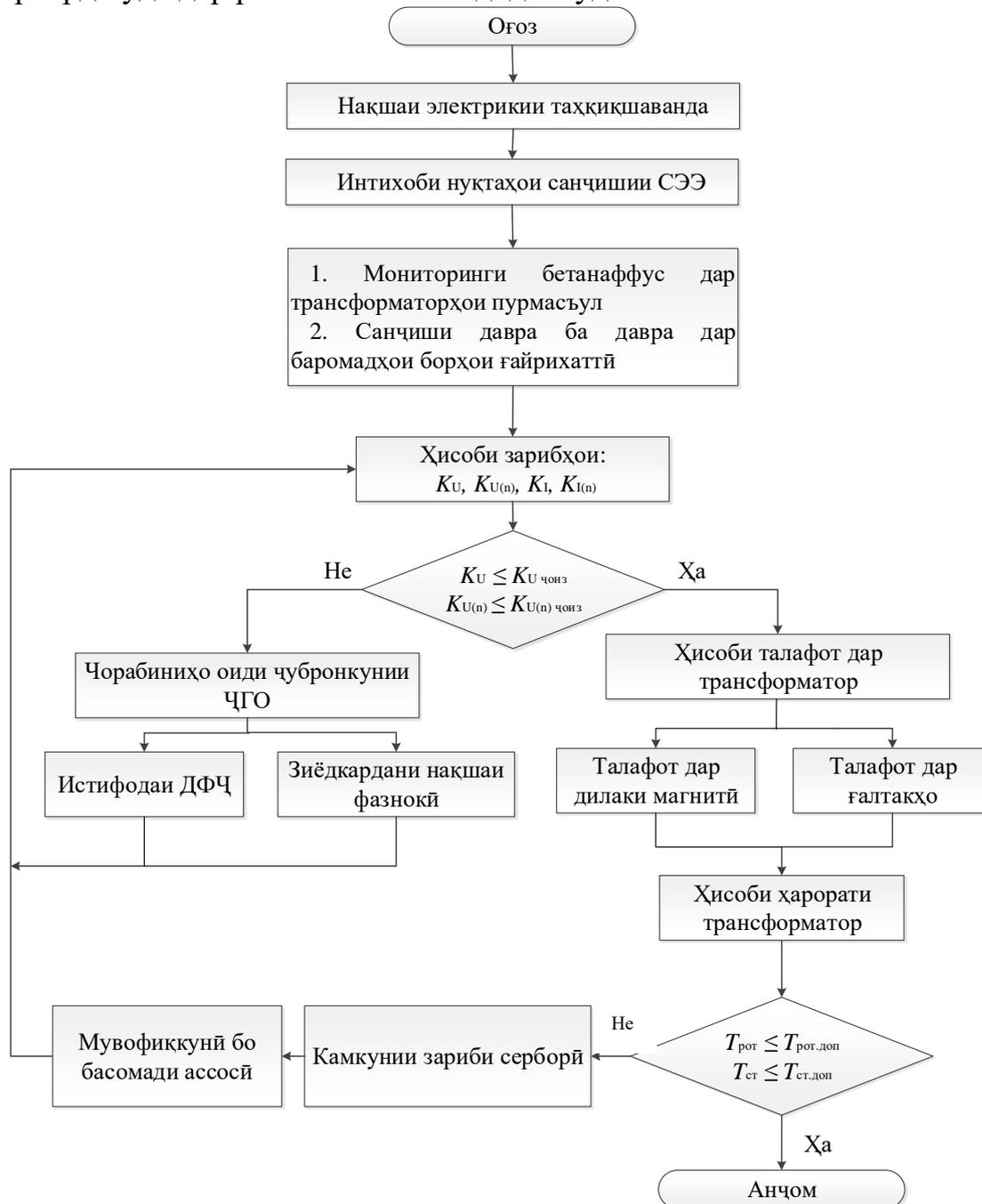
Расми 13 - Расми гармии трансформатори намуди ТМ - 4000/10 ОТВ-3 (ЗТ-9, ки алоҳида дар шакли пӯшида насб шудааст) бо натиҷаҳои санҷиши тепловизор

Барои баҳодихии саҳеҳии методикаи пешниҳодкардаи муалифи диссертатсия санҷиши тепловизионии таҷҳизотҳои барқии асосӣ гузаронида шуд. Натиҷаҳои санҷиш бо натиҷаи ҳисоби дастии речаи ҳароратии трансформатор муқоиса карда шуд. Натиҷаҳои муқоисакунӣ дар расми 11-13 оварда шудааст. Фарқияти ҳарорат байни ҳисобӣ ва таҷрибавӣ қариб бо 3 дараҷа фарқ мекунад, ки комилан мувофиқ будани усули пешниҳодшударо тасдиқ мекунад.

Барои таъмин намудани кори мӯътадили трансформаторҳо ва муҳарриқҳои ҚСК “ШАТ” пешниҳод шудааст, ки зарби сарбории трансформаторҳо кам карда шавад.

Аз тарафи дигар паст кардани зариви сарборӣ ба пастшавии самаранокии трансформаторҳо оварда мерасонад.

Барои ба ин мақсад расидан алгоритми пасткунии таъсири ҚГО ба речаи кории трансформаторҳои ҚСК “ШАТ”, ки онро қабулкунакҳои барқии бо тавсифи волтампери ғайрихаттӣ ҳосил мекунад, коркард карда шуд. Алгоритми коркардшуда дар расми 14 нишон дода шудааст.



Расми 14 - Алгоритми камкунии таъсири чараёнҳои гармоникҳои олӣ, ки қабулкунакҳои барқӣ бо тавсифи волт - амперии ғайрихаттӣ (ВАХ) дар речаи кории трансформаторҳо ҳосил мекунад

Хулоса оиди боби сеюм. Нуқтаи назаре барои мукаммал кардани усули ҳисоби таъсири ҚГО ба қобилияти гузаронидани трансформаторҳои қуввагии рағани шабакаҳои тақсимотӣ пешниҳод карда шуд. Санҷиши комилан

мувофик будани модели имитатсионии коркардшуда ва модели гармӣ гузаронида шуд. Барои кам кардани чараёнҳои ГО ДҚФ (ФКУ) интиҳоб карда шуд ва алгоритми камкунии таъсири чараёнҳои ГО ба речаи кори трансформаторҳои ҚСК “ШАТ” пешниҳод карда шуд.

Боби чорум “Коркардсистемаи идоракунии сифати энергияи электрики барои системаи барқтаъминкунии ҚСК «ШАТ» бо истифода бурдани системаи мониторинг”. Таҳлили воситаи ченкунии НСЭЭ барои иҷроиш дар системаи мониторинги СЭЭ гузаронида мешавад. Ҳангоми таҳлили ВЧ ба нишондодҳои техникӣ диққат дода шуд, азҷумла: усули насб (стационарӣ ё ин ки мобилӣ); усули пайваस्तшавӣ барои интиқоли маълумотҳо (ба воситаи модем ё ин ки пайвастшавии рақамии RS). Мувофиқи натиҷаи таҳлили ВЧ НСЭЭ асбобҳои стационарӣ 36%-ро ташкил медиҳад ва 65% аз шумораи умумии ВЧ-и дар истеҳсолот буда имконият доранд, ки ба системаи интиқоли автоматии маълумот пайваस्त шаванд. Дар боло нишондодҳои техниकीи ВЧ, ки дар ҳақиқат барои сохтани системаи мониторинги НСЭЭ лозиманд, дида баромада шуданд. Дар ҳолати имрӯза метавон гуфт, ки асбобҳои ҷойдошта аз ҷиҳати техникӣ талаботи меъморӣ системаи мониторинги НСЭЭ-ро қонеъ карда метавонанд.

Сипас ҷои насби ВЧ-ро барои санҷиши пайваस्ताи СЭЭ ва усули коркарди натиҷаҳои ченкунӣ муайян карда мешавад. Чорабинӣ оиди идоракунии СЭЭ дар сохтори ҚСК “ШАТ” пешниҳод карда мешавад. Ҳангоми интиҳоби ҷойи насби ВЧ НСЭЭ лозим меояд, ки миқдори ВЧ-ро маҳдуд созем. Истифодабарии дилхоҳ усулҳои муайянкунии нуқтаҳои санҷиши миқдори ВЧ бояд ба он оварда расонад, ки шумораи ВЧ нисбат ба миқдори гиреҳҳои шабакаи таҳқиқшаванда кам бошад:

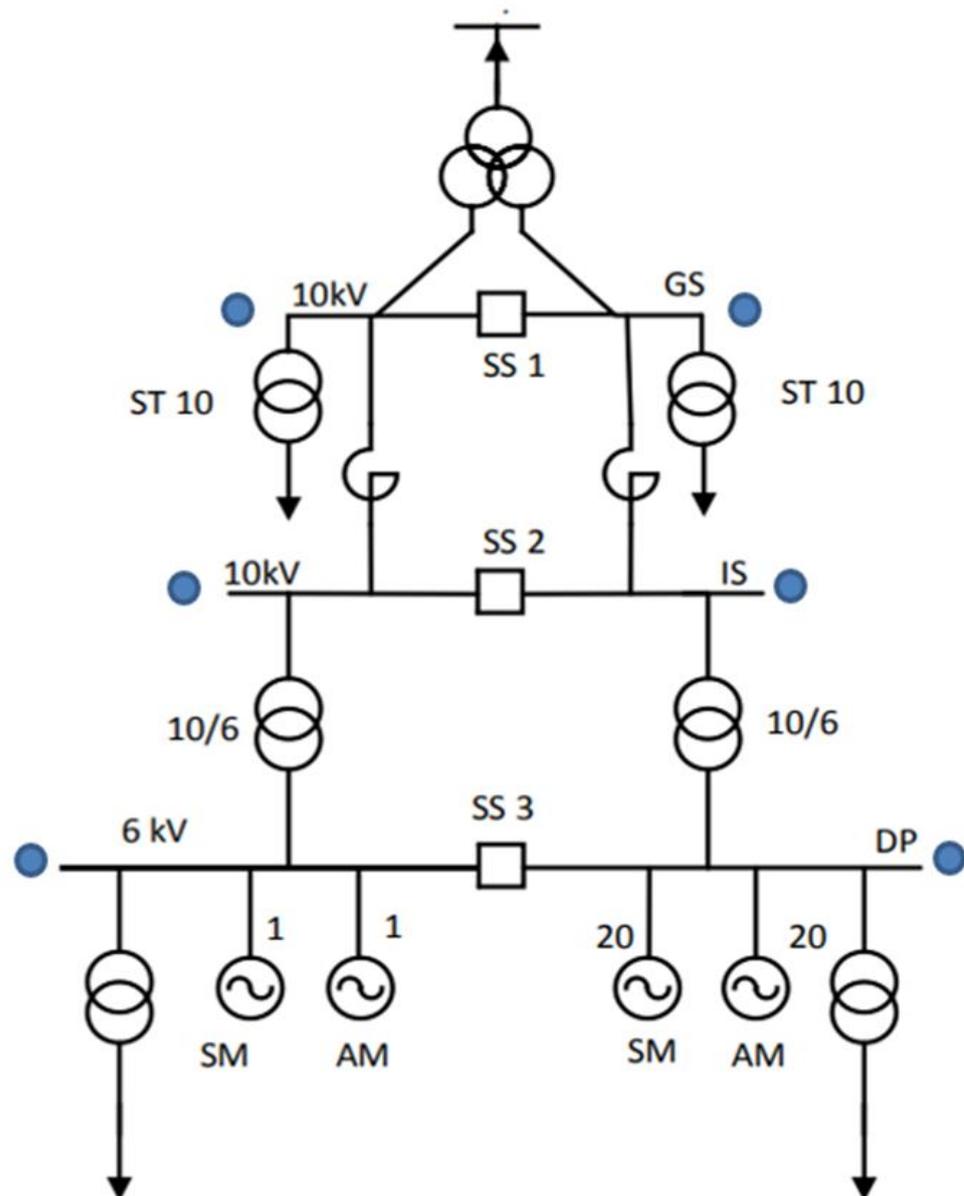
$$K_{усл} = \frac{N_{си}}{N_{усл}} \leq 1 \quad (7)$$

Дар ин ҷо: $K_{усл}$ – миқдори шартӣ гиреҳҳо; $N_{си}$ – миқдори воситаҳои ченкунӣ; $N_{усл}$ – миқдори умумии гиреҳҳо.

Маълумот оиди интиҳоби ҷой ва миқдори воситаҳои муосири стационарии ченкунии НСЭЭ дар нақшаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” дар ҷадвали 3 оварда мешавад.

Ҷадвали 3 - Ҷойи насби ВЧ НСЭЭ ҚСК “ШАТ” дар умум

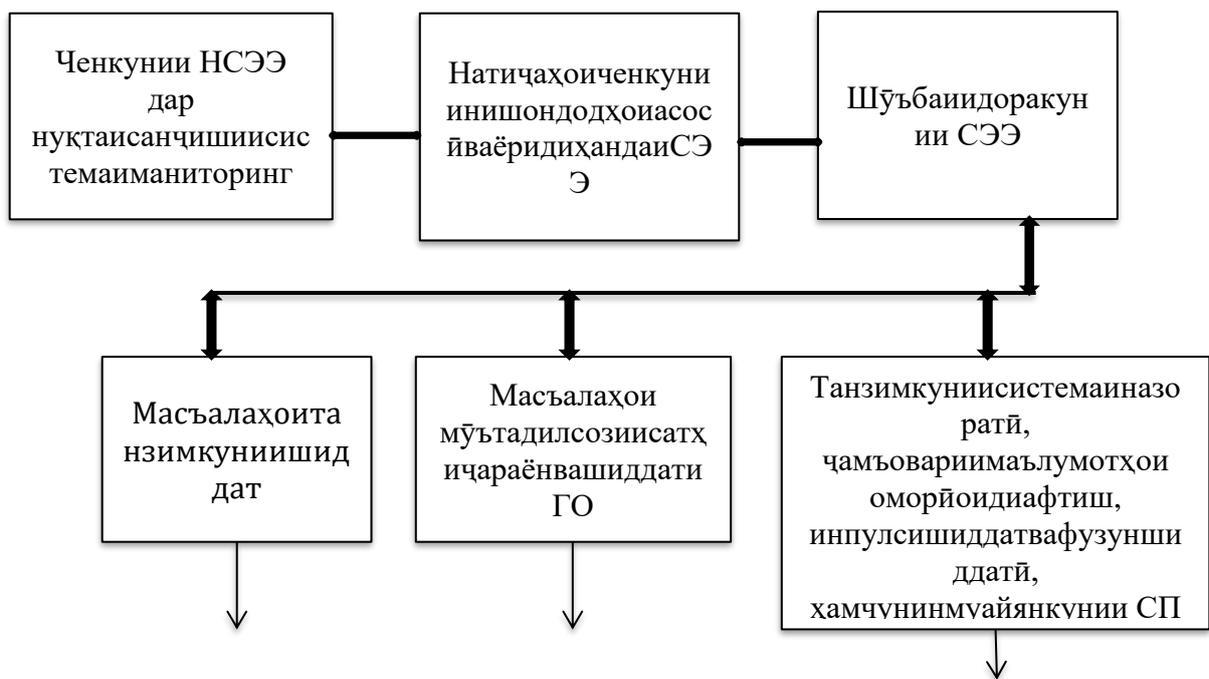
Номгӯи гиреҳҳо	Номгӯи асбоб	Миқдор, дона
Даромади ШБ 220кВ трансформатори ТА	Тест-электро	1x10=10
Даромади ШП 10кВ трансформатори ТА	Тест-электро	1x16=16
Тахтасими бахши ОТВ 10кВ	Тест-электро	6x2=12
Тахтасими бахшии НТ 6кВ	Тест-электро	17x2=34
Ҷамъ	Тест-электро	72



● - ҷойи насби ВЧ НСЭЭ

Расми 15. Нақшаи электрикии якхатаи рамзии соддакардашудаи якто ТА ҚСҚ “ШАТ” бо нишон додани ҷои насби воситаҳои ченкунӣ.

Ба сифати ҷорабиниҳои техникӣ барои таъмини сифати энергияи электрикӣ меъмури системаи мониторинги НСЭЭ дар базаи воситаҳои ченкунии ТЕСТ-Электро коркард карда шудааст. Меъмурии мониторинг аз ин объектҳо иборат мебошад: воситаҳои статсионари ченкунии НСЭЭ; тафтишкунанда (контроллер); воситаҳои шабакаи ноқилӣ ё беноқилӣ, сервер барои нигоҳдории натиҷаҳои ченкунӣ; таъминоти барномавӣ барои коркард ва нишон додани натиҷаҳои ченкунии НСЭЭ. Ба сифати ҷорабиниҳои ташкилии идоракунии СЭЭ сохтори шӯъбаи идоракунии СЭЭ дар ҳайати ҚСҚ “ШАТ” коркард карда шуд, ки чунин масъалаҳои идоракунии сифати энергияи электрӣ ҳал мекунад (расми 16).



Расми 16 - Функсияҳои асосии шӯъбаи идоракунии ҶСК “ШАТ”

Хулосаҳои оиди боби чорум

Таҳлили имкониятҳои техникӣ ВЧ НСЭЭ мавҷудбуда барои сохтани системаи мониторинги СЭЭ ба роҳ монда шуд. Роҳи интиҳоби нуктаи санчиши СЭЭ–и системаи мониторинг дар мисоли шабакаҳои гирифташудаи Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон дода шудааст. Нуктаи назар барои интиҳоби ҷойи гузоштани ВЧ барои системаи мониторинги СЭЭ дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” пешниҳод карда шуд. Системаи идоракунии СЭЭ дар мисоли системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ”, ки дар он хизматрасонии идоракунии СЭЭ дохил мешавад, таъмини НСЭЭ дар корхонаи мазкурро ба ӯҳда дорад.

Хулоса

1. Таҳлили ҳуҷҷатӣ ва инструменталии ҳолати СЭЭ дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” гузаронида шуд. Таҳлили ҳуҷҷатӣ дар худ таҳлили параметрҳои системаи барқтаъминкунии ва речаи истеъмоли барқи ҶСК “ШАТ”-ро дар бар мегирад. Баҳодиҳии инструменталӣ, ки НСЭЭ дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” талаб мекунад, бо ёрии воситаҳои муосири ченкунии НСЭЭ ба роҳ монда мешавад [1-М, 2-М, 4-М, 13-М, 14-М].
2. Сабабҳои вобаста ба пастшавии СЭЭ дар системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” муайян карда шуд. Сабабҳои асосии пастшавии СЭЭ аз рӯи қачшавии ҳолати синусоидалии шиддати қач дар системаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” ин ваннаҳои электролизӣ ба ҳисоб мераванд, ки онҳо қабулкунакҳои бо тавсифи вольт-амперии ғайрихаттӣ мебошанд ва ҶГО-ро ба вучуд меоранд [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 5-М, 9-М, 12-М, 14-М, 16-М].
3. Барои сохтани манзараи пурраи паҳншавии ҶГО дар нақшаи барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” модели математикӣ дар барномаи комплекси B2Spice коркард карда шуд [1-М, 2-М].

4. Усули пастшавии қобилияти гузаронандагии трансформаторҳои 10/0,4кВ бо бори ғайрихаттӣ, ки бо роҳи кам кардани зарби сербории трансформаторҳо бо баҳисобгирии қимати тавоноии бори ғайрихаттӣ иҷро карда мешавад, пешниҳод карда шуд [2-М,5-М, 6-М].
5. Баҳодиҳии речаи кории ҳароратии трансформаторҳои ҚСК “ШАТ” бо ченкунии тепловизионӣ, ҳисобкунӣ ва моделиронӣ дар барномаи комплекси ELCUT иҷро карда шудааст [2-М, 4-М, 12-М].
6. Алгоритми пасткунии таъсири ҚГО ба речаикоритрансформаторҳо коркард карда шуд [1-М, 2-М, 4-М, 12-М].
7. Параметрҳои ДҚФ барои патскунии ҚГО ҳисоб карда шуд [1-М,4-М].
8. Системаи идоракунии СЭЭ дар системаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” дар базаи мониторинги СЭЭ, ки бо нақшаи ташкилии идоракунии ҳамбастагӣ дорад, коркард карда шуд [4-М, 13-М, 15-М].

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ

Мақолаҳое, ки дар нашрияҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Чопшудаанд.

- [1-М]. Абдулкеримов, С.А. Экспериментальное исследование, анализ и оценка показателей качества электроэнергии в электрической сети 0,4кВ образовательного учреждения [Текст] / С.А. Абдулкеримов, Х.Б.Назирова, А.С. Амирханов, М.М.Камолов, З.С.Ганиев, // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №3 (43) – 2018, С.16-19
- [2-М]. Амирханов, А.С. Оценка результатов моделирования распределение высших гармоник тока в системе электроснабжения алюминиевого завода [Текст] / А.С. Амирханов, М.М.Камолов, Х.Б.Назирова, С.Т.Исмоилов, Ш.Дж. Джураев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №2 (46) – 2019, С.14-20.
- [3-М]. Камолов, М.М. Экспериментальная оценка качества электрической энергии современных коммунально-бытовых и офисных [Текст] / М.М.Камолов, Х.Б.Назирова, С.Т. Исмоилов, Ш.Дж. Джураев, А.С. Амирханов // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №2 (46) – 2019, С.26-33.
- [4-М]. Амирханов, А.С. Коркарди чорабиниҳои ташкилии идоракунии сифати энергияи электрикӣ дар системаи барқтаъминкунии ҚСК “ШАТ” [Текст] / Амирханов, А.С. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №4 (52) – 2020, С. 10-16.

Мақолаҳое, ки дар маҷалла ва нашрияҳои тақризии дар базаи илмии муайяннамудаи SCOPUS, нашр гардидаанд:

- [5-М]. Nazirov Kh.B. Measurement of Emissions of High Harmonic Currents in Modern Electrical Receivers in Municipal-Households Power Supply System // Kh.B. Nazirov, A.S.Amirkhanov, G. Zokirjon, Sh.D. Dzhusraev, S.T. Ismoilov, R. A. Rahimov / IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical

and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section. – January 27-30, 2020. – Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia: 2020. Section 7. – P. 1270-1275.

[6-M]. Nazirov Kh. B. Simulation of the Municipal-Household Electrical Supply System for Calculation and Forecasting the Level Current and Voltage Higher Harmonics // Kh. B. Nazirov, **A. S. Amirkhanov**, S. G. Zokirjon, Sh. D. Dzhuraev, S. T. Ismoilov, R. A. Rahimov / IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section. – January 27-30, 2020. – Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia: 2020. Section 7. – P. 1276 – 1281.

Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳо нашуршуда:

[7-M]. Камолов, М.М. Оценка электромагнитной совместимости современных бытовых электроприёмников по качеству электроэнергии [Текст] / М.М. Камолов, Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, С.Т. Исмоилов, // Двадцать четвертая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА». Москва, 15-16 марта 2018 г. Ст. 1018

[8-M]. Назиров, Х.Б. Анализ результатов измерения показателей качества электроэнергии в электрической сети напряжением 0.4кВ образовательного учреждения [Текст] / Х.Б. Назиров, М.М. Камолов, **А.С. Амирханов**, И.И. Толибзода, А.Д. Қараев // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «НАУКА-ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» Душанбе-2018. 26-27 апреля 2018, ТТУ имени академика М.С. Осими. С. 75-78

[9-M]. Оценка качества электроэнергии по медленному изменению напряжения с использованием аппарата математической статистики [Текст] / Х.Б. Назиров, М.М. Камолов, **А.С. Амирханов**, А.Д. Қараев, И.И. Толибов // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «НАУКА-ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» Душанбе-2018. 26-27 апреля 2018, ТТУ имени академика М.С. Осими. С. 79-82

[10-M]. Абдулкеримов С.А. Результаты измерения показателей качества электроэнергии электрических сетей напряжением 220-10-0.4кВ Зеравшанской долины [Текст] / С.А. Абдулкеримов, Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, С.Т. Исмоилов, М.М. Камолов // Материалы 1-ой международной научно-практической конференции «ВНЕДРЕНИЕ ИНОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН», г. Душанбе, 17 сентября 2018г, С. 102-108.

[11-M]. Назиров Х.Б. Анализ современных электроприёмников с точки зрения влияния на показатели качества электроэнергии [Текст] / Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, З.С. Ганиев, Исмоилов С.Т. Камолов М.М. // Материалы Международной научно –практической конференции:

Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона. Душанбе, 21 декабря, 2018. Часть I. Ст.194-199

- [12-М]. Назиров Х.Б. Нагрузки Таджикистана в зависимости от регулирования напряжения [Текст] / Назиров Х.Б., Ф.О. Исмоилов, С.Т.Исмоилов, М.М.Вохидов, **А.С. Амирханов**// Независимость – основа развития энергетики страны Материалы Международной научно-практической конференции Посвященный к празднованию Дня Энергетика. Бохтар 2017: стр 446-453
- [13-М]. **Амирханова А.С.** Алгоритми раванди тадқиқоти нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар ҶСК “ШАТ” [Текст] / **Амирханов, А.С.** // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр.84-92.
- [14-М]. **Амирханова А.С.** Баҳодиҳии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар корхонаи металлургияи рангаи ҶСК “ШАТ” [Текст] / **Амирханов, А.С.** // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр.92-96.
- [15-М]. Назиров Х.Б. Тавсифи умумии системаҳои барқтаъминкунии ҶСК “ШАТ” аз нуқтаи назари таъминоти сифати энергияи электрикӣ [Текст] / Назиров Х.Б., **Амирханова А.С.**, Раҳимов Х.А., Ёрмаҳмадзода О.Ё., Ҷабборов М.К.// Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр. 39-43.
- [16-М]. Назиров Х.Б. Таҳлили зарифҳои тавсифкунандаи ғайрисинусоидали дар ҶСК “ШАТ” [Текст] / Назиров Х.Б., **Амирханова А.С.**, Файзулоев Р.Ҷ., Ёрмаҳмадзода О.Ё., Раупов Н.М., Абдусаторзода А.А.// Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр. 43-48.
- [17-М]. Назиров Х.Б. Баҳодиҳии талафитавононии фаъол ва сифати энергияи электрикӣ дар шабакаҳои тақсимоти 0,4 кв дорои нерӯгоҳҳои офтобии тақсимшуда [Текст] / Назиров Х.Б., Ҷӯраев Ш.Ҷ., Ҷабборов М.К., **Амирханова А.С.**// Паёми Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон (Маҷаллаи илмӣ) Силсилаи тадқиқотҳои муҳандисӣ, инноватсионӣ ва сармоягузорӣ №1 (1) соли 2022 Кушониён сах. 27-38
- [18-М]. **Амирханов А.С.** Баҳодиҳии речаи гармии кори трансформаторҳои ҶСК “ШАТ” дар шароитҳои ҳақиқӣ [Текст] / **Амирханов А.С.** // Паёми Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон (Маҷаллаи илмӣ) Силсилаи тадқиқотҳои муҳандисӣ, инноватсионӣ ва сармоягузорӣ №2 (2) соли 2022 Кушониён сах. 61-68

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

**Таджикский технический университет
имени академика М.С. Осими**

УДК-621.3:669.711

На правах рукописи



АМИРХАНОВ Алишер Сайвалиевич

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ТАЛКО»)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.14.02 – «Электрические станции и
электроэнергетические системы»

Душанбе – 2022

Работа выполнена на кафедре «Теоретические основы радио- и электротехники (ТОР и Э) Таджикского технического университета имени акад. М.С. Осими.

Научный руководитель:

Назиров Хуршед Бобоходжаевич
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Электроэнергетика» Душанбинского
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Официальные оппоненты:

Грачева Елена Ивановна
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электроснабжение
промышленных предприятий» ФГБОУ
ВО «Казанский государственный
энергетический университет»

Рахматулов Ашурали Зокирович
кандидат технических наук, начальник
отдела «Распределение и потери
электроэнергии» филиала ОАО
«Шабакаҳои таксимоти барқ» в г. Бохтар.

Ведущая Организация

**Горно-металлургический институт
Таджикистана.**

Повторная защита диссертация состоится «7» апреля 2023 года в 14⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета 6D.КOA-049 Таджикского технического университете имени академика М.С. Осими, по адресу 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на его официальном сайте www.ttu.tj

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять в: Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10 на имя ученого секретаря диссертационного совета 6D. КOA - 049. E-mail: ttu@ttu.tj

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 6D.КOA-049,
кандидат технических наук, доцент

Султонзода Ш.М.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- КЭ - качества электроэнергии.
ВГТ - высших гармоник тока
ВГ - высших гармоник
ОАО - открытое акционерное общество
ТАЛКО – таджикская алюминиевая компания
СИ ПКЭ - средств измерения показателей качества электроэнергии
РТ – Республика Таджикистан
CIRED – International Conference on Electricity Distribution
CIGRE – International Council on Large Electric Systems
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
ВНИИЭ – Всесоюзный научно-исследовательский институт электроэнергетики
ВРУ – Вводно-распределительное устройство
ВАХ - электроприемники с нелинейной
ГЭС – Гидроэлектростанции
ГОСТ – Межгосударственный стандарт
РП – Распределительный пункт
ГТ – Главный трансформатор
НН – низкое напряжения
ТМ – Трансформатор с естественной системой охлаждения маслом и воздуха
ДАЗО – двигатель асинхронный закрытого исполнения обуваемый
ЭП – электроприёмник
ФКУ – Фильтро-компенсирующая установка

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность задачи исследования. Электроэнергия как товар, который производится в промышленных предприятиях, называемых «электрические станции», преобразуется в подстанции, транспортируется по линиям электропередачи и должен обладать соответствующим показателем качества электроэнергии (КЭ). Для обеспечения потребителей качественной электроэнергией в современных электрических сетях необходима разработка системы управления КЭ. Практика показывает, что при отсутствии налаженной системы управления КЭ в любых электрических сетях наблюдаются проблемы с обеспечением потребителей качественной электроэнергией. Разработка системы управления КЭ гарантирует её обеспечение в узлах системы электроснабжения в соответствии требованиями ГОСТ 32144-2013. Как правило, в электрических сетях различного назначения, при отклонении ПКЭ от нормы, ухудшается электромагнитная обстановка, нарушая нормальный режим работы электрооборудования и электроприёмников. Для обеспечения качества электроэнергии на всех уровнях управления энергохозяйств ежегодно расходуются большие средства.

Проведенные экспериментальные исследования показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в 2011, 2015, 2016 и 2018 гг. показали, что основным источником электрических помех по генерации высших гармоник тока ВГ является технология производства алюминия, точнее электролизных ванн, которые работают на постоянном токе. Постоянный ток получается за счёт мощных выпрямительных преобразователей. По результату анализа системы электроснабжения завода для снижения уровня токов ВГ предпринимаемые меры недостаточны.

Генерируемые ВГ тока, распространяясь по элементам электрической сети, создают дополнительные потери, нагревая токоведущие части, и создают условия для ускорения процессов старения изоляции.

Необходимость исследования проблемы обеспечения КЭ обосновывается результатами произведённых измерений в необходимых узлах схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» с помощью специализированных средства измерения показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ).

Несмотря на усилия энергоснабжающих организаций, обеспечение качеством электроэнергии в электрических сетях, проблема её улучшения в электроэнергетической системе РТ остается нерешенной. Опыт эксплуатации электрических сетей государств с развитой экономикой показывает, что для обеспечения качества электроэнергии необходима разработка технических и организационных мер.

Степень разработанности темы. По вопросам исследования и разработки методов и способов обеспечения качеством электрической энергии большой вклад внесли ученые дальнего зарубежья как Брэдли Д., Арриллага Дж., Фукс Э., Дрехслер Р., Масум М. и др.

В государствах постсоветского пространства над проблемой улучшения показателей качества электроэнергии работали Солдаткина Л.А., Курбатский В.

Г., Зыкин Ф. А., Железко Ю. С., Коверникова Л. И., Кузнецов В. Г., Маркушевич Н.С., Сальников В. Г., Кучумов Л. А., Розанов Ю. К., Жежеленко И. В., Смирнов С. С., Майер В. Я., Шидловский А. К., Карташев И. И., Тульский В.Н. и др.

Проблемы обеспечения КЭ и разработка системы управления обсуждались на международных конференциях CIREC, CIGRE, IEEE и конференциях регионального масштаба, проведённых на базе авторитетных научно - исследовательских институтов ВНИИЭ, НТЦ ФСК и вузов НИУ МЭИ, НГТУ, ЛЭТИ и др. В обработанных материалах по проблемам разработки систематических способов обеспечения КЭ на алюминиевых заводах не уделено нужного внимания.

Проблемы исследования и обеспечения качества электроэнергии непосредственно в энергосистеме РТ рассмотрены в работах Назирова Х.Б., Джураева Ш.Дж. и Иноятова Б.Дж.

Проблемы снижения эмиссии токов ВГ Братского алюминиевого завода на режим работы электрооборудования Братской ГЭС рассмотрены в работах научно-исследовательской лаборатории управления качеством электроэнергии Московского энергетического института.

В работах вышеперечисленных авторов рассматриваются проблемы воздействия токов ВГ, генерируемой ОАО «ТАЛКО», на режим работы элементов энергосистемы.

Воздействие токов ВГ на режим работы вспомогательных электроприёмников и на внутренние схемы электроснабжения завода должным образом не рассмотрено. Основной задачей данного исследования являются оценка распространения токов ВГ внутренней схемы электроснабжения завода и определение проблем, связанных с ухудшением ПКЭ и решение данных проблем с помощью разработанной системы управления КЭ в структуре управления энергохозяйства предприятия.

Цель работы: Разработка системы управления КЭ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для обеспечения нормальной работы электрооборудования и вспомогательных электроприёмников предприятия.

В диссертации решаются следующие задачи:

1. Измерение ПКЭ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» и определения проблем, связанных с ухудшением КЭ.

2. Путём статистической обработки результатов измерения произвести анализ показателей качества электроэнергии по отклонению напряжения и коэффициентов, характеризующий несинусоидальность напряжения в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО».

3. Исследование распространения ВГ тока по схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» и оценка влияния токов ВГ на режим работы элементов и электроприёмников системы электроснабжения:

а) разработка математической модели системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для исследования ВГ тока;

б) разработка тепловой модели цеховых трансформаторов, ВРУ для оценки влияния ВГ тока как дополнительный нагрев на общую температуру трансформатора.

4. Разработка методики определения допустимой загрузки трансформаторов 6-10/0,4кВ при наличии высших гармоник тока в его обмотках.

5. Разработка способов снижения ВГ тока в схемах электроснабжения ОАО «ТАЛКО».

6. Разработка системы мониторинга КЭ на примере системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО».

7. Разработка модели организационно-технического управления ОАО «ТАЛКО» для создания отдела управления КЭ.

Объектом исследования является схема электроснабжения ОАО «ТАЛКО», содержащая электроприёмники с нелинейной ВАХ.

Предмет исследования заключается в анализе распространения ВГТ в системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» и их воздействие на режим работы вспомогательных электроприёмников.

Достоверность полученных результатов базируется на законах теоретических основ электротехники, математической статистики и электроэнергетики. Точность разработанных моделей получена сопоставлением результатов моделирования и реальных экспериментальных измерений ПКЭ.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Впервые на базе программного комплекса *B2SPICETRIAL* разработана и верифицирована расчетная математическая модель схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для расчета уровня ВГТ в разных точках контроля.

2. Впервые разработана методика оценки влияния ВГТ на реальную загруженность трансформаторов ОАО «ТАЛКО», позволяющая определить допустимую загрузку.

3. Разработана система управления ПКЭ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для нормализации уровня помех, генерируемых ЭП с нелинейной ВАХ, на режим работы вспомогательных потребителей.

4. Впервые на схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» разработана система мониторинга ПКЭ.

Практическое значение диссертации. Практическая значимость диссертации заключается в обеспечении качества электроэнергии в системах электроснабжения ОАО «ТАЛКО» путем разработки комплекса организационных, технических и методических мероприятий, которые будут служить для нормализации уровня генерируемых высших гармоник тока и напряжения путем обеспечения нормативных требований КЭ для электроприёмников.

Методы и средства исследования. Проведенные исследования базируются на основах теории электрических цепей, математической статистике и математическом моделировании схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для оценки токов ВГ в программном комплексе B2Spice и математического

моделирования тепловых процессов в трансформаторах с помощью программного комплекса ELCUT.

Соответствие паспорту специальности. Выполненная диссертационная работа соответствует формуле научной специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы» по следующим областям:

- п.2 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике» относится к разработанной модели системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для оценки распространения токов ВГ и разработка модели тепловых процессов в трансформаторах на основе программного комплекса ELCUT.
- п.6 «Разработка методов контроля и анализа качества электроэнергии и способы его обеспечения» относится к разработанной системе управления качеством электроэнергии ОАО «ТАЛКО» с использованием мониторинга КЭ.
- п.12 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике» относится к разработке имитационной модели схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» с использованием программного комплекса B2Spice.

Апробация результатов работы. Результаты работы по диссертации обсуждены на нижеследующих конференциях:

- на 7-ой международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов «ОПЫТ ПРОШЛОГО - ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ, Тула, 2-3 ноября 2017 г;
- на XXIV-ой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», Москва 15-16 марта 2018 г;
- на международной научно-практической конференции, посвященной празднованию Дня энергетика, Бохтар 17 декабря, 2017 г;
- Материалы III-ой научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «НАУКА - ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» (Душанбе ТТУ им. академика М.С. Осими 26-27 апреля 2018 года);
- На 1-ой международной научно-практической конференции «ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН» посвящённой 5-летию юбилею ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Душанбе и приуроченной к 27-летию независимости Республики Таджикистан (г. Душанбе, 17 сентября 2018г.);
- на международной научно-практической конференции «Электроэнергетика: проблемы и перспективы развития энергетики региона» (г. Душанбе, ТТУ им. академика М.С. Осими 21 декабря 2018 г.);

- на международной научно-практической конференции «Водноэнергетические ресурсы - основа реализации международного десятилетия действия «Вода для устойчивого развития» 2018-2028 годы», (г. Душанбе, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Душанбе, 12 апреля 2019 года);
- на международной научно-практической конференции IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section (Санкт-Петербург, 27 января – 01 февраля 2020).

Публикации. Результаты диссертационного исследования представлены в 18 научных работах, из них 4 статьи опубликованы в следующих изданиях, входящих в перечень ВАК (журнал «Политехнический вестник» (4)), 12 работ в сборниках докладов и тезисов в трудах международных конференций и 2 статьи – в материалах конференции, включенных в базу данных *IEEE* и *SCOPUS*.

Личный вклад автора заключается в проведении экспериментов по измерению показателей качества электроэнергии в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» (90 %) и тепловизионный контроль трансформаторов и электроприёмников ОАО «ТАЛКО» (95 %); разработанной математической модели системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для оценки распространения ВГ тока (80 %); разработанный алгоритм снижения влияния ВГТ для обеспечения нормальной работы трансформаторов (85 %), разработанной системы управления качеством электрической энергии в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» на базе мониторинга ПКЭ (75 %).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, 89 наименований библиографического списка и 3 приложений. Текст диссертации изложен на 163 страницах. Основной текст диссертации состоит из 140 стр., 45 рисунков и 18 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследования, обоснованные обзором литературы. Представлена научная новизна работы и предложены решения поставленных задач по данной работе.

В первой главе «Оценка показателей качества электроэнергии на предприятиях цветной металлургии ОАО «ТАЛКО»» диссертации произведен краткий обзор существующих проблем системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» с точки зрения обеспечения качеством электрической энергии. Произведён документальный анализ электромагнитной совместимости основных и вспомогательных электроприёмников технологического процесса системы электроснабжения рассматриваемого предприятия по ухудшению качества электроэнергии. Согласно результатам анализа технологического процесса работы цехов и корпусов ОАО «ТАЛКО», получено процентное соотношение потребляемой и установленной мощности основных и вспомогательных электроприёмников. Результаты анализа приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из графиков структуры электропотребления, основным потребителем ОАО «ТАЛКО» является электролизный цех, на долю которого приходится почти 90% электропотребления. Остальные цеха потребляют всего 10% от общей мощности. Согласно обзору литературы именно, электролизные ванны являются основными источниками помех токов ВГ, которые негативно влияют на режим работы остальных электроприёмников предприятия и элементов системы электроснабжения завода.

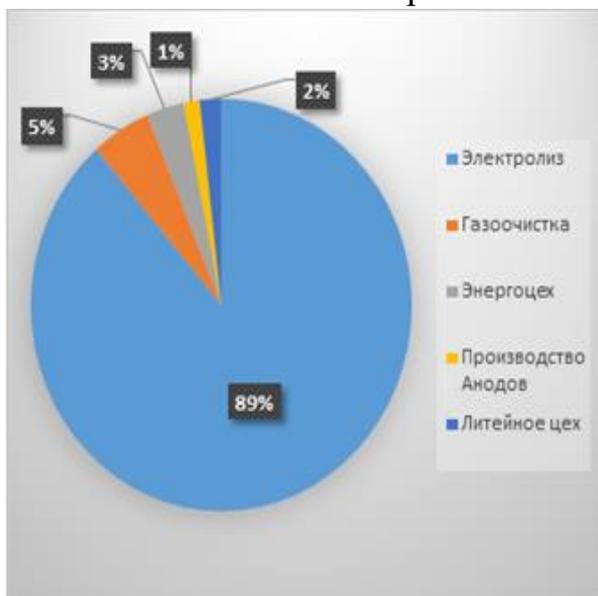


Рис. 1 - Соотношение установленной мощности цехов ОАО «ТАК»

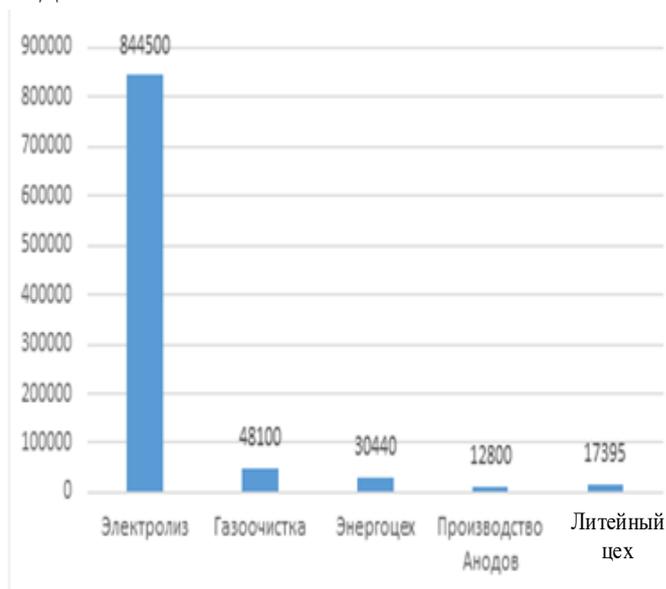


Рис. 2 - Потребляемая мощность цехов ОАО «ТАК» в тыс.квт*час

Для оценки показателей качества электрической энергии в электрических сетях ОАО «ТАЛКО», учитывая рекомендации нормативных документов, разработан алгоритм процесса исследования показателей КЭ в рассматриваемом объекте, который представлен на рис.3.

В качестве исходных данных собирается следующая информация: параметры схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО»; параметры режимов; информация о режимах работы вентиляльных преобразователей; информация об электроприёмниках ОАО «ТАЛКО»; информация о диспетчерских переключениях в момент измерения.

Полученные результаты анализируются и, в соответствии с нормативными документами ГОСТ 32145-2013, определяются места установки анализаторов ПКЭ. Устанавливаются в указанных точках средства измерения, и согласно ГОСТ выбирается время измерения (одна неделя). Средства измерения ПКЭ осуществляют алгоритм измерения, заложенный в СИ ПКЭ в соответствии с ГОСТ 32144-2013.

Результаты измерения сохраняются в памяти средства измерения и обрабатываются методом математической статистики.

Результаты статистической обработки сравниваются с требованием ГОСТ 32144-2013. Если соответствуют, то алгоритм измерения подходит к концу. Если

результаты не соответствуют требованиям, то устанавливаются причины ухудшения ПКЭ.

Измеренные ПКЭ: отклонение частоты Δf , медленное изменение напряжения δU_y , коэффициенты: K_{2U} – обратной и K_{0U} – нулевой последовательности напряжения, коэффициенты K_U и $K_{U(n)}$ которые описывают несинусоидальность формы кривого напряжения. Параллельно с перечисленными показателями также измерялись другие параметры электроэнергии, характеризующие ток и мощность. Длительность замера в каждом узлах согласно нормативному документам продолжалось более недели.

Результаты измерения ПКЭ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» занесены в таблице 1.

Таблица 1- Результаты замеров ПКЭ в ОАО «ТАЛКО»

Номинальное напряжение, кВ	Показатели качества электрической энергии					
	Δf	δU_y	K_{2U}	K_{0U}	K_U	$K_{U(n)}$
10 кВ	+	+	+	+	-	-
6 кВ	+	+	+	+	-	-

+/- - Соответствует и не соответствует нормам ГОСТ-32144-2013.

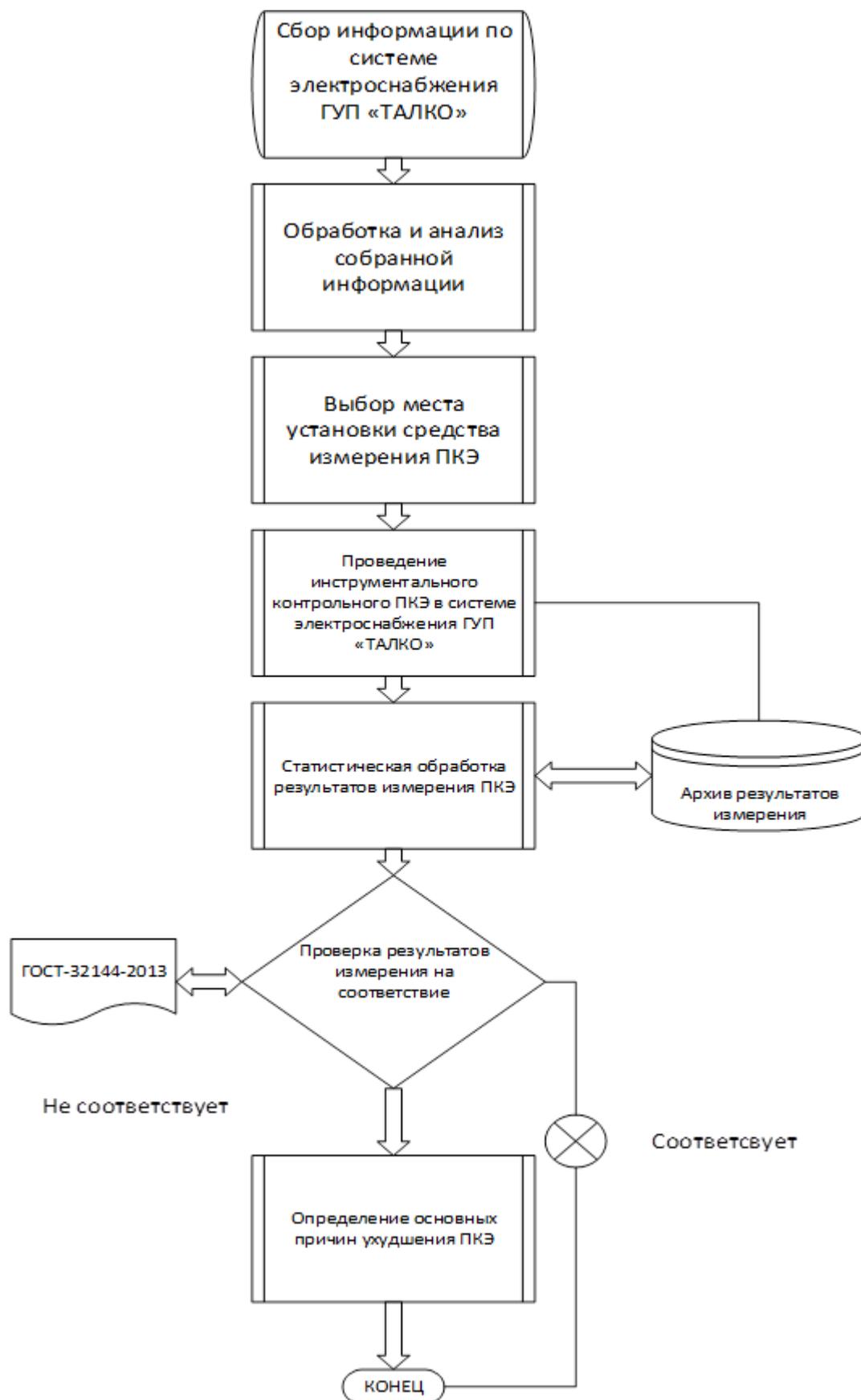


Рис. 3 - Алгоритм анализа ПКЭ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО»

Выводы по первой главе. Проведение инструментального измерения КЭ подтверждает низкий уровень некоторых показателей качества электроэнергии.

В процессе измерения предприятие работало с 30%-ной загрузкой от номинальной мощности. Суммарный коэффициент искажения синусоидальности по напряжению находится в допустимых пределах, однако коэффициент искажения синусоидальности по току не нормируется, что влияет на режим работы элементов и приёмников системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО». Результаты измерений показывают, что целесообразна разработка ряда мероприятий для обеспечения КЭ.

Во второй главе «Моделирование системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» для анализа распределения гармонических составляющих тока» применены методы вычисления отличающихся от синусоидальных режимов и требования к ним. Моделирование процесса расчёта и распространения токов высших гармоник осуществляется согласно соответствующему алгоритму. Для полноценной оценки распространения ВГТ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» разрабатывается модель, которая содержит нижеследующие этапы: моделирование схемы; моделирование электрооборудования сети и нагрузки; обоснование размеров расчетной схемы сети; эквивалентирование элементов схемы; уточнение точности расчетной схемы; учет многообразия режимов.

Схема электроснабжения ОАО «ТАЛКО» имеет много элементов. Для упрощения задачи моделирования выбирается часть внутренней схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» (ВРУ-1, и 1РП от ГТ-1) для проведения исследований режимов высших гармоник в рассматриваемой схеме. Остальные части схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» однотипные и аналогичны рассматриваемому участку (ВРУ-1, и 1РП от ГТ-1).

В качестве нагрузок для ВГТ выступают вспомогательные электроприёмники и элементы схемы электроснабжения ОАО «ТАЛКО».

Для моделирования системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» как расчётный аппарат используется программный комплекс *B2Spice* и для обработки результатов моделирования используется *Microsoft Excel*.

Моделируются следующие основные элементы системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО»: воздушная линия электропередачи 220 кВ длиной 4,35 км, марки АС-240/32; трансформаторы с расщеплённой обмоткой 220/10 кВ мощностью 3х66,6 МВА; трансформаторы выпрямительной установки; вентильные диоды; двигатели асинхронные 6кВ.

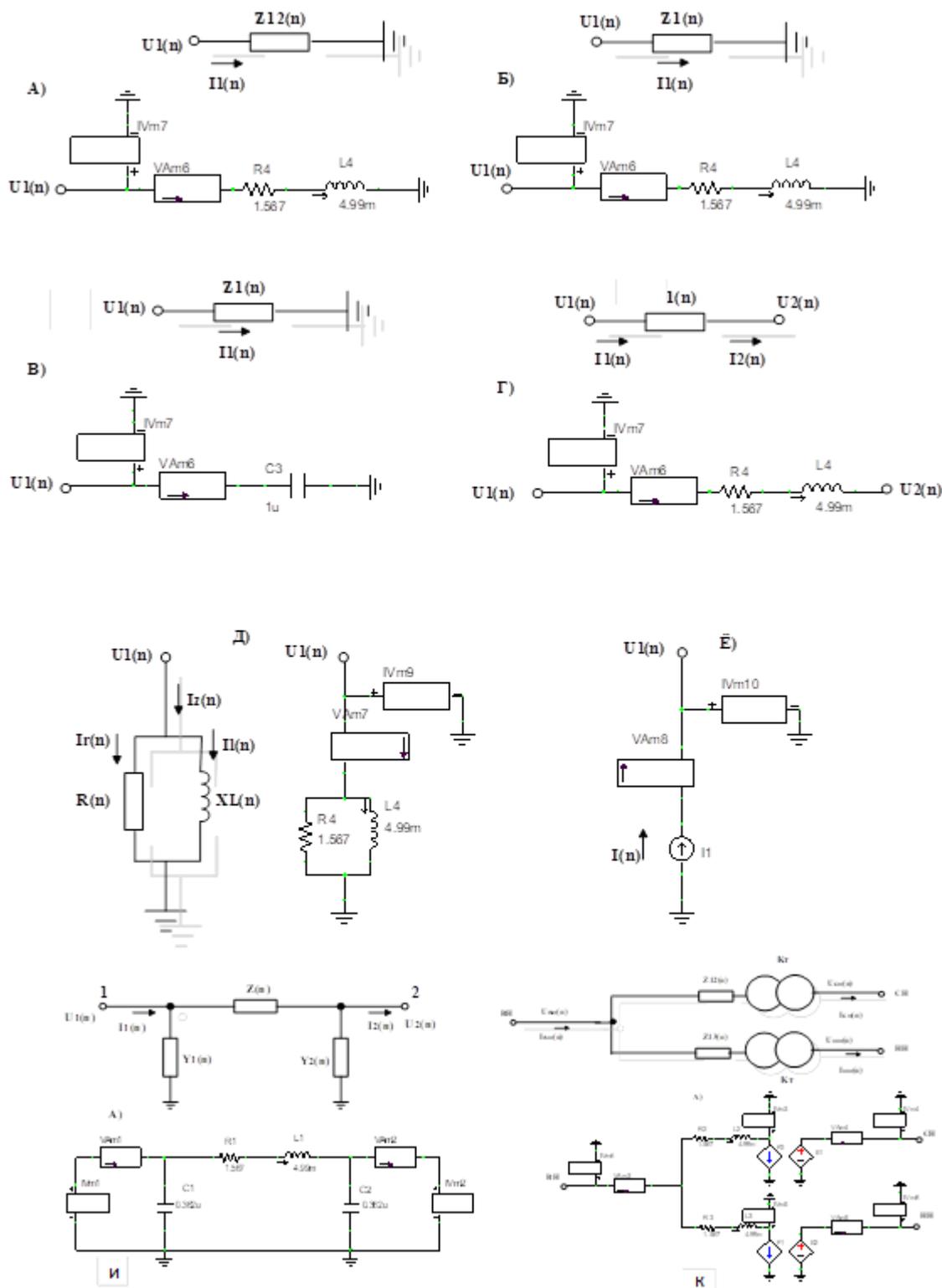


Рис.4. Модель элементов системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» в программном комплексе, B2Spice -а) синхронная и асинхронная машина; б, г) реакторы; в) конденсаторная батарея; д) узел комплексной нагрузки при параллельном соединении; е) вентильный преобразователь как источник токов ВГ; и) воздушная линия электропередачи; к) трансформаторы.

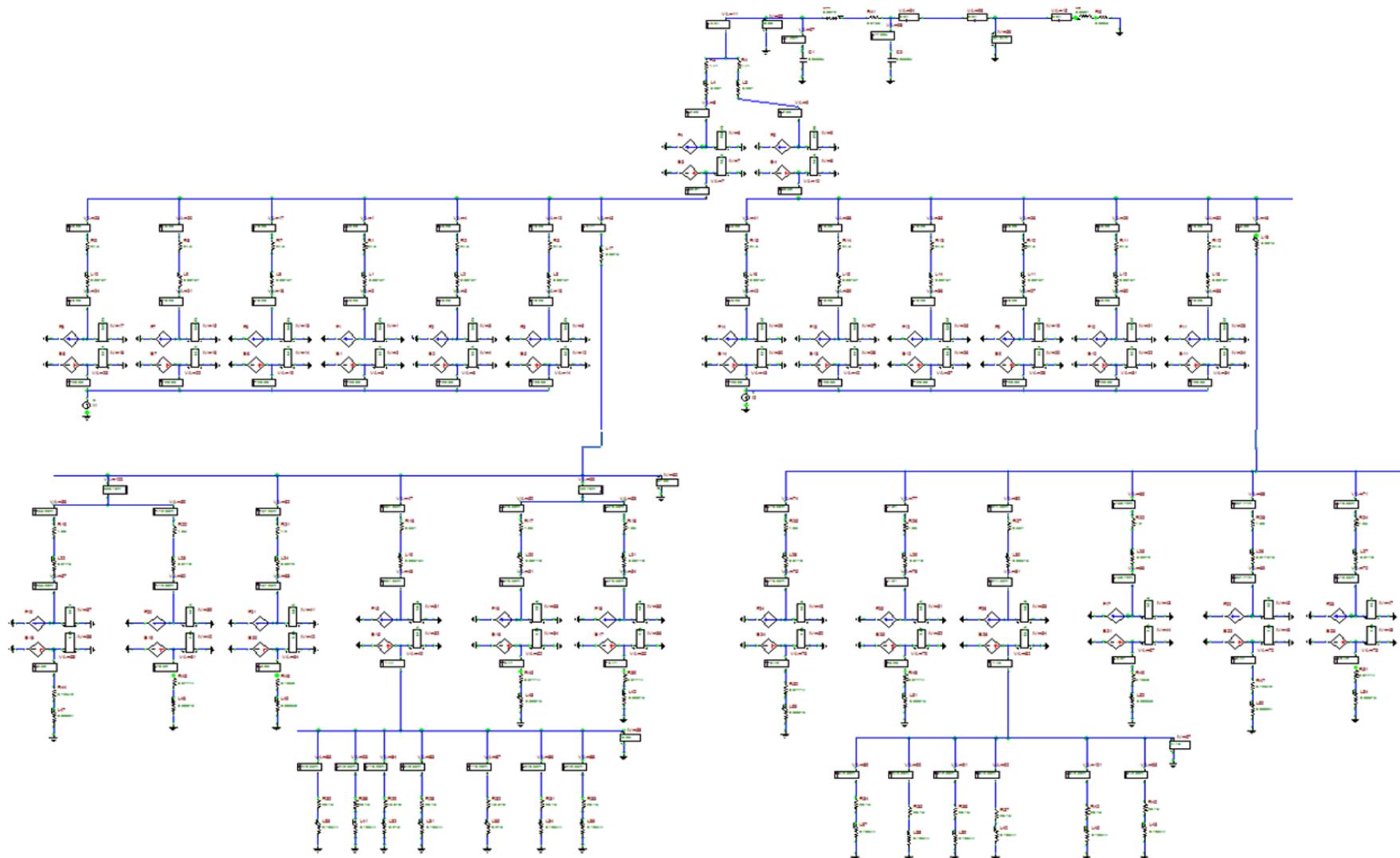


Рис.5 – Иммитационная модель схемы электроснабжения ГУП “ТАЛКО” в программном комплексе B2Spice

Соответствующее математическое описание каждого элемента для программного комплекса B2Spice приводится в таблице 2.

Таблица 2 - Математические формулы элементов для расчёта ВГ тока для программного комплекса B2Spice

Асинхронные и синхронные машины	$Z_2 = r_2 + jx_2 = \frac{r_{2\%}U_H^2}{100S_H} + j \frac{x_{2\%}U_H^2}{100S_H}$ $Z_2 = r_2\sqrt{n} + jx_2nk_x,$ $x_{2\%} = 22 - 30\%, r_{2\%} = 1.5 - 3\%,$ $x_{2\%} = 25 - 30\%, r_{2\%} = 4 - 5\%.$	На схеме рис 5. А
Воздушная линия электропередачи	$U_1 = ch(\gamma_0 l) + I_2 Z_B sh(\gamma_0 l),$ $I_1 = \frac{U_2}{Z_B} sh(\gamma_0 l) + I_2 ch(\gamma_0 l),$ $\gamma_0 = \sqrt{Z_0 Y_0},$ $Z_B = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}},$ $Z_0 = k_r r_{0(1)} + jn x_{0(1)},$ $y_0 = g_{0(1)} + jnb_{0(1)},$	На схеме рис 5. И
Двухобмоточный трансформатор	$Z_{(1)} = r_{(1)} + jx_{(1)}$ $= \frac{\Delta P_K U_{BH}^2}{S_{НОМ}^2} + j \frac{U_{K\%} U_{BH}^2}{100 S_{НОМ}}$ $K_T = \frac{U_{BH}}{U_{HH}},$ $Z_{T(n)} = k_r r_{(1)} + jk_x x_{(1)},$ $k_r = \sqrt{n}, K_x = n$	На схеме рис 5. К
Реакторы	$Z_1 = r_1 + jx_1 = \frac{\Delta P_{xx} 10^3 U_H^2}{S_H^2} + j \frac{U_H^2}{100 S_H}$ $Z_1 = r_1 + jx_1 = \frac{\Delta P_k 10^3}{I_H^2} + j \frac{x_{2\%} U_H^2}{100 I_H^2}$ $Z_1 = k_r r_1 + jx_1 n$ $\lambda = 0,238 \sqrt{\frac{n}{r_{0(1)}}}$	На схеме рис 5. Б,Г
Конденсаторная батарея	$x_1 = -j \frac{U_H^2}{Q_H}, Z_1 = 0 + j \frac{X_1}{n}$	На схеме рис 5. В

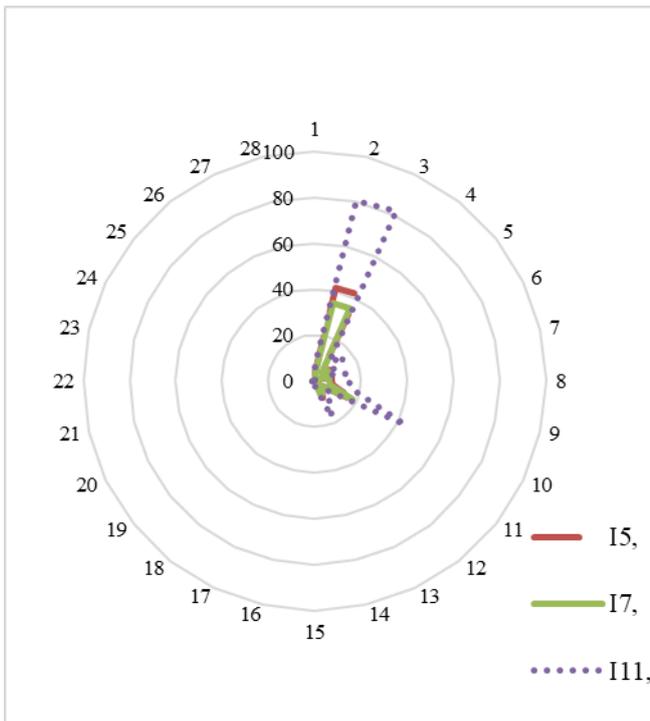


Рис 6 - Распределение токов ВГ с порядковыми номерами 5,7,11

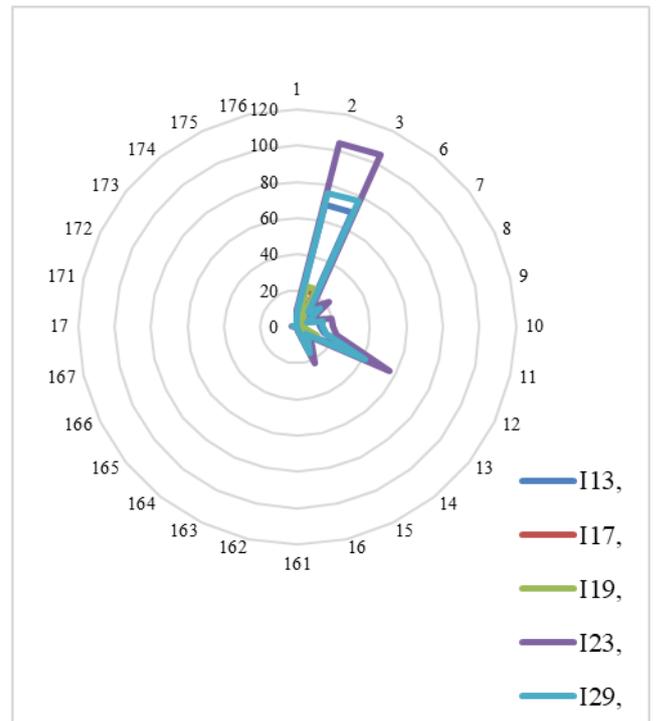


Рис 7 - Распределение токов ВГ с порядковыми номерами 13,17,19,23,29

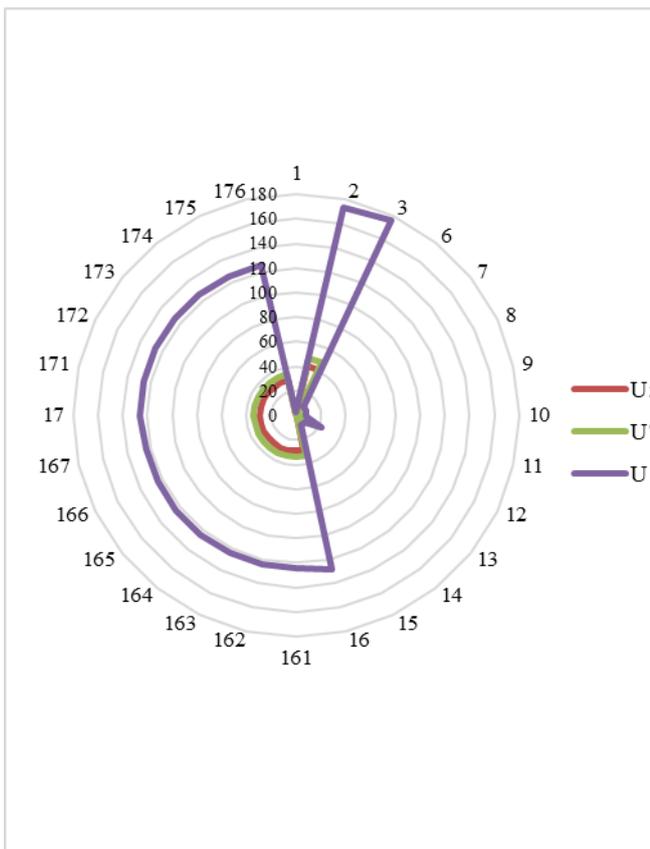


Рис 8 - Напряжение ВГ по узлам рассматриваемой схемы частотой 250,350,550Гц

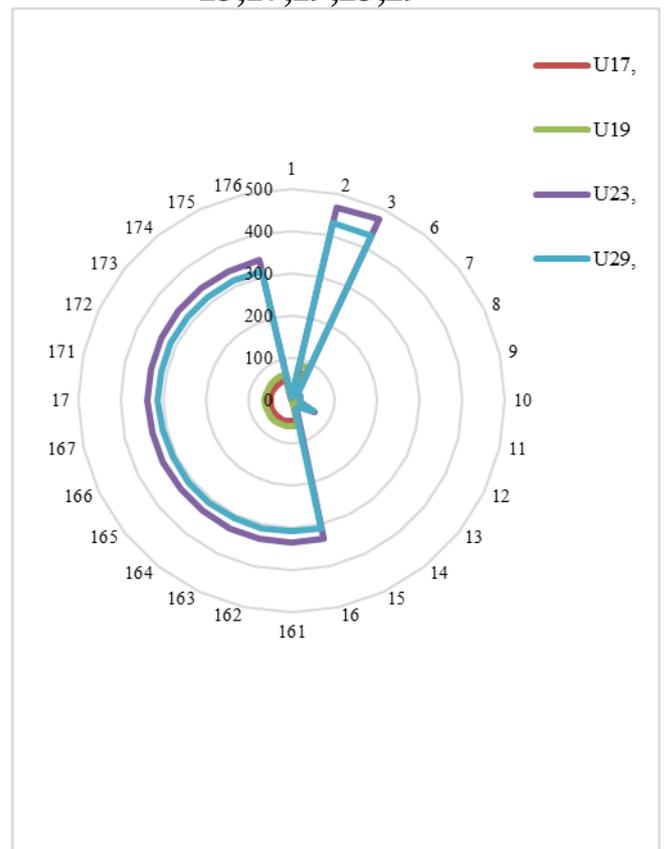


Рис 9 - Напряжение ВГ по узлам рассматриваемой схемы частотой 850,950,1150, 1450 Гц

Мощность искажения в программном комплексе B2Spice по показаниям виртуальных амперметров и вольтметров определяется с помощью

$$P_{(n)} = IVm_i \cdot VAm_i \cdot \cos(\varphi_{IVm_i} - \varphi_{VAm_i}); \quad (1)$$

Где IVm_i, VAm_i – это полученные данные по вольтметру и амперметру, установленные в рассматриваемом узле, $\varphi_{IVm_i}, \varphi_{VAm_i}$ – углы по измеренным током и напряжением, i – номер узлов и ветвей подключенных вольтметров и амперметров.

Из результатов моделирования (рис. 6–9) видно, что уровень ВГТ на шинах 10 кВ группы трансформаторов (ГТ) предприятия очень высок, это объясняется тем, что эти точки находятся вблизи источника искажений (выпрямителей). На стороне 6 кВ схем электроснабжения завода на выводах обмотки НН – ТМ № 12 величина напряжения ВГ порядка $(6 \cdot k \pm 1)$ до 29-го порядка относительно других частот очень высока. Особенно напряжение ВГ на частотах 550, 650, 1150 и 1450 Гц, это означает, что на этих частотах сопротивление на рассматриваемых точках невысоко, и система в данных точках относительно системы работает близко к резонансу. Исходя из этого, исследование и определение тока и напряжения высших частот являются своевременными, и его изучение дает заблаговременное предотвращение отрицательного влияния ВГ на электрооборудование систем электроснабжения. Коэффициенты несинусоидальности n -ой гармонической составляющей по напряжению заметно увеличиваются на зажимах электродвигателей цеха газоочистки (см. рис. 8-9 точки от 16 по 176), что негативно влияет на режим работы электродвигателей ДАЗО 6кВ.

Результаты сопоставления показали адекватность разработанной модели, которая подтверждается полученным значением погрешности сравнения (менее 5%).

Разработанная иммитационная модель схемы электроснабжения завода ОАО «ТАЛКО» представлена в диссертации.

Вывод по второй главе. Разработана модель системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» на примере ГТ-1 для расчёта высших гармоник тока и напряжения в программном комплексе B2 Spice. Получено значение токов и напряжения ВГ по узлам внутренней схемы электроснабжения. Результаты показали, что ВГ тока и напряжения частотой (550, 650, 1150 и 1450 Гц) имеет относительно большое значение по отношению к другим частотам, которое связано с режимом работы выпрямительных установок электролизных ванн. ВГТ всех порядков в относительно большом количестве потребляется трансформаторами секции шин 1 и 2 ВРУ-1. Относительно малая доля ВГТ распространяется по элементам электроэнергетической системы Таджикистана. Двигательная нагрузка предприятия потребляет относительно меньше ВГТ, но приложенное несинусоидальное напряжение достаточно велико по отношению к другим узлам сети.

Третья глава диссертации «Оценка влияния токов и напряжения ВГ на режим работы вспомогательных электроприёмников ОАО «ТАЛКО»». В данной главе произведен анализ воздействия токов и напряжения ВГ как помехи на

режим работы вспомогательных электроприёмников ОАО «ТАЛКО». Представлены результаты исследования работы электрических счётчиков при наличии токов ВГ. Согласно результатам эксперимента в индукционных счётчиках, при наличии токов ВГ при нелинейной нагрузке в момент замера получается соответствующий переучёт, а при линейной нагрузке - недоучёт. В соответствие с этим, абонент с нелинейной нагрузкой переплачивает за вред по ухудшению ПКЭ.

Мощность для нелинейной нагрузки в момент измерения индукционных счётчиков

$$P_{нл} = P_1 - \sum_2^n P_n \quad (2)$$

Мощность для нагрузки по основной частоте при искажённом формы кривого напряжения

$$P_л = P_1 + \sum_2^n P_n \quad (3)$$

Частотная характеристика индукционных счётчиков при разных значениях гармоники приводится на рис 10.

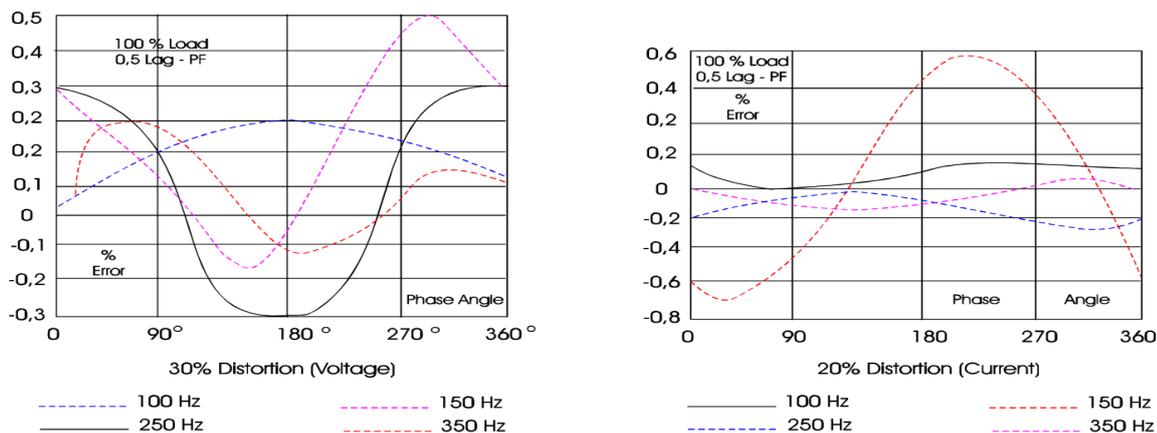


Рис. 10 - Измеренная синусоида токов и напряжение ВГ на зажимах группы индукционных электрических счётчиков ОАО «ТАЛКО»

Согласно многочисленным экспериментам по оценке воздействия токов ВГ на цифровые электрические счётчики установлено, что абонент с искажающей нагрузкой недоплачивает за полученную энергию, а абонент, потребляемый электроэнергию высших гармоник от сети (линейная нагрузка), переплачивает при потреблении электроэнергии с синусоидальной формы кривой напряжения.

Погрешность цифровых электрических счётчиков при учете активной электроэнергии, при наличии электроприемников с нелинейной ВАХ составляет до 6 процентов. Однако реальные эксперименты в лабораторных условиях показали, что погрешность счётчиков не превышает 0,5%. Учитывая мощность, потребляемую ОАО «ТАЛКО», и современные счётчики, которые подключены в точке коммерческого учета с классом точности 0,2 возможно предполагать, что сбытовые компании, функционирующие в Республике Таджикистан ежемесячно несут ущерб в несколько миллионов сомони за счёт воздействия алюминиевого

завода. Точное значение баланса мощности в данной работе не проводилось за счёт ограниченности объема диссертационной работы.

Далее для обеспечения КЭ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» разработан способ снижения коэффициента загрузки трансформаторов за счёт протекания через него мощности, обусловленной током и напряжением ВГ. В трансформаторах, как правило, имеют место потери в сердечнике (постоянные) и в обмотках (переменные). При несинусоидальном режиме величина дополнительных потерь существенно влияет на переменные потери, так как дополнительные потери зависят от квадрата действующего значения тока и порядковый номер гармоники. Степень поправочных коэффициентов добавочных потерь для обмотки, бака и другие части трансформатора соответственно составляет 2, 0,8 и 1,05. Увеличение значение составляющих токов ВГ приводит к увеличению коэффициентов $K_{обм}$, $K_{б}$, $K_{др}$, что учитывает увеличение потери относительной мощности первой гармоники

$$\begin{aligned}
 K_{обм} &= \frac{P_{обм}}{P_{обм, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^2 \\
 K_{б} &= \frac{P_{б}}{P_{б, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^{1,05} \\
 K_{др} &= \frac{P_{др}}{P_{др, ном}} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} \left(\frac{I_n}{I_{ном}} \right)^2 \cdot n^{0,8}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Результирующий ток определяется как среднеквадратическое значение токов основной и высших гармоник:

$$K_{обм} = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^2}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2}; \quad K_{б} = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^{1,05}}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2}; \quad K_{др} = \frac{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2 \cdot n^{0,8}}{\sum_{n=1}^{n=n_{max}} I_n^2}
 \tag{5}$$

где $P_{обм, ном}$, $P_{б, ном}$, $P_{др, ном}$ - потери в рассматриваемых частях трансформатора.

$$\frac{I}{I_{ном}} = \sqrt{\frac{P_{*нагр, ном}}{1 + K_{обм} \cdot P_{*обм, ном} + K_{б} \cdot P_{*б, ном} + K_{др} \cdot P_{*др, ном}}}
 \tag{6}$$

Выражение (6) характеризует величину снижения среднеквадратичного значения тока отношению номинального тока трансформатора при наличии искажающей нагрузки.

Полученная величина — это эквивалентная способность трансформатора к нагрузкам при наличии искажающей нагрузки. Для апробации представленной методики произведён тепловой расчёт трансформатора в программном комплексе ELCUT. Порядок расчёта более подробно рассмотрен в диссертации.

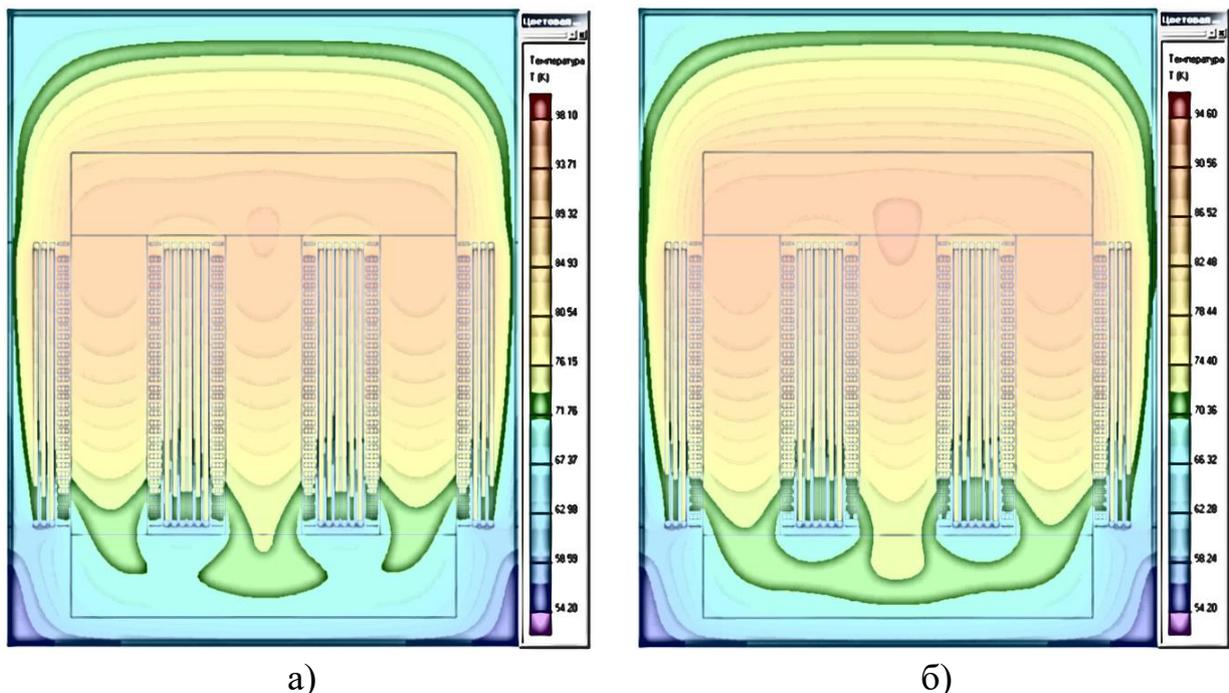


Рис. 11 – Температура трансформатора при номинальной нагрузке наличием ВГТ (а) без учета снижения коэффициента загрузки (б) с учетом снижения коэффициента загрузки

Согласно рис.11., если загрузить трансформатор без учёта токов ВГ, температура обмотки, будет выше допустимой установленной ГОСТ - ом, разница температур между режимом работы трансформатора с током ВГ и без составляет 4 °С.

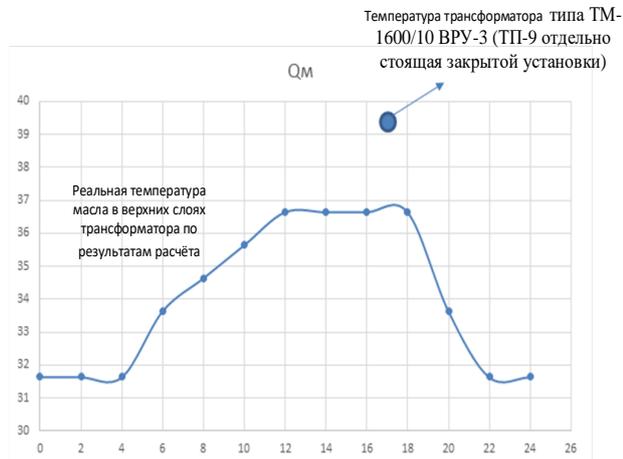


Рис. 12 - График сравнения температуры масла в верхних слоях трансформатора ТМ-4000/10 ВРУ-3

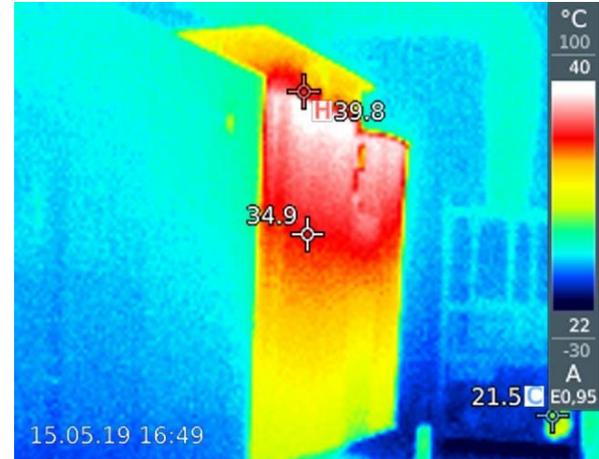


Рис.13 - Тепловая картина трансформатора типа ТМ-4000/10 ВРУ-3 (ТП-9 отдельно стоящая закрытая установка) по результату тепловизионного контроля

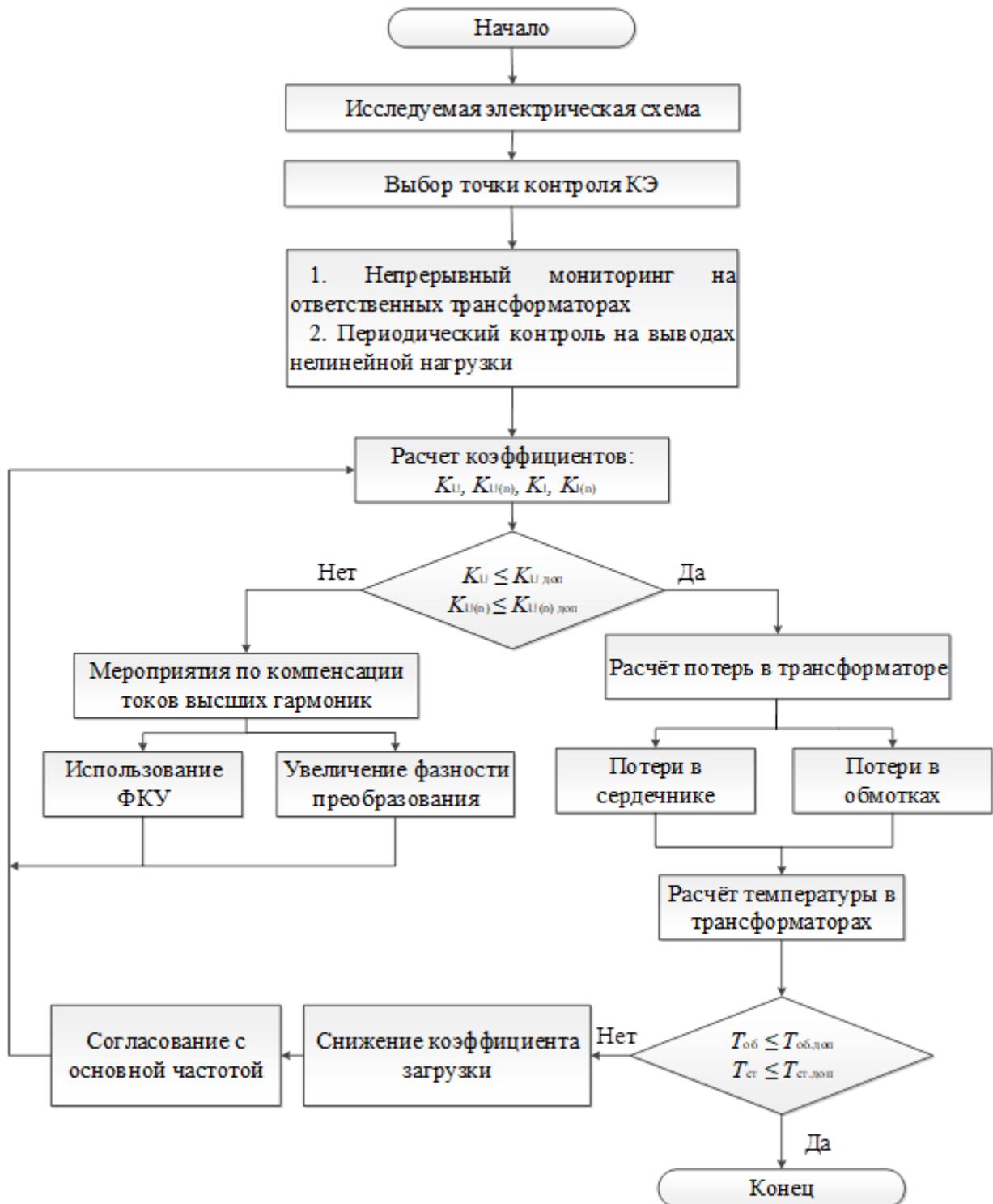


Рис. 14 - Алгоритм уменьшения влияния ТВГ на режим работы трансформаторов

Для оценки достоверности предлагаемой методики автором диссертации произведен тепловизионный контроль основного электрооборудования. Результаты контроля были сопоставлены с ручным расчётом теплового режима трансформатора. Результаты сопоставления приводятся на рис. 12-13. Разница температуры между расчётным и экспериментальным отличается почти на 3 градуса, что подтверждает адекватность предлагаемого способа.

Для обеспечения нормальной работы трансформаторов и двигателей ОАО «ТАЛКО» предложено снизить коэффициент загрузки трансформаторов. С другой стороны, снижение коэффициента загрузки приводит к снижению производительности трансформаторов.

Разработанный алгоритм снижения воздействия ТВГ на режим работы трансформаторов обеспечивает нормальную функционированию цеховых трансформаторов ОАО «ТАЛКО» (Рис 14).

Вывод по третьей главе. Предлагается способ позволяющий учитывать влияние ВГТ на пропускную способности силовых трансформаторов. Произведена проверка корректности, разработанной имитационной и тепловой моделей. Произведён выбор ФКУ для снижения токов ВГ и предложен алгоритм снижения воздействия токов ВГ на режим работы трансформаторов ОАО «ТАЛКО».

Четвертая глава «Разработка системы управления качеством электрической энергии для системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО» с применением системы мониторинга». Осуществляется анализ средства измерения ПКЭ возможным для применения в системе мониторинга КЭ. При анализе СИ обратили внимание на технические показатели, такие как способы установки (стационарные или мобильные); способ подключения для передачи данных (через модем или цифровые RS подключения). Согласно результату анализа СИ ПКЭ стационарные приборы составляют 36% и 65% от всего количества существующих на производстве СИ, имеют возможность подключения к системам автоматической передачи данных. Выше рассмотренные технические показатели СИ на самом деле необходимы для создания системы мониторинга ПКЭ. На сегодняшний день можно сказать, что существующие приборы технически удовлетворяют требованиям архитектуры непрерывного контроля ПКЭ.

Для выбора количества СИ показателей качества электроэнергии уточняется места их установки для мониторинга ПКЭ и методика обработки измеренных данных. Критерием выбора количества СИ с учётом минимума по отношению контролируемых узлов для схемы ОАО «ТАЛКО» определяется

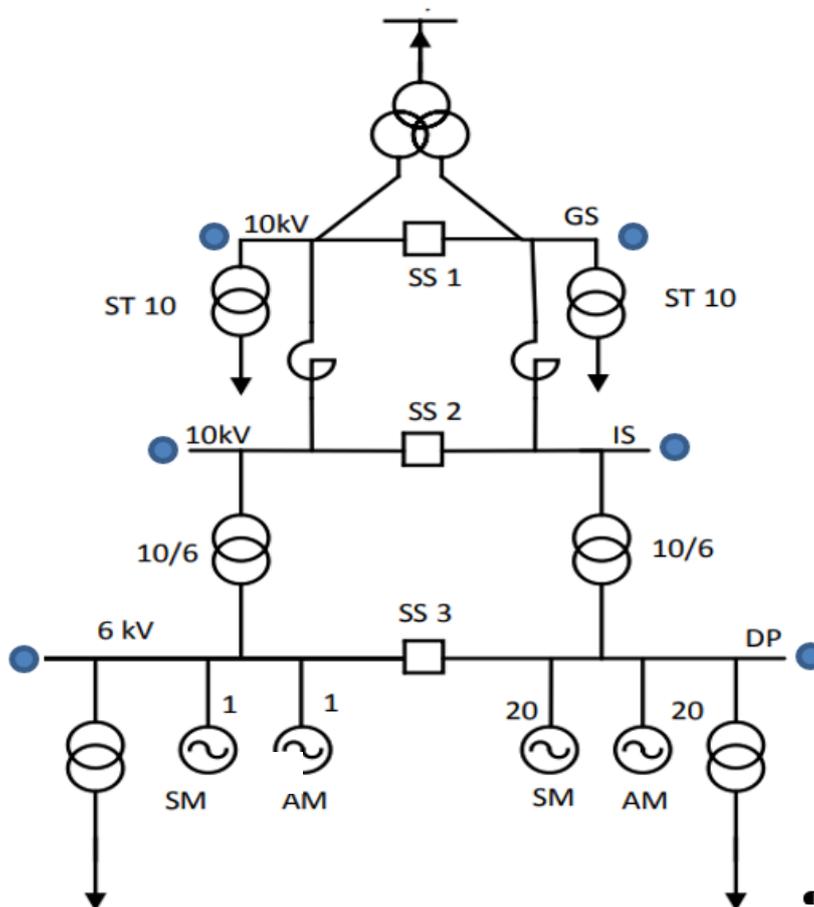
$$K_{\text{усл}} = \frac{N_{\text{си}}}{N_{\text{узн}}} \leq 1 \quad (7)$$

где $K_{\text{усл}}$ – условное количество узлов, $N_{\text{си}}$ – количество средства измерений, $N_{\text{узн}}$ – общее количество узлов.

Информация по выбору места и количества современных стационарных СИ ПКЭ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» приводится в таблице 3.

Таблица 3 - Место установки СИ ПКЭ ОАО «ТАЛКО» в целом

Название узла	Наименование прибора	Количество, шт
Ввод ВН 220кВ трансформатора ГТ	Тест-электро	1x10=10
Ввод НН 10кВ трансформатора ГТ	Тест-электро	1x16=16
Сборная шина ВРУ 10кВ	Тест-электро	6x2=12
Сборная шина РП 6кВ	Тест-электро	17x2=34
Итого	Тест-электро	72



● - место установки СИ ПКЭ

Рис.15 - Принципиальная упрощённая однолинейная электрическая схема одного ГТ ОАО «ТАЛКО» с указанием места установки СИ

В качестве технических мероприятий обеспечения качеством электрической энергии разрабатывается архитектура системы мониторинга ПКЭ на базе средства измерения ТЕСТ-Электро. Архитектура мониторинга состоит из следующих объектов: стационарные средства измерения ПКЭ; контроллер;

средства проводной или беспроводной сети, сервер для хранения измеренных результатов; программное обеспечение для обработки и отображения результатов измерения ПКЭ. В качестве организационных мероприятий управления качеством электроэнергии разработана структура отдела управления КЭ в составе ОАО «ТАЛКО», которая решает следующие задачи управления качеством электроэнергии (рис.16).



Рис. 16 - Основные функции отдела управления ОАО «ТАЛКО»

Выводы по четвертой главе. Осуществлён анализ технической возможности существующих СИ ПКЭ для создания системы мониторинга КЭ. Приводится подход к месту выбора размещения СИ для системы мониторинга КЭ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО». Разработана система управления качеством электроэнергии на примере системы электроснабжения ОАО «ТАЛКО», которая включает в себя службу управления КЭ, выполняющую обеспечение ПКЭ на данном предприятии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведён документальный и инструментальный анализ состояния качества электроэнергии в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО». Документальный анализ представляет собой анализ параметров системы электроснабжения и режим электропотребления ОАО «ТАЛКО». Инструментальная оценка требуемых ПКЭ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» осуществлена с помощью современных средств измерения ПКЭ [1-М, 2-М, 4-М, 13-М, 14-М].

2. Установлены причины, связанные с ухудшением качества электроэнергии в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО». Основные причины ухудшения КЭ по искажению синусоидальности формы кривого напряжения в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» -это наличие электролизных ванн, которые являются электроприёмниками с нелинейной ВАХ генерирующие токи ВГ [1-М, 2-М, 3-М, 4-М, 5-М, 9-М, 12-М, 14-М, 16-М].

3. Для построения полной картины распространения токов ВГ в схеме электроснабжения ОАО «ТАЛКО» разработана математическая модель в программном комплексе B2Spice [1-М, 2-М].
4. Предложен способ снижения пропускной способности трансформаторов 10/0,4кВ с нелинейной нагрузкой путем уменьшения коэффициента загрузки трансформаторов с учетом значения мощности нелинейной нагрузки [2-М,5-М, 6-М].
5. Произведена оценка теплового режима работы трансформаторов ОАО «ТАЛКО» тепловизорным измерением, расчётным путем и моделированием в программном комплексе ELCUT [2-М, 4-М, 12-М].
6. Разработан алгоритм уменьшения воздействия ВГТ на режим работы трансформаторов [1-М, 2-М, 4-М, 12-М].
7. Определены параметры ФКУ для ограничения токов ВГ в системе электроснабжения ОАО «ТАЛКО» [1-М,4-М].
8. Разработана система управления качеством электроэнергии в системе электроснабжения ГУП «ТАЛКО» на базе мониторинга КЭ, интегрирующего с организационной схемой управления [4-М, 13-М, 15-М].

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ

Мақолаҳое, ки дар нашрияҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон Чопшудаанд.

- [1-М]. Абдулкеримов, С.А. Экспериментальное исследование, анализ и оценка показателей качества электроэнергии в электрической сети 0,4кВ образовательного учреждения [Текст] / С.А. Абдулкеримов, Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, М.М. Камолов, З.С. Ганиев, // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №3 (43) – 2018, С.16-19
- [2-М]. **Амирханов, А.С.** Оценка результатов моделирования распределение высших гармоник тока в системе электроснабжения алюминиевого завода [Текст] / **А.С. Амирханов**, М.М. Камолов, Х.Б. Назиров, С.Т.Исмоилов, Ш.Дж. Джураев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №2 (46) – 2019, С.14-20.
- [3-М]. Камолов, М.М. Экспериментальная оценка качества электрической энергии современных коммунально-бытовых и офисных [Текст] / М.М. Камолов Х.Б. Назиров, С.Т. Исмоилов, Ш.Дж. Джураев **А.С. Амирханов** // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №2 (46) – 2019, С.26-33.
- [4-М]. **Амирханов, А.С.** Коркарди чорабиниҳои ташкилии идоракунии сифати энергияи электрикӣ дар системаи барқтаъминкунии ҚСК «ШАТ» [Текст] / **Амирханов, А.С.** // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Т-1. №4 (52) – 2020, С. 10-16.

Мақолаҳое, ки дар маҷалла ва нашрияҳои тақризии дар базаи илмии муайяннамудаи SCOPUS, нашр гардидаанд:

- [5-M]. Nazirov Kh.B. Measurement of Emissions of High Harmonic Currents in Modern Electrical Receivers in Municipal-Households Power Supply System // Kh.B. Nazirov, **A.S. Amirkhanov**, G. Zokirjon, Sh.D. Dzhuraev, S.T. Ismoilov, R. A. Rahimov / IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section. – January 27-30, 2020. – Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia: 2020. Section 7. – P. 1270-1275.
- [6-M]. Nazirov Kh.B. Simulation of the Municipal-Household Electrical Supply System for Calculation and Forecasting the Level Current and Voltage Higher Harmonics// Kh.B. Nazirov, **A.S. Amirkhanov**, S. G. Zokirjon, Sh.D. Dzhuraev, S.T. Ismoilov, R. A. Rahimov / IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, IEEE Russia North West Section. – January 27-30, 2020. – Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia: 2020. Section 7. – P. 1276 – 1281.
- Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳо нашуршуда:**
- [7-M]. Камолов, М.М. Оценка электромагнитной совместимости современных бытовых электроприёмников по качеству электроэнергии [Текст] / М.М. Камолов, Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, С.Т. Исmoilов, // Двадцать четвертая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА». Москва, 15-16 марта 2018 г. Ст. 1018
- [8-M]. Назиров, Х.Б. Анализ результатов измерения показателей качества электроэнергии в электрической сети напряжением 0.4кВ образовательного учреждения [Текст] / Х.Б. Назиров, М.М. Камолов, **А.С. Амирханов**, И.И. Толибзода, А.Д. Қараев // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «НАУКА-ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» Душанбе-2018. 26-27 апреля 2018, ТТУ имени академика М.С. Осими. С.75-78
- [9-M]. Оценка качества электроэнергии по медленному изменению напряжения с использованием аппарата математической статистики [Текст] / Х.Б. Назиров, М.М. Камолов, **А.С. Амирханов**, А.Д. Қараев, И.И. Толибов // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «НАУКА-ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ» Душанбе-2018. 26-27 апреля 2018, ТТУ имени академика М.С. Осими. С.79-82
- [10-M]. Абдулкеримов С.А. Результаты измерения показателей качества электроэнергии электрических сетей напряжением 220-10-0.4кВ Зеравшанской долины [Текст] / С.А. Абдулкеримов, Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, С.Т. Исmoilов, М.М. Камолов // Материалы 1-ой международной научно-практической конференции «ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН», г. Душанбе, 17 сентября 2018г, С.102-108.

- [11-М]. Назиров Х.Б. Анализ современных электроприёмников с точки зрения влияния на показателей качество электроэнергии [Текст] / Х.Б. Назиров, **А.С. Амирханов**, З.С. Ганиев. Исмоилов С.Т. Камолов М.М. // Материалы Международной научно –практической конференции: Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона. Душанбе, 21 декабря, 2018. Часть I. Ст.194-199
- [12-М]. Назиров Х.Б. Нагрузки Таджикистана в зависимости от регулирования напряжения [Текст] / Назиров Х.Б., Ф.О. Исмоилов, С.Т. Исмоилов, М.М. Вохидов, **А.С. Амирханов** // Независимость – основа развития энергетики страны Материалы Международной научно-практической конференции Посвященный к празднованию Дня Энергетика. Бохтар 2017: стр 446-453
- [13-М]. **Амирханов А.С.** Алгоритми раванди тадқиқоти нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар ҚСҚ “ШАТ” [Текст] / **Амирханов, А.С.** // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр.84-92.
- [14-М]. **Амирханов А.С.** Баҳодиҳии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ дар корхонаи металлургияи рангаи ҚСҚ “ШАТ” [Текст] / **Амирханов, А.С.** // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр.92-96.
- [15-М]. Назиров Х.Б. Тавсифи умумии системаҳои барқтаъминкунии ҚСҚ “ШАТ” аз нуқтаи назари таъминоти сифати энергияи электрикӣ [Текст] / Назиров Х.Б., **Амирханов А.С.**, Раҳимов Х.А., Ёрмаҳмадзода О.Ё., Ҷаборов М.К. // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр. 39-43.
- [16-М]. Назиров Х.Б. Таҳлили зарифҳои тавсифкунандаи ғайрисинусоидали дар ҚСҚ “ШАТ” [Текст] / Назиров Х.Б.,**Амирханов А.С.**, Файзулоев Р.Ҷ., Ёрмаҳмадзода О.Ё., Раупов Н.М., Абдусаторзода А.А. // Материалы международной научно-практической конференции “Развитие энергетики и возможности”. 22 декабря 2020 года, Кушониён стр. 43-48.
- [17-М]. Назиров Х.Б. Баҳодиҳии талафи тавоноии ғайрифаъл ва сифати энергияи электрикӣ дар шабакаҳои тақсимотии 0,4 кВ дорои нерӯгоҳҳои офтобии тақсимшуда [Текст] / Назиров Х.Б., Ҷӯраев Ш.Ҷ., Ҷаборов М.К., **Амирханов А.С.** // Паёми Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон (Маҷаллаи илмӣ) Силсилаи тадқиқотҳои муҳандисӣ, инноватсионӣ ва сармоягузорӣ №1 (1) соли 2022 Кушониён саҳ. 27-38
- [18-М]. **Амирханов А.С.** Баҳодиҳии речаи гармии қори трансформаторҳои ҚСҚ “ШАТ” дар шароитҳои ҳақиқӣ [Текст] / **Амирханов А.С.** // Паёми Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон (Маҷаллаи илмӣ) Силсилаи тадқиқотҳои муҳандисӣ, инноватсионӣ ва сармоягузорӣ №2 (2) соли 2022 Кушониён саҳ. 61-68

Шарҳи мухтасар

ба диссертатсия Амирханов Алишер Сайвалиевич “**Коркарди системаи идоракунии сифати энергияи электрикӣ (СЭЭ) дар корхонаи металлургияи ранга дар мисоли ҚСК “ШАТ”**”, барои дарёфти дараҷаи номзади илмҳои техники бо ихтисоси 05.14.02. “Нерӯгоҳҳои электрикӣ ва системаҳои электроэнергетикӣ”

Дар боби якум шарҳи адабиётҳо аз рӯи мавзӯи диссертатсия ва баҳодиҳии таҷрибавии нишондодҳои СЭЭ иҷро карда шудааст. Аз рӯи натиҷаҳои ҷенкунӣ мушкилиҳо барои таъмини СЭЭ дар системаи барқтаъминкунии корхона муайян карда шудааст.

Дар боби дуюм вобаста ба масъалаи ошкоршуда коркарди моделҳои системаи барқтаъминкунӣ барои баҳодиҳии ҷараёнҳо ва дигар параметрҳои энергияи электрикӣ дар речаи асосӣ ва басомади гармоникҳои оӣ ба роҳ монда мешавад. Таъсири речаи кори табдилдиҳандаҳои росткунанда ба ҳолати дастгоҳҳои барқӣ таҳқиқот гузаронида шудааст.

Дар чорчубаи боби сеюм коркарди усули пасткунии ҷараёнҳои гармоникҳои оӣ гузаронида шудааст. Истифодабарии ҳама намуди филтрҳо моделиронӣ карда мешавад.

Методикаи интиҳоби филтрҳои ғайрифазол бо баҳисобгирии тавсифноми басомадӣ-амплитудавии нуқтаи пайвасти филтр коркард карда шудааст. Баҳодиҳии муносибкунии интиҳоби ДЧФ намудҳои гуногун барои паст кардани ҷараёнҳои ГО иҷро шудааст.

Дар боби чорум системаи идоракунии нишондодҳои сифати энергияи электрикӣ бо дохил кардани системаи мониторингӣ дар ҳайати маркази идоракунии СЭЭ коркард карда шудааст. Ба сифати пешниҳод як қатор чорабиниҳои техникӣ ва ташкилӣ барои маркази ИСЭЭ ва корхона дар умум коркард шудааст.

РЕЗЮМЕ

на диссертацию Амирханова Алишера Сайвалиевича на тему **«Разработка системы управления качеством электрической энергии на предприятиях цветной металлургии (на примере ОАО «ТАЛКО»)**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

В диссертации рассматриваются вопросы разработки системы управления качеством электроэнергии (КЭ) в электрической сети предприятий цветной металлургии на примере Таджикского алюминиевого завода. В первой главе дан обзор литературы по теме диссертации и выполняется экспериментальная оценка показателей КЭ. По результатам измерения определяются проблемы с обеспечением КЭ в системе электроснабжения предприятия.

Во второй главе в зависимости от выявленной проблемы осуществляется разработка моделей системы электроснабжения для оценки токов и других параметров электроэнергии в режиме основной и частоты высших гармоник. Исследуется влияние режима работы выпрямительных преобразователей на состояние электрооборудования.

В рамках третьей главы осуществляется разработка методики снижения токов высших гармоник. Моделируется применение всех видов фильтров.

Разрабатывается методика выбора пассивных фильтров с учётом амплитудно-частотной характеристики точки подключения фильтра.

Оценивается оптимизация выбора ФКУ разных видов для снижения токов ВГ.

В четвёртой главе разрабатывается система управления показателей качества электроэнергии внедрением системы мониторинга в состав центра управления качеством электроэнергии. В качестве предложения разрабатывается ряд технических и организационных мероприятий для центра УКЭ и предприятия в целом.

ABSTRACT

In the thesis Amirkhonov Alisher Sayvalievich considered the issues of developing the **«Quality Management System of the Electric Energy QSE in the electric network of the non-ferrous metallurgy enterprise as an example of the Tajik aluminum plant»** presented for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.14.02. “Electrical plants and electrical energy systems”

The first chapter the literature on the topic of the dissertation and the experimental evaluation of the Electricity Quality Indicators EQI. According to the results of measurements, problems are identified for ensuring the Quality of Electric Energy QEE in the enterprises electrical system.

In the second chapter in connection with the revealed problem, the development of models of power supply system for the evaluation of flows and other parameters of the electric energy in the main mode and the frequency of the highest harmonic.

Studies of the effect of the operating mode of straight converters on the condition of electrical device have been studied.

The third chapter develops the methods for the reduction of higher harmonic processes. The use of all types of filters is modeled.

The method of selecting inactive filters is developed by taking into account the frequency characteristics-amplitude of the point of the filter connection. The evaluation of the optimization of the Active Separation Database ASD of different types has been performed to reduce the processes of the High Harmony HH.

In the fourth chapter, a system for managing the quality of electricity is developed, including the monitoring system of the Center for Quality Management of Electricity CQME. As a proposal, number of technical and organizational measures have been developed for the Center for Quality Management of Electricity CQME and Enterprise as whole.

Подписано в печать _____ . Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ТТУ им. Академика М.С. Осими.