



ISSN (print) 2091-5985
ISSN (online) 2181-1946

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

Махсус сон

2021

Энергия ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш учун мамлакатимиз энергетика тизимини ислоҳ қилишимиз, бу борада аниқ стратегия ишлаб чиқишимиз лозим.
Ш.М.Мирзиёев

Для повышения эффективности использования энергоресурсов нам необходимо реформировать энергетическую отрасль страны, разработать в этом направлении конкретную стратегию.

Ш.М.Мирзиёев

In order to increase the efficiency of energy resources, we need to reform the energy system of our country and develop a clear strategy in this regard.

Sh.Mirziyoyev



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ЭНЕРГЕТИКА ВАЗИРЛИГИ
ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРСЛАР ТЕЖАШ
ИЛМИЙ-АМАЛИЙ ВА ЎҚУВ МАРКАЗИ
«ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИГИ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧАН
ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ» ИЛМИЙ - ТАДҚИҚОТ ЛАБОРАТОРИЯСИ
«МУҚОБИЛ ЁҚИЛҒИ ВА ЭНЕРГИЯ КОРХОНАЛАРИ»
АССОЦИАЦИЯСИ

ISSN (print) 2091-5985
ISSN (online) 2181-1946

ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ

Журнал 2002 йилда
ташкил қилинган

Йилига 4 марта
чоп этилади

2021 й. _____ МАХСУС СОН

ТОШКЕНТ - 2021

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

Акад. А.У.Салимов (раис), акад. Р.А.Захидов (раис ўринбосари), акад. Т.Х.Насиров,
кад. Н.Р.Юсупбеков, т.ф.д., проф. Дж.Н.Мухиддинов, т.ф.д., проф. С.М.Турабджанов,
т.ф.д., проф. Ж.Б.Тошов

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

Бош муҳаррир: акад. Аллаев К.Р.
Бош муҳаррир ўринбосари: проф. Ситдиқов Р.А.
Илмий котиб: доц. Раҳмонов И.У.

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Т.Ш. Гайибов Рос ФА мухбир аъзоси Н.И. Воропай (Россия)
т.ф.д., проф. А.Д. Таслимов т.ф.д., проф. М.Ш. Мисриханов (Россия)
т.ф.д., проф. М.К. Бобожанов Украина МФА акад. А.Ф. Верлань (Украина)
т.ф.д., проф. М.И. Ибадуллаев проф. Christian Kreisler (Германия)

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Р.П. Бобоҳаджаев ҚР МФА акад. Б.К. Алиёров (Қозоғистон)
т.ф.д., проф. Ё.С. Аббосов ҚР МФА акад. С.А. Кешуов (Қозоғистон)
т.ф.д., проф. И.И. Садыков т.ф.д., проф. Ж.С. Абдимуратов (Қозоғистон)
PhD, доц. Ш.Ш. Абдумаликов БелР МФА акад. А.А. Мехалевич (Белорусия)

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

т.ф.д., проф. Ф.А. Хошимов т.ф.д., проф. Н.Ш. Чемборисова (Россия)
т.ф.д., проф. О.Х. Ишназаров т.ф.д., проф. Н.Л. Новиков (Россия)
т.ф.д., проф. Н.Б. Пирматов проф. Ekkehard Bolte (Германия)
т.ф.д., проф. Х.М. Муратов проф. Wilfrid Hofmann (Германия)

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

т.ф.д., проф. Г.Н. Узатов PhD, проф. Kyubock Lee (Жанубий Корея)
т.ф.д., проф. Н.Р. Авезова т.ф.д., проф. Ж.О. Титова (Россия)
т.ф.д., проф. А.М. Мирзабаев PhD, проф. Rhee Young Woo (Жанубий Корея)
т.ф.д., доц. И.А. Юлдашев проф. Peter Schegner (Германия)

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

т.ф.д., проф. Н.С. Махмудов т.ф.д., проф. А.Ф. Максименко (Россия)
т.ф.д., проф. У.С. Назаров т.ф.д., проф. Ф.Г. Жағфаров (Россия)
т.ф.д., проф. Ф.Я. Умаров т.ф.д., проф. И.Г. Кантаржи (Россия)
к.т.н., доц. И.Х. Халисматов PhD, доц. А.С. Кулиев (Россия)

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

т.ф.д., проф. М.М. Мухаммадиев PhD, проф. Lee Young-Seak (Жанубий Корея)
т.ф.д., проф. Э.Ж. Махмудов т.ф.д., проф. Д.С. Ахметбаев (Қозоғистон)
т.ф.д., проф. О.Я. Гловацкий т.ф.д., проф. В.А. Хохлов (Россия)
т.ф.д., проф. Б.У. Уришев PhD, проф. Namgee Jung (Жанубий Корея)

*Таҳририят манзили: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2, ТошДТУ, ЭФ биноси,
220-хона. Тел. +99871-246-08-04; E-mail: tstu_energy@list.ru*

*Журнал Тошкент шаҳар Матбуот ва ахборот бошқармаси рўйхатида олинган
2007 йил 12 январ, 02-0044 гувоҳнома, ISSN 2091-5985 (print) ISSN (online) 2181-1946.*

МУНДАРИЖА

И.У. Рахмонов. "Электр таъминоти" кафедраси: кеча, бугун, эртага	17
ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ	
К.Р. Аллаев. Энергия самарадорлиги энергия ишлаб чиқариш ва истеъмол қилиш муваффақиятининг асосий кўрсаткичидир.	28
Н.Д. Роголев, В.В. Молодюк, П.С. Прокофьев. Россия электр энергетикасини рақамлаштиришнинг умумий муаммолари.	45
Т.Ш. Гайибов, Б.А. Узаков. Энергетика тизимларининг ҳолатларини тармоқ факторларини ҳисобга олиб оптималлаш.	50
А.Ж. Есенбеков, М. Ибадуллаев, А.К. Нуралиев. Электр механик тизимларни математик моделлаштириш.	57
А.Д. Таслимов. 0,38 кВ кучланишли шаҳар тақсимловчи электр тармоғи параметларининг тенг иқтисодий ўзгариш соҳасини ўрганиш.	70
А.И. Каршибаев, Ф.Н. Рахмонов, Ф.М. Рахимов. Юқори кучланишли электр узатиш линияларини музлаш муаммолари.	76
Ш.В. Хамидов, Б.Р. Нормуратов. Бирлашган қувват оқимли регулятор UPFC ни ўз ичига олган FACTS қурилмалардан фойдаланган ҳолда, бир фазали тармоқдаги қувват оқимининг математик модели.	81
М.Б. Худаяров, Н.Н. Нормаматов, Т.А. Икрамов. Электр энергетик тизимининг барқарорлашган ҳолатини ҳисоблаш учун сунъий нейрон тармоқдан фойдаланиш. .	87
Х.А. Саттаров. Махсус юкларнинг бирламчи ток ўзгартиргичларининг статик характеристикалари.	92
М.В. Мелиқўзиёв. Шаҳар электр тармоқларида микропроцессорли ҳимоя ва автоматикани жорий этиш истиқболлари.	100
Т.К. Жабборов, И.К. Исмоилов. Ўзбекистон энергетика тизимининг Фарғона қисмидаги қорхоналарда куч трансформаторларининг ишончлилиқ тадқиқоти ва муаммолари.	106
А.А. Пулатов, О.А. Обидов, Ж.Б. Бекмуродов, Н.З. Махмудов, И. Дўсмаматов. «Litdormash» МЧЖ заводида индукцион агрегатини автоматик бошқариш тизимининг самарадорлигини ошириш.	111
Э.Г. Усманов, Б.М. Хусанов. 6-10/0.4 кВ кучланишли трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентини автоматик ўзгартириш қурилмаси.	115
Л.И. Коверникова. Электр тармоқларида гармоник режимларнинг айрим хусусиятлари.	119
Э.Х. Абдураимов. Электр таъминоти тизимларининг режимлари ва сифатини бошқариш учун контакtsiz қурилмаларни қўллаш.	126
Г.Н. Мустафақулова, М.Х. Таниев, Э.П. Аскарров. Статор чулғамининг индуктивлик сочилишини энергетик усул билан таҳлил қилиш.	132
А.М. Сафаров, Д.Ш. Рустамов. Тортувчи электр таъминоти тизимида замонавий ток ўзгартиргичларнинг қиёсий таҳлили ва ривожланиш келажаги.	137
ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
Р.М. Юсупалиев, Н.М. Курбанова, И.Ч. Каримов. Иссиқлик энергетикасида сув тозалаш жарёнида иқтисодий тежамкор усулларни қўллаш.	146
Б.Х. Юнусов, Н.А. Юнусова, Х.Ж. Гофуров. Иссиқлик узатиш юзаларида чўқинди қатламларнинг ҳосил бўлиш сабаблари.	151
К.С. Шамсиев, Р.Ч. Каримов. Пахта целлюлозасига уюрмалли куриштириш технологиясида технологик ишлов бериш.	154

А.И. Анарбаев, М.А. Короли, А. Бабобекков. Биноларнинг иссиқлик изоляция элементларининг ҳарорат режимларини тадқиқ қилиш.	161
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
Mert Bekir ATSEVER, Mehmet Hakan HOCAOĞLU. Kablo yoğun radyal dağıtım şebekelerinde kapasitif akım temelli hatalı açmaların incelenmesi.	167
М. Бобожанов, П. Шегнер, В.Хофманн. Шамол турбиналари учун кутблар сони ўзгарувчан асинхрон генератор.	178
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Тарқатувчи тармоқларда электр энергиясининг техник исрофларини тезкор ҳисоблаш.	184
К.Ш. Кадилов, А.П. Кушев. Электр энергия истеъмолида тарифларни тўғри танлаш ҳисобига электр энергетика тизими юкларнинг графигини ростлаш.	190
А.Н. Расулов. Конденсатор батареяларини бошқариш ва ростлаш.	195
Х.Б. Сапаев, Ш.Б. Умаров. Кесувчи вентилли уч фазали параллел инверторини лойиҳалаш учун математик моделини тузишнинг самарали усули.	198
Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Туйчиев, А.Л. Хакбердиев. Шахта ўзиюрар вагонлари электр юритмаси учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш.	204
Р.К. Дусматов, А.А. Нигмонов, Г.В. Султонова. Насос қурилмаларида частота-вий ростланадиган асинхрон моторнинг иссиқлик ҳолатларини ҳисоблаш ва таҳлили.	214
Э.Г. Усманов, Б.М. Хусанов. 0,4 кВ кучланишли қишлоқ тармоқларида электр энергияси сифатини яхшилаш.	219
И.Х. Холиддинов, З.З. Туйчиев. Носимметрик режимларида трансформаторларни энергия самарадорлигини ошириш.	224
М.А. Короли. Республика иссиқлик манбаларида энергияни тежаш тадбирларини баҳолаш ва замонавий технологияларни жорий этиш.	229
И.Х. Холиддинов, М.М. Холиддинова, А.А. Хошимов. "Malika-01" қурилмаси ёрдамида электр таъминоти тизимининг элементларида қўшимча электр исрофларини баҳолаш.	238
М.К. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Туйчиев. Вентилятор юритмасидаги асинхрон машиналар учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам.	244
Ю.М. Бобожонов, Б.Т. Сейтмуратов, А.Н. Султанов. Электромеханик тебранишларнинг табиий демпфери ва актив қувватнинг ишончли манбаи сифатида қисқа туташган мисли тўрлари бўлган массив роторли асинхрон турбогенератор.	253
Н.Н. Курбонов. Энергетикада қўлланиладиган дастурий таъминотлар.	261
МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
О.С. Попель, Н.Р. Авезова, А.Б. Тарасенко. Водород энергетикасини ривожлантириш тенденциялари ва истикболли йўналишлари.	270
Н.Ф. Зикриллаев, Э.Б. Саитов, О.Б. Курбонбоев, Д.Ш. Курбонов. Si "Ge" микрогетеро-ўтишли наноструктуравий фотоэлементлар технологиясини аниқлаш.	280
Ж.Б. Тошов, Э.Б. Саитов, Ш. Тохиржанов, Ф. Отақулов. Шахсий фойдаланиш учун портатив автоном қуёш электр станцияси.	285
И.Р. Жураев, И.А. Юлдошев, З.И. Жураева. Фотоэлектрик модулларнинг электрофизик параметрларини қиёсий таҳлил қилиш.	293
К.Т. Тергемес, А.Н. Султанов, А.Ж. Сагындиқова. Қайта тикланувчи энергия манбалари таълим дастури ҳақида.	305
Д.И. Абдунабиев, Г.Р. Рафиқова. Қуёш энергиясидан фойдаланишнинг иқтисодий ва экологик самарадорлиги (уй хўжалиги мисолида).	309

Э.Ю. Рахимов, Н. Далмурадова, М.А. Куралов. Кўп қаватли биоларнинг электр таъминоти тизимларида фотоэлектрик станциялардан самарали фойдаланишни баҳолаш.	318
С.К. Шеръязов, Р.Ф. Юнусов, Ш.Б. Юсупов, А.Х. Доскенов. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиб, насос станциялари паст қувватли истеъмолчиларининг компелкс энергия таъминоти.	323
И.А. Юлдошев, М. Саиткамоллов, С. Шогучкаров, М. Муслимова, З. Усканова, А. Кузибоев. Фотоэлектрик иссиқлик батарея асосидаги куёший когенерацион курилмани техник-иктисодий баҳолаш.	330
НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ	
С. Холиқов, У. Боқижонов, М. Имомова. “Ангрен” очик кўмир конидаги тасмали конвейерлари электр юритмаларини такоммиллаштириш.	337
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А.А. Таубалдиев. Ўзбекистон республикаси газни узатиш тизимида детандер – генератор курилмасини жорий этишнинг иктисодий самарадорлиги	340
К.А. Махмудов, Ш. Жуманазаров, Ш. Максудов. Ёқилғи-энергетика ресурсларига бўлган иктисодий инновацион ривожланишда корпорациялар фаолиятининг жаҳон тажрибаси	345
ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ	
Р.А. Захидов, А.Б. Мамаджанов. Қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари учун гравитацион гирдобли микрогидроэлектростанцияни жорий этиш-истикболли муқобил энергия манбаси сифатида.	351
Н.Р. Авезова, К.А. Самиев. Ўзбекистон иқлим шароити учун кўп мезонли оптималлаштириш усулидан фойдаланган ҳолда вентиляцияланмайдиган тромб девори параметрларининг рационал қийматларини танлаш.	358
Кюбоск Ли, Т.Х. Хакимов. Кореяда углерод нейтралли жойлари учун ва Н ₂ иктисодиёти стратегиялари.	365
Н.Б. Пирматов, Ш.И. Дунгбоев. Кичик гидроэнергетика ва шамол электр станцияларида икки ўкли-кўзгалишли синхрон генераторини қўллаш.	368
И.Н. Баянов, Р.Ч. Каримов, Ж.М. Сапарбоев. Алоқа тармоғини лойиҳалашда иқлим омилларини кўриб чиқиш.	372
А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев. Электрофизик усуллардан фойдаланиб узум қаламчасида илдиз ҳосил бўлишини тезлаштириш ва тутувчанлигини ошириш.	376
Ш.С. Санаев. Саноат корхоналарида ихчам ва замонавий сув совутиш тизимини жорий этиш.	383
И.А. Абдуллабеков, Р.К. Дусматов, А. Боқижонов. «Рамадан» насос станциясининг сув кўтариш агрегатларининг энергиясамарадорлигини бошқариш тизимини ишлаб чиқиш.	389
С. Халиқов, У. Боқижонов, Н. Икрамов, А. Нигманов. Ўзбекистон республикасидаги машинали суғориш тизимини насос станциялардаги насос агрегатларнинг электр юритма-ларнинг энергия самарадорлигини ошириш.	396
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
А.А. Капанский, М.О. Узбеков, Б.Б. Бойназаров, А. Кодиров, М. Кобиллов. Электр энергияси истеъмолини бошқаришини рағбатлантириш механизми сифатида электр энергияси учун тўловларни тарифлаш тизими.	400

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И
УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»
АССОЦИАЦИЯ «ПРЕДПРИЯТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ»

ISSN (print) 2091-5985
ISSN (online) 2181-1946

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2021 г. ————— СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

ТАШКЕНТ - 2021

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академик А.У.Салимов (председатель), акад. Р.А.Захидов (заместитель председателя), акад. Т.Х.Насиров, акад. Н.Р.Юсупбеков, д.т.н., проф. Дж.Н.Мухиддинов, д.т.н., проф. С.М.Турабджанов, д.т.н., проф. Ж.Б.Тошов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: акад. Аллаев К.Р.
Заместитель главного редактора: проф. Ситдииков Р.А.
Ученый секретарь: доц. Рахмонов И.У.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

д.т.н., проф. Гайибов Т.Ш. чл.корр. АН РФ Воропай Н.И. (Россия)
д.т.н., проф. Таслимов А.Д. д.т.н., проф. Мисриханов М.Ш. (Россия)
д.т.н., проф. Бобожанов М.К. акад. НАН Украины Верлань А.Ф. (Украина)
д.т.н., проф. Ибадуллаев М.И. проф. Christian Kreisler (Германия)

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

д.т.н., проф. Бобохаджаев Р.П. акад. НАН РК Алияров Б.К. (Казахстан)
д.т.н., проф. Ё.С. Аббосов акад. НАН РК Кешуов С.А. (Казахстан)
д.т.н., проф. Садыков И.И. д.т.н., проф. Абдимуратов Ж.С. (Казахстан)
PhD, доц. Абдумаликов Ш.Ш. академик НАН РБ Мехалевич А.А. (Белорусия)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

д.т.н., проф. Хошимов Ф.А. Чемборисова Н.Ш. (Россия)
д.т.н., проф. Ишназаров О.Х. Новиков Н.Л. (Россия)
д.т.н., проф. Пирматов Н.Б. проф. Ekkehard Volte (Германия)
д.т.н., проф. Муратов Х.М. проф. Wilfrid Hofmann (Германия)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

д.т.н., проф. Узакон Г.Н. PhD, проф. Kyubock Lee (Южная Корея)
д.т.н., проф. Авезова Н.Р. д.т.н., проф. Титова Ж.О. (Россия)
д.т.н., проф. Мирзабаев А.М. PhD, проф. Rhee Young Woo (Южная Корея)
д.т.н., доц. Юлдашев И.А. проф. Peter Schegner (Германия)

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

д.т.н., проф. Махмудов Н.С. д.т.н., проф. Максименко А.Ф. (Россия)
д.т.н., проф. Назаров У.С. д.т.н., проф. Жагфаров Ф.Г. (Россия)
д.т.н., проф. Умаров Ф.Я. д.т.н., проф. Кантаржи И.Г. (Россия)
к.т.н., доц. Халисмаев И.Х. PhD, доц. Кулиев А.С. (Россия)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

д.т.н., проф. Мухаммадиев М.М. PhD, проф. Lee Young-Seak (Южная Корея)
д.т.н., проф. Махмудов Э.Ж. д.т.н., проф. Ахметбаев Д.С. (Казахстан)
д.т.н., проф. Гловацкий О.Я. д.т.н., проф. Хохлов В.А. (Россия)
д.т.н., проф. Уришев Б.У. PhD, проф. Namgee Jung (Южная Корея)

Адрес редакции: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, ТашГУ, корпус ЭФ, ком. № 220. Тел. +99871-246-08-04; E-mail: tstu_energy@list.ru

Журнал зарегистрирован в Управлении печати и информации г. Ташкента 12. 01. 2007 года, регистрационное свидетельство № 02-0044, ISSN 2091-5985 (print), ISSN (online) 2181-1946.

СОДЕРЖАНИЕ

И.У. Рахмонов. Кафедра “Электроснабжение”: вчера, сегодня, завтра	17
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
К.Р. Аллаев. Энергоэффективность – главный показатель успешности производства и потребления энергоресурсов.	28
Н.Д. Рогалев, В.В. Молодюк, П.С. Прокофьев. Общие проблемы цифровизации электроэнергетики России	45
Т.Ш. Гайилов, Б.А. Узаков. Оптимизация режимов энергосистем с учетом сетевых факторов.	50
А.Ж. Есенбеков, М. Ибадуллаев, А.К. Нуралиев. Разработка математической модели электромеханических систем.	57
А.Д. Гаслимов. Исследование равнооптимальной области изменения параметров городских распределительных электрических сетей 0,38 кВ.	70
А.И. Каршибаев, Ф.Н. Рахмонов, Ф.М. Рахимов. Проблемы обледенения линий электропередач высокого напряжений.	76
Ш.В. Хамидов, Б.Р. Нормуратов. Математическая модель потока мощности в одно-фазной сети с применением устройств FACTS, содержащей объединенный регулятор потока мощности UPFC.	81
М.Б. Худаяров, Н.Н. Нормаматов, Т.А. Икрамов. Использование искусственной нейронной сети для расчета стабильного состояния электроэнергетической системы.	87
Х.А. Саттаров. Статические характеристики первичных преобразователей тока специфических нагрузок.	92
М.В. Меликузиев. Перспективы внедрения микропроцессорной защиты и автоматизации в городских электрических сетях.	100
Т.К. Жабборов, И.К. Исmoilов. Исследования и проблемы надежности работы силовых трансформаторов на предприятиях Ферганской части энергосистемы Узбекистана.	106
А.А. Пулатов, О.А. Обидов, Ж.Б. Бекмуродов, Н.З. Махмудов, И. Дусмаматов. Повышение эффективности системы автоматического управления индукционного агрегата на заводе ООО «Litdormash».	111
Э.Г. Усманов, Б.М. Хусанов. Устройство для автоматического изменения коэффициента трансформации у трансформаторов 6-10/0,4 кВ.	115
Л.И. Коверникова. Некоторые особенности режимов гармоник в электрических сетях.	119
Э.Х. Абдураимов. Применение бесконтактных устройств для управления режимами и качеством систем электроснабжения.	126
Г.Н. Мустафакулова, М.Х. Таниев, Э.П. Аскарлов. Анализ рассеяния индуктивностей обмотки статора энергетическим методом.	132
А.М. Сафаров, Д.Ш. Рустамов. Сравнительный анализ и перспективы развития современных преобразователей тока в системе гравирового электроснабжения. . . .	137
ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	
Р.М. Юсупалиев, Н.М. Курбанова, И.Ч. Каримов. Применение экономических методов экономии тепловой энергии в процессе очистки воды.	146
Б.Х. Юнусов, Н.А. Юнусова, Х.Ж. Гофуров. Причины образования накипи на теплопередающих поверхностях.	151

К.С. Шамсиев, Р.Ч. Каримов. Технологическая обработка хлопковой целлюлозы в вихревых сушильных установках.	154
А.И. Анарбаев, М.А. Короли, А. Бабобеков. Исследование температурных режимов теплоизолирующих элементов зданий.	161
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	
Мерт Бекир, Мехмет Хакан Хожа оглу. Исследование ложных срабатываний защиты из-за емкостного тока в радиальных распределительных сетях.	167
М. Бобожанов, П. Шегнер, В.Хофманн. Асинхронный полюсопереключаемый генератор для ветровых турбин.	178
М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров. Оперативный расчёт технических потерь электроэнергии в распределительных сетях.	184
К. Кадилов, А. Кушев. Настройка графика системы нагрузок электрической энергии за счет правильного выбора тарифа при употреблении электрической энергии.	190
А.Н. Расулов. Управление и регулирование батарей конденсаторов.	195
Х.Б. Сапаев, Ш.Б. Умаров. Эффективный способ математического моделирования для проектирования трехфазного параллельного инвертора с отсекающими вентилями.	198
Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Туйчиев, А.Л. Хакбердиев. Разработка полюсопереключаемых обмоток для электродвигателей на приводе шахтного самоходного вагона.	204
Р.К. Дусматов, А.А. Нигмонов, Г.В. Султонова. Расчет и анализ теплового состояния частотно-регулируемого асинхронного двигателя насосного агрегата.	214
Э.Г. Усманов, Б. Хусанов. Улучшение качества электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ.	219
И. Холиддинов, З. Туйчиев. Повышение энергоэффективности трансформаторов в несимметричных режимах.	224
М.А. Короли. Оценка мероприятий по энергосбережению и внедрению современных технологий на теплоисточниках республики.	229
И.Х. Холиддинов, М.М. Холиддинова, А.А. Хошимов. Оценка дополнительных потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения с помощью прибора «Malika-01».	238
М. Бобожанов, Д. Рисмухамедов, Ф. Туйчиев. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка для асинхронных машин на приводе вентиляторов.	244
Ю.М. Бобожонов, Б.Т. Сейтмуратов, А.Н. Султанов. Асинхронный турбогенератор с массивным ротором с короткозамкнутыми медными клетками как естественный демпфер электромеханических колебаний и надёжный источник активной мощности.	253
Н.Н. Курбонов. Программное обеспечение, используемое в энергетике.	261
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
О.С. Попель, Н.Р. Авезова, А.Б. Тарасенко. Тенденции и перспективные направления развития водородной энергетики.	270
Н.Ф. Зикриллаев, Э.Б. Саитов, О.Б. Курбонбоев, Д.Ш. Курбонов. Технология получения наноструктурных фотоэлементов с микрогетерутиками в Si «Ge».	280
Ж.Б. Тошов, Э.Б. Саитов, Ш. Тохиржанов, Ф. Отакулов. Переносная автономная солнечная электростанция индивидуального использования.	285
И.Р. Жураев, И.А. Юлдошев, З.И. Жураева. Сравнительный анализ электрофизических параметров фотоэлектрических модулей.	293

К.Т. Тергемес, А.Н. Султанов, А.Ж. Сагындикова. Об образовательной программе по возобновляемым источникам энергии.	305
Д.И. Абдунабиев, Г.Р. Рафикова. Экономическая и экологическая эффективность использования солнечной энергии (на примере бытового хозяйства).	309
Э. Рахимов, Н. Далмурадова, М. Куралов. Оценка эффективного применения фотоэлектрических станций в системах электроснабжения много-этажных домов. . .	318
С.К. Шеръязов, Р.Ф. Юнусов, Ш.Б. Юсупов, А.Х. Доскенов. Комплексное энергоснабжение с использованием возобновляемых источников энергии маломощных потребителей насосных станций.	323
И.А. Юлдошев, М. Саиткамоллов, С. Шогучкаров, М. Муслимова, З. Усканова, А. Кузубоев. Техничко-экономическая оценка солнечной когенерационной установки на основе фотоэлектрической тепловой батареи.	330
НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ	
С. Холиков, У. Бокижонов, М. Имомова. Усовершенствование электроприводов ленточных конвейеров угольного карьера “Ангрен”.	337
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А. Таубалдиев. Экономический эффект от внедрения детандер-генераторного агрегата в газотранспортную систему республики Узбекистан.	340
К.А. Махмудов, Ш. Жуманазаров, Ш. Максудов. Мировой опыт корпоративной деятельности в экономических инновациях развитие топливных и энергетических ресурсов.	345
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ	
Р.А. Захидов, А.Б. Мамаджанов. Внедрение гравитационной виртуальной микрогидроэлектрической станции для сельскохозяйственных потребителей является частным источником энергии.	351
Н.Р. Авезова, К.А. Самиев. Выбор рациональных значений параметров невентилируемой стены трюма с помощью метода многокритериальной оптимизации для климатических условий Узбекистана.	358
Кюбоск Ли, Т.Х. Хакимов. Стратегии в области углеродной нейтральности и экономики H ₂ в Корее	365
Н.Б. Пирматов, Ш.И. Дунгбоев. Применение синхронного генератора двухосного возбуждения в малой гидроэнергетике и ветроэнергетических станциях.	368
И.Н. Баянов, Р.Ч. Каримов, Ж.М. Сапарбоев. Учет климатических факторов при проектировании контактной сети.	372
А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев. Ускорение роста корней и повышение ответственности в виноградной отрасли с помощью электрофизических методов.	376
Ш.С. Санаев. Внедрение компактной и современной системы водяного охлаждения на промышленных предприятиях.	383
И.А. Абдуллабеков, Р. Дусматов, А. Бокижонов. Разработка энергоэффективной системы управления водоподъемными агрегатами насосной станции «Рамадан» . . .	389
С. Халиков, У. Бакиджанов, Н. Икрамов, А. Нигманов. Повышение энергоэффективности электроприводов насосных агрегатов насосных станций в системе машинного орошения республики Узбекистан	396
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
А.А. Капанский, М.О. Узбеков, Б.Б. Бойназаров, А. Кодиров, М. Кобилов. Тарифная система оплаты за электроэнергию как механизм стимулирования управления электропотреблением.	400

**MINISTRY OF ENERGY OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
THE MINISTRY OF HIGHER AND MIDDLE EDUCATION OF
UZBEKISTAN**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
SAVING ENERGY AND RESOURCES SCIENTIFIC-PRACTICAL AND
EDUCATIONAL CENTER**

**THE SCIENTIFIC RESEARCH LABORATORY OF "ENERGY SAVINGS
AND RENEWABLE SOURCES OF ENERGY"**

**ASSOCIATION OF ALTERNATIVE FUEL AND ENERGY
ENTERPRISES**

*ISSN (print) 2091-5985
ISSN (online) 2181-1946*

PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING

**The magazine founded
in 2002**

**Printed 4 times
a year**

2021 y. ————— SPECIAL ISSUE

TASHKENT - 2021

EDITORIAL COUNCIL

Academician A.U. Salimov (chairman), acad. R.A. Zakhidov (deputy chairman), acad. T.Kh. Nasirov, acad. N.R. Yusupbekov, DScTech, prof. J.N. Mukhiddinov, DScTech, prof. S.M. Turabdzhanov, DScTech, prof. Zh.B.Toshov

EDITORIAL TEAM

Chief Editor: acad. Allaev K.R.
Deputy Chief: prof. Sitdikov R.A.
Scientific Secretary Editor: docent. Rakhmonov I.U.

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

DSc, prof. Gayibov T.Sh. Corr. member AcSc RF Voropay N.I. (Russia)
DSc, prof. Taslimov A.D. DSc, prof. Misrikhanov M.Sh. (Russia)
DSc, prof. Bobozhanov M.K. NASc RU Verlan A.F. (Ukraine)
DSc, prof. Ibadullaev M.I. prof. Christian Kreischer (Germany)

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

DSc, prof. Bobokhadzhaev R.P. acad. NASc RK Aliyarov B.K. (Kazakhstan)
DSc, prof. Abbosov Y.S. acad. NASc RK Keshuov S.A. (Kazakhstan)
DSc, prof. Sadykov I.I. DSc, prof. Abdimuratov Zh.S. (Kazakhstan)
PhD, dots. Abdumalikov Sh.Sh. acad. NAS RB A.A. Mekhelevich (Belarus)

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

DSc, prof. F.A. Khoshimov DSc, prof. Chemborisova N.Sh. (Russia)
DSc, prof. Ishnazarov O.X. DSc, prof. Novikov N.L. (Russia)
DSc, prof. Pirmatov N.B. prof. Ekkehard Bolte (Germany)
DSc, prof. Muratov Kh.M. Prof. Wilfrid Hofmann (Germany)

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

DSc, prof. Uzakov G.N. PhD, prof. Kyubock Lee (South Korea)
DSc, prof. Avezova N.R. DSc, prof. Titova Zh.O. (Russia)
DSc, prof. Mirzabaev A.M. PhD, prof. Rhee Young Woo (South Korea)
DSc, dots. Yuldashev I.A. prof. Peter Schegner (Germany)

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

DSc, prof. Makhmudov N.S. DSc, prof. Maksimenko A.F. (Russia)
DSc, prof. Nazarov U.S. DSc, prof. Zhagfarov F.G. (Russia)
DSc, prof. Umarov F.Ya. DSc, prof. Kantarzhi I.G. (Russia)
Ph.D., Assoc. Khalismatov I.Kh. PhD, Assoc. Kuliev A.S. (Russia)

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY

DSc, prof. Mukhammadiev M.M. PhD, prof. Lee Young-Seak (South Korea)
DSc, prof. Makhmudov E. Zh. DSc, prof. Akhmetbaev D.S. (Kazakhstan)
DSc, prof. Glovatsky O. Ya. DSc, prof. Khokhlov V.A. (Russia)
DSc, prof. Urishev B.U. PhD, prof. Namgee Jung (South Korea)

The address of edition: 100095, Tashkent, University str., 2, TSTU, EF building, room 220.
Telephone: +99871-246-08-04; E-mail : tstu_energy@list.ru

The journal is registered in the Printing and Information Management of Tashkent, the registration certificate № 02-0044 on 2007.01.12, ISSN 2091-5985 (print) ISSN (online) 2181-1946.

CONTENTS

I.U. Rakhmonov. Power supply department: yesterday, today, tomorrow.	17
ELECTRIC POWER	
K.R. Allaev. Energy efficiency is the main indicator of the production and consumption of energy resources.	28
N.D. Rogalev, V.V. Molodyuk, P.S. Prokofiev. General problems of digitalization of power industry in Russia.	45
T.Sh. Gayibov, B.A. Uzakov. Optimization of power systems modes taking into account the network factors.	50
A.Zh. Esenbekov, M. Ibadullaev, A.K. Nuraliev. Development of a mathematical model of electromechanical systems.	57
A.D. Taslimov. Research of equally optimal region of change of parameters of urban distribution electric networks 0.38 kV.	70
A.I. Karshibaev, F.N. Rakhmonov, F.M. Rakhimov. High voltage power line ice problems.	76
Sh.V. Khamidov, B.R. Normuratov. Mathematical model of power flow in a single-phase network using FACTS devices containing united power flow regulator UPFC.	81
M.B. Khudayarov, N.N. Normamatov, T.A. Ikramov. Use of an artificial neural network for calculation of the stable state of the electric power system.	87
X.A. Sattarov. Static characteristics of primary current converters of specific loads.	92
M.V. Melikuziev. The prospects of the introduction of microprocessor protection and automation in city electric networks.	100
T.K. Zhabborov, I.K. Ismoilov. Research and problems of reliability of operation of power transformers at the enterprises of Fergana part of the power system of Uzbekistan.	106
A.A. Pulatov, O.A. Obidov, Zh. Bekmurodov, N.Z. Makhmudov, I. Dusmamatov. Increasing the efficiency of the induction unit automatic control system at the «Litdormash» LLC plant.	111
E.G. Usmanov, B.M. Khusanov. Device for automatic change of the transformation coefficient for transformers 6-10/0.4 kV.	115
L.I. Kovernikov. Some features of harmonic modes in electric networks.	119
E.Kh. Abduraimov. Application of contactless devices for control of modes and quality of power supply systems.	126
G.N. Mustafakulova, M.Kh. Taniev, E.P. Askarov. Analysis of scattering of inductances of the stator winding by the energy method.	132
A.M. Safarov, D. Rustamov. Comparative analysis and prospects for the development of modern current converters in the gravel power supply system.	137
HEAT AND NUCLEAR ENERGY	
R.M. Yusupaliev, N.M. Kurbanova, I.Ch. Karimov. Application of economic methods of economy of thermal energy in the process of water purification.	146
B.Kh. Yunusov, N.A. Yunusov, H.Zh. Gofurov. Reasons for descaling on heat-transfer surfaces.	151
K.S. Shamsiev, R.Ch. Karimov. Technological processing of cotton cellulose in vortex drying plants.	154
A.I. Anarbayev, M.A. Koroli, A. Bobobekov. Research of temperature regimes of thermal insulating elements of buildings.	161

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

Mert Bekir ATSEVER, Mehmet Hakan HOCAOĞLU. Investigation of capacitive current based false trips in radial distribution networks.	167
M. Bobojanov, P. Schegner, W. Hoffmann. Pole changing asynchrongenerator for wind-turbines.	178
M.B. Xudayarov, B.S. Bobonazarov. Operational calculation of technical losses of electric power in distribution networks.	184
K.Sh. Kadirov, A.P. Kushev. Setting the schedule of the system of loads of electrical energy due to the correct choice of the tariff when using electrical energy.	190
A.N. Расулов. Control and regulation of capacitor batteries.	195
H.B. Sapaev, Sh.B. Umarov. Effective method of mathematical simulation for designing three-phase parallel inverter with shut-off valves.	198
D.A. Rismuhamedov, F.N. Tuychiev, A.L. Xakberdiev. Development of poloswitched windings for electric motors on the drive of a self-propelled mining car.	204
R.K. Dusmatov, A.A. Nigmonov, G.B. Sultonova. Calculation and analysis of thermal state of a frequency controlled asynchronous motor of a pump unit.	214
E.G. Usmanov, B.M. Khusanov. Improving the quality of electric power in rural networks of 0.4 kV.	219
I.X. Xoliddinov, Z.Z. Tuychiyev. Improving the energy efficiency of transformers in single-ended modes.	224
M.A. Koroli. Evaluation of measures for energy saving and implementation of modern technologies at heat sources of the republic.	229
I.Kh. Kholiddinova, M. Kholiddinova, A. Khoshimov. Assessment of additional losses of electric power in the elements of power supply systems using the device "Malika-01".	238
M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov, F.N. Tuychiev. Three-phase pole-switched winding for asynchronous machines on the drive of fans.	244
Yu.M. Bobozhonov, B.T. Seitmuratov, A.N. Sultanov. Asynchronous turbogenerator with massive rotor with short-circuited copper cells as a natural damper of electromechanical vibrations and a reliable source of active power.	253
N.N. Kurbonov. Software used in the energy sector.	261
ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	
O.S. Popel, N.R. Avezova, A.B. Tarasenko. Trends and prospective directions of development of hydrogen power engineering.	270
N.F. Zikrillaev, E.B. Saitov, O.B. Kurbonboyev, D.Sh. Kurbonov. Technology of obtaining nanostructural photocells with microheterotics in Si "Ge".	280
J.B. Toshov, E.B. Saitov, Sh. Tokhirzhanov, F. Otakulov. Portable autonomous solar power plant for individual use.	285
I.R. Zhuraev, I.A. Yuldoshev, Z.I. Zhuraeva. Comparative analysis of electrophysical parameters of photovoltaic modules.	293
K.T. Tergemes, A.N. Sultanov, A. Sagyndikova. About renewable energy educational program.	305
D.I. Abdunabiev, G.R. Rafikova. Economic and environmental efficiency of the use of solar energy (on the example of household economy).	309
E.Yu. Rakhimov, N.N. Dalmuradova, M. Kuralov. Evaluation of effective application of photoelectric stations in power supply systems of multi-storey buildings.	318
S.K. Sheryazov, R.F. Yunusov, Sh.B. Yusupov, A.X. Doskenov. Integrated power supply using renewable energy sources for low-powered users of pumping stations.	323

I.A. Yuldoshev, M.S. Saitkamolov, S. Shoguchkarov, M. Muslimova, Z. Uskanova, A. Kuziboiev. Technical and economic evaluation of a solar cogeneration plant based on a photoelectric heat battery.	330
--	-----

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

S. Xaliqov, U. Baqijanav, M. Imamava. Development of power management of belt conveyors in the open coal field "Angren".	337
A.A. Mukolyans, A.D. Taslimov, A. Taubaldiev. Economic effect from implementation of a detander generator unit in the gas transportation system of the republic of Uzbekistan.	340
K.A. Makhmudov, Sh.Sh. Zhumanazarov, Sh.Kh. Maksudov. World experience of corporate activities in economic innovations development of fuel and energy resources. ...	345

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY

R.A. Zakhidov, A.B. Mamajanov. The implementation of a gravitational virtual microhydroelectric station for agricultural consumers is a private source of energy.	351
N.R. Avezova, K.A. Samiev. The choice of rational values of the parameters of the unventilated trombe wall using the method of multicriteria optimization for the climatic conditions of Uzbekistan.	358
Kyubock Lee, T.X. Xakimov. Strategies for carbon neutrality and H ₂ economy in Korea.	365
N.B. Pirmatov, Sh. I. Dungboyev. Application of a synchronous generator of two-axial excitation in little hydropower and water power plants.	368
I.N. Bayanov, R.Ch. Karimov, J.M. Sapparboev. Consideration of climatic factors when designing a contact network.	372
A.S. Berdishev, N.M. Markaev. Accelerating root growth and increasing responsibility in the grape industry using electrophysical methods.	376
Sh.S. Sanaev. Implementation of a compact and modern water cooling system at industrial enterprises.	383
I.A. Abdullabekov, R.K. Dusmatov, A.A. Bokizhonov. Development of energy efficient control system for water lifting units of pumping station "Ramadan".	389
S. Xaliqov, U. Baqijanav, N. Igromov, A.Nig'monov. Increasing the energy efficiency of electric circuits of pumping units of machine irrigation system in the republic of Uzbekistan.	396

SCIENTIFIC REPORTS

A.A. Kapansky, M.O. Uzbekov, B.B. Boynazarov, A. Kodirov, M. Kobilov. Tariff payment system for electricity as a mechanism for stimulating electric consumption management.	400
---	-----

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

И.У. Рахмонов

Кафедра «Электроснабжение» Ташкентского государственного технического университета является в республике головной кафедрой в этом направлении, и с момента ее создания эту кафедру окончили более десяти тысяч молодых специалистов. Кафедра способствует эффективной организации учебного процесса в области электроснабжения и магистратуры в смежных вузах, обеспечивая их необходимой нормативной документацией. В этом году широко отмечается 50-летие кафедры. В связи с этой датой 25-26 ноября 2021 года в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 2 марта 2021 года №78-Ф состоится международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы системы электроснабжения». Ниже приводится подробное описание деятельности кафедры за прошедший период и планы на будущее.

Кафедра «Электроснабжение» организована в 1971 году под руководством профессора Кадырова Туйгун Мажидовича и в организации кафедры принимали активное участие ведущие ученые: К.С.Ахмедов, Х.Ф.Фозилов, Т.М.Қодиров, М.Л.Аронов, И.Н.Оранский, Х.М.Асимов. В настоящее время кафедра является головной кафедрой республики в этой отрасли.

В 1971-1985 годах кафедру возглавлял проф. Т.М. Кодиров, в 1985 г. доцент. М.Х.Джалилов, в 1985-2006 г.г. проф. Х.Г.Каримов, в 2006-2018 г.г. проф. А.Д.Таслимов. С 1 декабря 2018 года по настоящее время заведующей кафедрой является доцент Рахмонов И.У.



Кодиров Т.М.



*Профессорско-преподавательский состав
кафедры в 1975 году*



*Профессорско-преподавательский состав
кафедры в 1984 году*

В первые годы организации кафедры начали свою деятельность Н.А. Барсова, И.А.Хазанович, А.Г.Саидходжаев, А.Н.Расулов, Х.Алимов, Э.Усманов, Т.Х.Хакимов, Э.Т.Тешабаев, С.Т.Мирзаакбаров, М.Рустамов, А.М.Камалов, Н.Пардабоева. В начале 80-х годов на кафедре начали свою деятельность Х.У.Тахиров, М.Х. Джалилов, И.Х. Сиддигов, А.Д. Таслимов, Г.Р.Рафикова,

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

А.Заверячев, Х.Г.Каримов, М.К. Бобожанов, Ю.А. Тупогуз, А.А.Азизов, И.В. Кадирова, М.Усманов, У.Хикматов, в начале 90-х годов Т.С.Мамарасулова, Н.Н.Курбанов, В.Норкин, Д.А.Рисмухамедов, в начале 2000-х годов Р.Ч.Каримов, Ж.М.Мавлонов, Ш.Шарипов, а с 2010 г. на кафедру пришли молодые преподаватели для ведения научно-педагогической деятельности. В частности, Ф.Н.Туйчиев, И.У.Рахмонов, М.Р.Рузиназаров, И.И.Бахадиров, М.Мелиқўзиев, Н.Н.Ниёзов, Д.Жалилова, С.К.Махмутхонов, Б.Хусанов, Н.Курбонов, А.Султонов.



Саïдходжаев А.Г. – профессор кафедры, «Почетный ветеран энергетики Узбекистана»

С момента организации кафедры под руководством заведующей кафедрой Т.Кадырова был проведен ряд работ по повышению научного потенциала, эффективной организации учебного процесса, укреплению материально-технической базы кафедры. В 1972 году на кафедре впервые подготовлены лабораторные стенды по предметам «Основы электроснабжения», «Электрическое освещение» и «Электрические сети и системы», которые эффективно использованы в учебном процессе.



Всесоюзная конференция по электроснабжению город Кишинев 1983 году



Обсуждение лабораторной работы с студентами группы 104-85 ЭГ



Обсуждение диссертационной работы Ю.А.Тупогуза



Студенты на практике на передовых предприятиях

В 1983 г. А.Г.Саïдходжаев (Санкт-Петербург), в 1984 г. А.Н. Расулов (Киев), в 1985 г. А.М. Камалов (Ташкент), Х.А.Алимов (Ташкент), в 1986г. И.А.Хазанович (Ташкент), в 1987г. А.Д. Таслимов (Москва), в 1982 г. М.Х.Джалилов (Ташкент), И.Х.Сиддиқов (Ташкент), в 1986 году, А.Азизов (Нижний Новгород), в 1988 году Ю.Тупогуз (Новочеркасск) успешно защитили диссертацию и способствовали развитию научного потенциала кафедры.

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Именно в этот период впервые были подготовлены и изданы учебники по предметам специальности электроснабжения. Профессора и преподаватели кафедры реализовали научно-исследовательские проекты по технологическим проблемам предприятий и их научные результаты внедрены в практику.

Начавший свою деятельность в 1985 году на должности заведующей кафедрой проф. Х.Г. Каримов особое внимание уделял улучшению материально-технической базы кафедры как одной из приоритетных задач. За это время были обновлены и усовершенствованы лабораторные стенды по всем преподаваемым дисциплинам специальности. В частности, в этот период созданы современные экспериментальные стенды по предметам «Электроснабжение», «Электроснабжение городов», «Компенсация реактивной мощности», «Электротехнологические установки», «Релейная защита и автоматика». Запущены экспериментальные стенды переменного тока по предмету «Электрические сети и системы», которые позволили изучить динамические процессы, происходящие в системе.



Каримов Х.Г.



*Обсуждение работы новых стендов по курсу
“Релейная защита”*



*Профессорско-преподавательский состав
кафедры в 1988 году*

Во время работы Х.Г. Каримова заведующей кафедрой открыта новая страница в развитии международных связей кафедры. В этот период, с 1997 по 2001 год, в рамках совместной программы TEMPUS-TACIS организовано сотрудничество Европейского Союза с Афинским технологическим институтом и Берлинским техническим университетом по теме «Организация курсов по энергоменеджменту в Узбекистане». В соответствии с программой проекта в Ташкентском государственном техническом университете организованы курсы повышения квалификации «Энергоменеджмент». В ходе реализации этих проектов с целью организации новых курсов и обмена опытом профессор Х.Г. Каримов и доцент И.Х. Сиддииков неоднократно посещали Грецию, Германию и Италию. Профессор кафедры М.К. Бободжанов прошел стажировку в 1997 году в Швейцарии, в 1998 году в Испании, в 2001 и 2005 году в Германии и в 2003 году в Турции.

С 1997-1998 учебного года организована группа одаренных студентов, обучающихся на кафедре, с английским языком обучения. При этом для этих студентов проводились занятия по предметам специальности на английском языке. Отраднo, что студенты кафедры, окончившие эти группы, сегодня осуществляют свою деятельность не только в нашей стране, но и в престижных организациях за рубежом. В этот период был проведен ряд практических работ

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

по повышению научного потенциала кафедры: в 1992 г. - Каримов Х.Г., в 1994 г. - Т.М. Кодиров, в 1994 г. - М.К. Бободжанов, в 1995 году - Т.Х. Хакимов и в 2002 г. Э.Усманов успешно защитили докторские и кандидатские диссертации.



*Профессорско-преподавательский состав
кафедры в 1983 году*



*Лабораторные работы по курсу
«Электроснабжение промышленных
предприятий»*



Заседание кафедры в 1992 году



*Обсуждение учебной нагрузки. С права:
Х.Г.Каримов, М.Х.Джалилов, Э.Г.Усманов*

Начавший свою деятельность в качестве заведующей кафедрой в 2006 году профессор А.Д.Таслимов., особое внимание уделял созданию учебников нового поколения по предметам специальности, преподаваемым на кафедре. В этот период для высших учебных заведений и средних специальных профессиональных колледжей впервые в истории кафедры созданы учебники латинской графикой на узбекском языке по предметам: «Электроснабжение промышленных предприятий», «Электрические сети и системы», «Релейная защита», «Основы электроснабжения», «Автоматизированные системы учета и контроля электроэнергии», «Электрическое освещение» и другие.



Таслимов А.Д.

Именно в этот период под руководством А.Д. Таслимова для направления бакалавриатуры и магистерских специальностей разработаны государственные образовательные стандарты, квалификационные требования, учебные планы,

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

учебные программы на основе новых требований, отражающие новые технологии обучения, основанные на лучшие мировые практики.



После защиты дипломных работ в 2006 году



*Профессорско-преподавательский состав
кафедры в 2002 году*

В 2010 году на кафедре с помощью Министерство Энергетики создана современная учебная лаборатория «Автоматизированные системы учета и контроля электроэнергии». Данная лаборатория создана как интегрированная модель автоматизированной системы учета и контроля электроэнергии во всех точках потребления от выработки электроэнергии до потребителя.



Учебная лаборатория «Автоматизированные системы учета и контроля электроэнергии»

В 2011-2012 годы под руководством профессора М.К.Бобожанова в рамках международного проекта ФТК-04/2011, финансируемого немецким фондом Volkswagen, на основе сотрудничества с учеными из Университета Гельмута Шмидта в Германии на кафедру привезены лабораторные установки, позволяющие объяснить принципы работы всех типов электрических машин и на этой основе на кафедре создана учебно-научная лаборатория «Энергосберегающие технологии в системе электроснабжения».



Участие проф. М.К.Бобожанова в международном семинаре „Emission Limits an Assessment of Disturbing Customer Installations“, CIGRE/CIREД working groups в 2019 году, Дрезден

«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ» СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.

В 2012 году под руководством доцента Т.Х. Хакимова создана учебная лаборатория «Монтаж и эксплуатация систем электроснабжения» и внедрено в учебный процесс. Создание лабораторных стендов позволило студентам повысить квалификацию при эксплуатации, испытании и монтаже элементов системы электроснабжения. В этот период на основе системы обучения DUAL был принят ряд практических мер по созданию на предприятиях филиалов кафедры для развития интеграции образования и производства. В частности, первый филиал кафедры создан на базе современной подстанции «Келес» («Национальные электрические сети Узбекистана»). Это, в свою очередь, заложило основу для практического закрепления теоретических знаний студентов.



*Филиал кафедры на подстанции «Келес»
в 2013 году*



*Занятие на филиале кафедры в подстанции
«Озодлик» в 2015 году*

Наряду со всеми направлениями работы особое внимание уделялось повышению научного потенциала кафедры. В частности, в 2007 году М.К. Бободжанов успешно защитил докторскую диссертацию, в 2006 г. - Д.А. Рисмухамедов, в 2018 г. - И.У. Рахмонов успешно защитили кандидатские диссертации. За это время возрос количество фундаментальных, инновационных и прикладных проектов, реализуемых кафедрой, и выполнены хозяйственные договора в кооперации с предприятиями. Результаты научных исследований профессоров и преподавателей кафедры были внедрены в отраслевых предприятиях Минэнерго и ведущих промышленных предприятиях нашей республики.

В 2001 и 2008 годах была организована двухнедельная ознакомительная поездка одаренных студентов кафедры на ведущие вузы Германии для ознакомления с организацией учебного процесса и исследовательской работы, участия в лекциях, общения со сверстниками и знакомства с деятельностью престижных предприятий. Студенты посетили Дармштадский технический университет, Университет Зигена, Берлинский технический университет, Университет Гельмута Шмидта, Штутгартский университет, Гамбургский технический университет, компании Siemens и Mercedes, а также BEWAG (Берлинские электрические сети) и ознакомились со их работой и получили сертификаты немецкого фонда DAAD.

С 2018 года по настоящее время заведует кафедрой доц. И.У. Рахмонов. С первых дней своей деятельности И.У. Рахмонов уделял особое внимание повышению качества образования, развитию международных связей, повышению эффективности и результативности научной деятельности. Сегодня научный потенциал кафедры составляет 56%. За последние три года А.Д.

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Таслимов защитил докторскую диссертацию, Р.Ч.Каримов, М.Меликузиев и Ф.Н.Туйчиев успешно защитили диссертации доктора философии. К концу 2021/2022 учебного года планируется защита докторских диссертаций А.Г.Саидходжаева и И.Рахмонова и доктора философии Н.Н.Ниёзова, И.И.Бахадирова, М.Р.Рузиназарова и увеличит научный потенциал до 72%.



Рахмонов И.У.



*Профессор УГАТУ Ураксеев М.А. читает лекции
для студентов и преподавателей в 2019 году*



*Академик НАН РК Кешиуров С.А. читает лекции
для студентов и преподавателей в 2019 году*

Особое внимание уделяется улучшению материально-технической базы предметов специальностей, преподаваемых на кафедре. В 2019 году за счет спонсорской помощи Ташкентских региональных электрических сетей учебная лаборатория «Электроснабжение» была полностью переоборудована и пополнилась новыми стендами. В то же время завершаются работы по созданию лаборатории по предмету «Электробезопасность» за счет спонсорской помощи АО «Национальные электрические сети Узбекистана». На основе меморандума о сотрудничестве между АО «Региональные электрические сети» и Ташкентским государственным техническим университетом на кафедре проводится практическая работа по совершенствованию учебной лаборатории «Автоматизированная система учета и контроля электроэнергии» и организации учебного полигона на территории энергетического факультета.

С первых дней своего существования кафедра эффективно взаимодействует с промышленными предприятиями, которые являются основными потребителями кадров. На кафедре курсовые и дипломные работы, кандидатские и докторские диссертации выполняются в рамках технологических проблем предприятий. Квалификационная практика студентов также проводится на базе этих предприятий. На сегодняшний день количество филиалов кафедры на предприятиях составляет 3, причем они созданы не только на базе промышленности, но и на базе института Энергетических проблем Академии наук республики Узбекистан, что в свою очередь позволяет независимым исследователям, докторантам и преподавателям более эффективно заниматься научными исследованиями.

«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ» СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.



Ректор С.М.Турабджанов на филиале кафедры подстанции "Келес" в 2019 году



Занятие на филиале кафедры подстанции "Келес" в 2020 году

В рамках международного сотрудничества проводится ряд мероприятий по подготовке кадров на основе совместных образовательных программ с престижными зарубежными высшими учебными заведениями. С 2019/2020 учебного года совместно с Московским энергетическим институтом на основе совместной образовательной программы «2 + 2» по направлению образования 5310200 - Электроэнергетика (электроснабжение) и на основе совместной образовательной программы «1+1» "5A310201 в сотрудничестве с Chungnam National University готовятся бакалавры и магистры в области электро-снабжения.



Проф. М. Бобожанов с руководством Дрезденского технического университета в 2019 году



Подписание меморандума о сотрудничестве между ТГТУ и ЧНУ (Корея) в 2020 году

В 2019 году кафедру посетили 13 профессоров из ведущих университетов и научно-исследовательских центров мира, которые читали лекции по предметам специальности. В частности, Московский энергетический институт, Чунгнамский национальный университет, Белорусский национальный технический университет, Евразийский национальный университет, Алматинский университет энергетики и связи, Дрезденский технический университет, Институт ядерной физики Белорусской академии наук, Ошский технологический университет.

Несмотря на сложившуюся эпидемиологическую ситуацию, отношения с зарубежными партнерами продолжают оставаться эффективными. На сегодняшний день по состоянию на 2021/2022 учебный год 14 иностранных профессоров провели дистанционное обучение бакалавров и магистров кафедры.

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**



Профессор ЧНУ Кюбок Ли читает лекции для студентов и преподавателей в 2020 году



Профессор УГАТУ Ураксеев М.А. читает лекции для студентов и преподавателей в 2019 году

В настоящее время кафедра реализует прикладные, инновационные, фундаментальные проекты и хозяйственные работы на сумму 1,6 млрд сумов. В частности, в рамках фундаментального проекта «Исследование закономерности комплексного управления электропотреблением промышленных предприятий с непрерывным характером производства» под руководством заведующего кафедрой Рахмонова И.У., закуплены современные контрольно-измерительные приборы и на базе этих устройств кафедра работает над созданием учебно-исследовательской лаборатории «Повышение энергоэффективности потребителей».



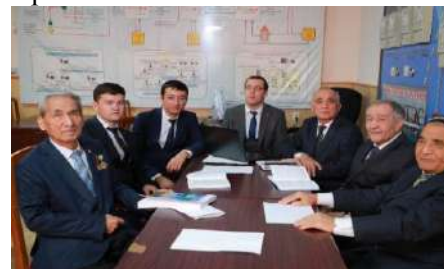
Молодые ученые кафедры обсуждают результаты научно-исследовательских работ



Под руководством М.К. Бободжанова в соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 19 марта 2021 года PQ-5032 «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» на кафедре реализуется проект Т-ОТ-2021-229.



Научные группы кафедры обсуждают результаты научно-исследовательских работ

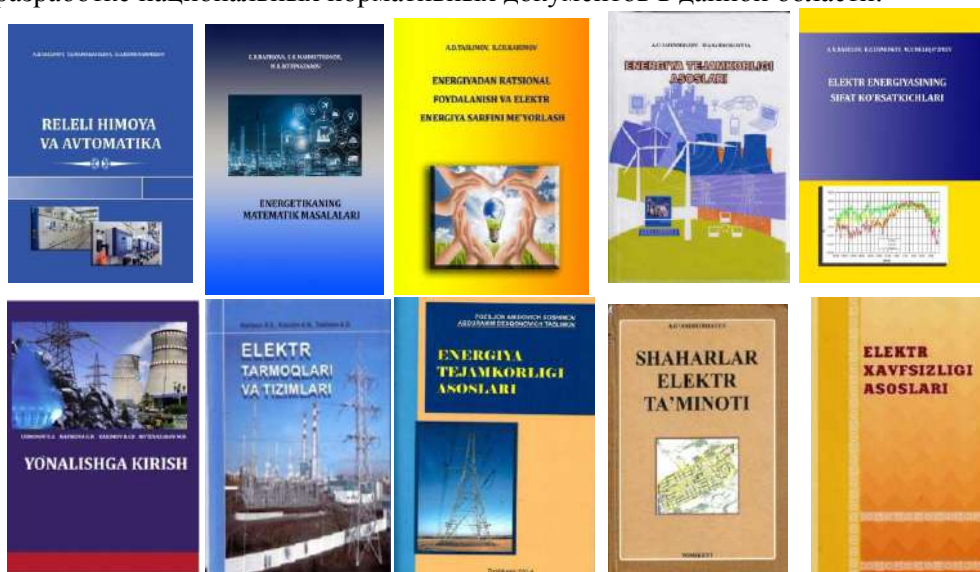


Вместе с тем, согласно приказу Минэнерго о реализации пункта 9 Указа Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПП-4779 профессора-преподавательским составом кафедры создается «Информационная

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

система учета, анализа и прогнозирования энергозатрат на промышленных предприятиях и других секторах экономики ».

За последние годы значительно возросла и издательская активность профессоров и преподавателей кафедры. В частности, за последние три года они опубликовали 8 монографий, 38 статей в престижных зарубежных журналах, 79 статей в журналах и сборниках, включенных в базу данных Scopus, 56 статей в местных журналах, 136 тезисов и статей на местных и международных конференциях, получили 6 патентов на изобретения, Кроме того, подготовлены и опубликованы 42 свидетельства на программу ЭВМ, 6 учебников, 10 учебных и 24 методических пособия. Профессора и преподаватели кафедры принимают активное участие не только в учебно-исследовательской деятельности, но и в разработке национальных нормативных документов в данной области.



Учебники и учебные пособия опубликованные последние годы

В частности, подготовлены такие нормативные материалы, как «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)», «Правила технической эксплуатации электропотребителей», «Правила техники безопасности электроустановок потребителей», «Правила безопасности при эксплуатации электрооборудования», «Правила применения и испытания средств защиты с использованием электрооборудования», «Порядок нормирования потребления топливно-энергетических ресурсов в экономике республики».

Как было сказано выше, среди выпускников кафедры сегодня есть профессионалы, которые нашли свое место в обществе и вносят достойный вклад в развитие отрасли. Среди них председатель АО «Национальные электрические сети Узбекистана» Д.А.Исакулов, директор ГУП «Тошшахарнур» Ш.Т. Ахмедов, главный специалист Департамента геологии, энергетики, промышленности Кабинета Министров республики Узбекистан по развитию опорных сетей Ниматуллаев И.А., директор департамента энергоэффективности и энергосбережения в экономической и социальной сферах Министерства энергетики Республики Узбекистан М.Хакимов, Генеральный директор АО

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

«Нерудник» Р.А. Шарипов, директор Ташкентских городских электрических сетей Р.Ахмедов, Р.Т.Артыков - заместитель директора АО «Средаэнергопроект», начальник Центрального диспетчерского управления Министерства энергетики Республики Узбекистан С.Д. Исакулов, руководители районных и городских энергокомпаний, главные инженеры и другие ответственные руководители.

В результате проведенной в области учебно-методических, научно-исследовательских работ и международного сотрудничества по итогам 2020 года, кафедра заняла почетное 1 место в рейтинге кафедр вуза. При этом профессора и преподаватели кафедры входят в двадцатку лучших в рейтинге вузов в номинациях «лучший заведующий кафедрой», «лучший профессор», «лучший доцент», «лучший ассистент».



*Профессорско-преподавательский состав кафедры
в 2021 году*



Обсуждение результатов научно-исследовательских работ

В качестве основных направлений деятельности кафедры в будущем определены следующие задачи:

- повышение качества учебного процесса на основе лучших практик престижных зарубежных вузов по внедрению кредитно-модульной системы в учебный процесс;
- повышение квалификации профессоров и преподавателей по иностранному языку и получение национальных и международных сертификатов в этой области;
- увеличение доли проектов, реализуемых кафедрой в рамках хозяйственных договоров, международных и государственных проектов в области технологических проблем предприятий отрасли;
- совершенствование работы кружка «Молодой электроснабженец» для содержательной организации досуга и оздоровление студентов кафедры;
- увеличение вовлеченности профессоров и преподавателей престижных зарубежных высших учебных заведений и исследовательских центров в целях повышения качества учебного процесса.

Икромжон Рахмонов
заведующий кафедрой «Электроснабжение» ТГТУ

УДК 620.9

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ – ГЛАВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ
УСПЕШНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

К.Р. Аллаев

Мақолада жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасининг энергия ресурсларини ишлаб чиқариши ва истемол қилиши самарадорлигини таъминлаш масалалари таҳлил қилинган. Энергиянинг самарадорлиги, бу янги ускуна ва технологиялар асосида энергияни истемолини камайтириши демакдир. Энергетикада энергия самарадорлиги асосий учта параметрнинг камайиши орқали аниқланади – ишлаб чиқилаётган маҳсулотнинг энергия солиштирма сарфи, энергоресурсларнинг исрофи, ва ишлаб чиқаришида экологияни бузувчи чиққиндилар ва газларнинг камайиши. Жаҳон бўйича бирламчи энергоресурсларнинг самарадорлиги 2016 йилда 0,122 кг.н.э./долл атрофида бўлганлиги қайд қилинган. Энергоресурсларнинг самарадорлигини камайиши 2017-2019 йилларда ва кейинчалик давом қилган. Катта микдорда энергия ишлаб чиқадиган ва истемол қиладиган 20 та ривожланган жаҳон мамлакатларининг 16 тасида, энергия самарадорлиги камайганлиги қайд қилинган. Жаҳон бўйича уй-жой қурулишида 5 йил давомида хар йили 150 млрд. долларга тенг бўлган инвестициялар асосида янги энергия тежамкорлиги ва энергия самарадорлиги технологияларига ўтиши, чиққиндиларни 40% га камайтиришига имкон беради. Янги материаллар ва технологиялар асосида қурулган уйлар, ананавий қурилган уйларга нисбатан 60-90% энергия кам истемол қилиниши кўрсатилган. Бундай материаллар ва технологиялар Ер юзасидаги барча климатик зоналарга ва мамлакатларга қабул қилиниши мумкинлиги таъкидланган. Ривожланган мамлакатлар транспортида энергия самарадорлигини ошириши йилига 1,1% ташиқил қилади ва бундай жараён бошқа мамлакатларда ҳам кузатилмоқда. Жаҳон автомобил-созлигида ва транспортида янги моделларни қўллаш асосида 2010 йилдан 2014 йилгача умумий энергия самарадорлик йилига 2,5% га ошган. Жаҳон миқёсида хозирги пайтда катта юк ташиувчи транспорт воситалари 11% бўлиб умумий ишлатиладиган ёқилгининг 50% фозини истемол қилади.

В статье приведены состояние и перспективы развития энергоэффективности мира и Узбекистана при производстве и потреблении энергоресурсов. Энергетическая эффективность означает ограничение или сокращение потребления энергии посредством перехода на использование более эффективных устройств. Энергоэффективность в энергетике количественно характеризуется темпами снижения трех основных показателей – удельного расхода энергии на единицу производимой продукции, потерь энергоресурсов и выбросов парниковых газов, при производстве и потреблении энергоресурсов. Отмечается, что глобальная первичная энергоёмкость в 2016 году составила примерно 0,122 кг.н.э./долл. Дальнейшее снижение темпов улучшения энергоёмкости наблюдалось в 2017-2019 годах и далее. В 16 из 20 стран мира, крупных производителей и потребителей энергоресурсов энергоёмкость

первичной энергии снизилась, благодаря принятым мерам в этом направлении. Показано, что потенциал экономии энергии и перехода на более энергоэффективное оснащение зданий позволит сократить выбросы парниковых газов на 40% при ежегодных инвестициях 150 млрд. долларов в течение 5 лет. Благодаря усовершенствованным материалам и технологиям, новые энергоэффективные здания потребляют на 60-90% энергии меньше, чем обычные здания того же типа, и рентабельны для всех стран и климатических зон. Темпы роста энергоэффективности транспорта в странах ОЭСР и ЕС в среднем составляют 1,1% в год, в остальных странах рост энергоэффективности транспорта также ускоряется. С 2010 по 2014 год итоговая энергоемкость мирового транспорта снижалась в среднем на 2,5% в год — в основном за счет достижений автомобилестроения, где постоянно внедряются новые разработки, снижающие расход топлива на единицу расстояния. В настоящее время автомобили большой грузоподъемности составляют лишь 11% мирового автопарка, потребляя около половины всего транспортного топлива.

The article presents the state and prospects for the development of energy efficiency in the world and Uzbekistan in the production and consumption of energy resources. Energy efficiency means limiting or reducing energy consumption by switching to more efficient devices. Energy efficiency in the energy sector is quantitatively characterized by the rate of decline of three main indicators - specific energy consumption per unit of manufactured products, energy losses and greenhouse gas emissions, during the production and consumption of energy resources. It is noted that the global primary energy intensity in 2016 was approximately 0.122 kg.o.e./\$. A further decrease in the rate of improvement in energy intensity was observed in 2017-2019 and beyond. In 16 out of 20 countries of the world, large producers and consumers of energy resources, the energy intensity of primary energy has decreased due to the measures taken in this direction. It is shown that the potential for energy savings and the transition to more energy efficient building equipment will reduce greenhouse gas emissions by 40% with an annual investment of \$ 150 billion over 5 years. Thanks to improved materials and technologies, new energy efficient buildings consume 60-90% less energy than conventional buildings of the same type and are cost-effective for all countries and climates. The growth rate of energy efficiency in transport in the OECD and EU countries is on average 1.1% per year, in other countries, the growth in energy efficiency in transport is also accelerating. From 2010 to 2014, the total energy intensity of world transport decreased by an average of 2.5% per year - mainly due to the achievements of the automotive industry, where new developments are constantly being introduced that reduce fuel consumption per unit distance. Currently, heavy vehicles make up only 11% of the global vehicle fleet, consuming about half of all transport fuel.

Энегоэфективность энергетики мира: Проблема стабильного обеспечения экономики необходимым количеством энергоресурсов с минимальными рисками и высокой энергоэффективностью является важнейшей для всех стран мира — как развитых, так и развивающихся.

Энергоэффективность – энергетическая эффективность означает ограничение или сокращение потребления энергии посредством перехода на использование более эффективных устройств. Что-либо является более энергоэффективным, если оно обеспечивает больший объем услуг при одинаковых затратах энергии или тот же объем услуг при меньших затратах энергии [1]. Энергоэффективность в энергетике количественно характеризуется темпами снижения трех основных показателей – удельного расхода энергии на единицу производимой продукции, потерь энергоресурсов и выбросов парниковых газов, при производстве и потреблении энергоресурсов [2,3].

Энергоэффективность эквивалентна отдельному сектору энергетики — столь велик ее вклад. Дополнительную энергию можно получать, не производя ее, не передавая, не храня и не платя за нее. Для этого достаточно повысить энергоэффективность производства, передачи и распределения энергии [4]. Поэтому МЭА называет энергоэффективность «первым топливом», так как, повышение показателей энергоэффективности уменьшает потребление энергоресурсов, улучшает экологическую обстановку в мире.

Такой показатель как энергоемкость измеряет количество энергии, необходимое для производства одной единицы роста валового внутреннего продукта (ВВП). Обычно его измеряют в килограмм нефтяного эквивалента, киловатт-часах энергии, необходимой для производства одного доллара роста (к.н.э./долл, кВтч/долл и др.). По сути, это показатель энергоэффективности экономики [5].

Управление энергоэффективностью – сочетание законодательной базы и механизмов финансирования, институциональной организации и координации, которые все вместе направлены на поддержку реализации стратегий, политики и программ энергоэффективности [6].

В глобальной энергетике наблюдается устойчивая тенденция к снижению энергоемкости во всех макрорегионах и большинстве стран мира, демонстрируя разнообразие скорости снижения энергоемкости и ожидается, что данный процесс продолжится на период до 2040 года и далее [7].

Предлагаемые МЭА пять ключевых мер, повышающих энергоэффективность и снижающих давление на окружающую среду состоят в [8]:

- повышении энергоэффективности в промышленности, строительстве и транспортном секторах;
- сокращении использования неэффективных угольных станций и запрет на их строительство;
- увеличении инвестиций в ВИЭ до более чем 400 млрд. долларов в 2030 году (в 2013 году 270 млрд. долларов);
- постепенном отказе от субсидирования ископаемого топлива для конечного пользователя к 2030 году;
- сокращение выбросов метана при добыче нефти и газа.

Как отмечается в [9], повышение энергоемкости в мире не соответствует цели, предусмотренных в пункте 7.3 Целей Устойчивого Развития ООН (ЦУР). Среднегодовой темп улучшения мировой энергоемкости первичной энергии в период с 2010 по 2016 годы составил 2,3%. Это лучше, чем показатель 1,3% в период между 1990 и 2010 годами, но все еще отстает от цели 7.3 ЦУР в 2,6%, что представляет собой удвоение исторической тенденции. Ежегодные

улучшения энергоёмкости в мире теперь должны будут составлять в среднем более 2,7% до 2030 года для достижения цели 7.3 ЦУР.

На рис. 1. приведена динамика изменения энергоёмкости мировой экономики, кг.н.э./долл.

Кг.н.э./долл

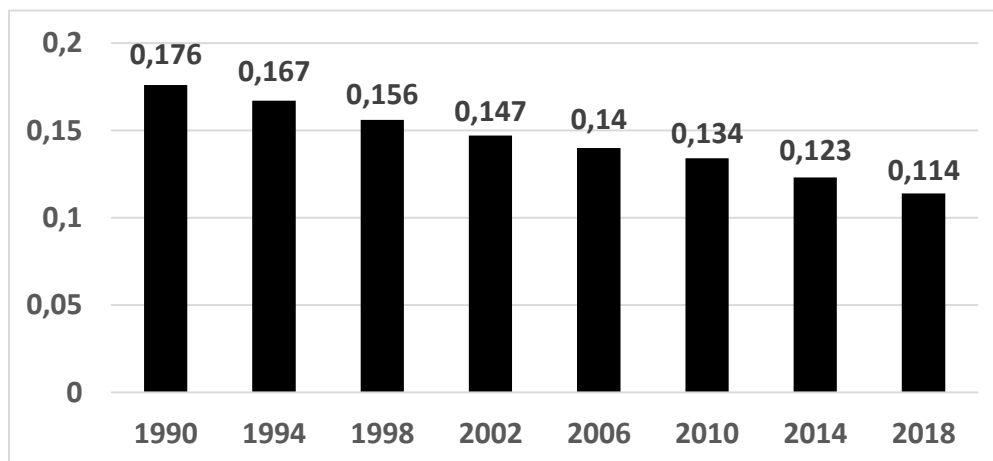


Рис. 1. Энергоёмкость мировой экономики [5]

Глобальная первичная энергоёмкость в 2016 году составила 5,1 МДж/долл (2011) (0,122 кг.н.э./долл), что на 2,5% меньше, чем в 2015 году. Дальнейшее снижение темпов улучшения энергоёмкости наблюдалось в 2017 и 2018 годах [9].

Улучшение энергоёмкости было самым большим в Азии. В период с 2010 по 2016 годы энергоёмкость в Восточной и Юго-Восточной Азии уменьшилась в среднем на 3,4% в год. Аналогичным образом, в Центральной и Южной Азии среднегодовое улучшение на 2,5% в период между 2010 и 2016 годами было выше среднемирового уровня [9].

В 16 из 20 стран мира, крупных производителей и потребителей энергоресурсов энергоёмкость первичной энергии снизилась, благодаря принятым мерам в этих странах. В 9 из этих стран темпы улучшения превысили среднемировые показатели, причем в Китае наблюдается наибольшее улучшение энергоёмкости со среднегодовым темпом 4,7% в период между 2010 и 2016 годами. Это связано с более активными усилиями по повышению энергоэффективности, такими как введение стандартов и обязательств, которые наложили более строгие требования к производительности для транспортных средств, энергопотребляющих приборов, компаний и др. Индия, Индонезия, Япония и Великобритания также продемонстрировали значительный прогресс [9].

Комплекс мер по повышению энергоэффективности функционирующий в Евросоюзе считается эталонным и предоставляет широкий набор инструментов для различных категорий граждан и бизнеса [10].

25 октября 2012 года ЕС принял Директиву 2012/27/EU по энергоэффективности. Требования Директивы являются минимальными [11].

Требования директивы, принятой в Европе применяются в следующих направлениях [10]:

- методика расчетов энергетических характеристик зданий и конструкций;
- требования к энергоэффективности и энергосбережению современных зданий;
- использование рекомендаций по энергоэффективности к существующим сооружениям, подлежащим капитальному ремонту или конструктивным элементам, оказывающим значительное влияние на энергетические показатели зданий в период проведения капитальных ремонтов или плановой замены;
- долгосрочное планирование, направленное на повышение количества сооружений с нулевым энергопотреблением;
- выдача энергетического сертификата сооружений;
- систематическая проверка отопительного оборудования и систем кондиционирования;
- комплекс управления сертификатами энергоэффективности и отчетности;

Европейским законодательством предусматриваются меры, направленные на материальное поощрение энергосберегающих мероприятий. Например, в Дании субсидируется от 30% до 50% затрат, вкладываемых инвестором при постройке энергоэффективных систем централизованного отопления жилых домов, построенных до 1950 года. В Швейцарии, инвесторы, строящие энергоэффективные здания и сооружения получают госсубсидию до 50 тысяч евро. В Германии, собственникам, повышающим энергоэффективность существующих жилых домов налоги могут быть уменьшены на 80%. Власти Австрии выделяют гранты на улучшение тепловых характеристик неэнергоэффективных домов.

Индикаторы энергоэффективности в Европе: энергозатраты на единицу ВВП, добавленной стоимости или на физическую единицу промышленной продукции (стали, цемента и тому подобное), литры топлива на 100 километров автопробега, расход топлива на один автомобиль, расход топлива на один тонно-километр грузовых перевозок, расход топлива на один пассажиро-километр пассажирских перевозок, расход топлива на один квадратный метр жилой площади, годовое потребление топлива на одно домохозяйство, количество расходуемой энергии на одного работника, объем энергии, сэкономленной мероприятиями по энергоэффективности, снижение количества эмиссии углекислого газа указанными мероприятиями [12].

Тарифы в Евросоюзе и мировой энергетике также должны способствовать участию потребителей в повышении энергетической эффективности систем, в том числе через гибкое регулирование потребления энергии в зависимости от спроса [11].

На рис. 2. приведены динамика изменения энергоемкости экономики Евросоюза, а на рис. 3. - прогнозные ее значения до 2040 года. Как видно из рис, если снижение энергоемкости за 2007-2017 годы составил примерно 25%, то за 2015-2040 годы ожидается снижение энергоемкости Евросоюза на более чем 40%.

Наибольший прогресс в снижении энергоемкости в мире был достигнут в промышленности и пассажирском транспорте, где среднегодовой темп улучшения превысил 2%. Темпы повышения эффективности в сфере услуг,

сельского хозяйства и жилищного сектора превысили 1,5%. Ожидается, что принимаемые меры в таких странах, как США, Канада, Япония, Китай и Индия, а также в Европе приведут к дальнейшему снижению энергоемкости грузовых перевозок и в целом средств транспорта [9].

Кг.н.э./долл (2010).

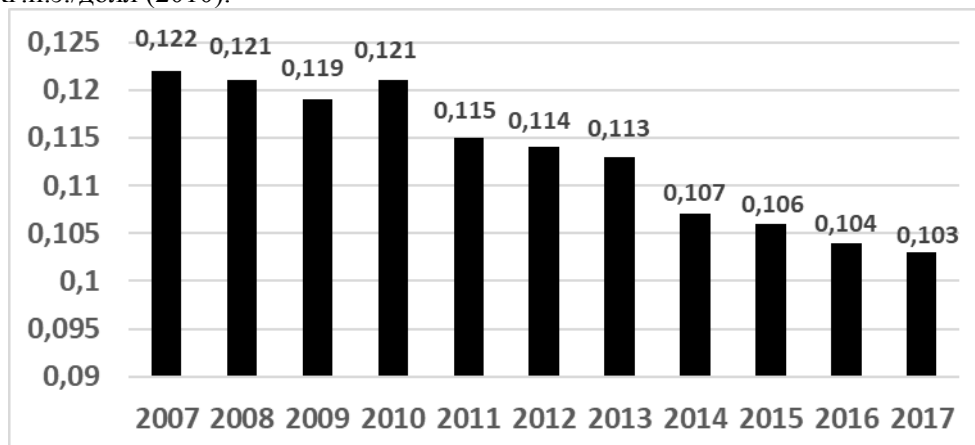


Рис. 2. Динамика изменения энергоемкости экономики Евросоюза [13]

В 1990 году, в среднем по миру, потребовалось 0,176 кг.н.э. энергии для производства одного международного доллара экономической продукции, в 2018 году этот показатель снизился до 0,114 к.н.э. [5]. Это представляет собой 35% сокращение.

В мире не существует какого-то универсального метода решения вопросов энергоэффективности. Всегда нужно учитывать конкретные условия в стране и отраслях экономики. Но, одним из ключевых условий является наличие законодательства, которое способствует внедрению энергоэффективных технологий и создает благоприятные условия для инвестиций.

По данным ООН [8], в промышленности используется 42% потенциала энергоэффективности, в транспортном секторе - 38%, при производстве - около 20%, а в зданиях - всего 18%. Кратко рассмотрим их содержания.

Здания. Энергопотребление зданий - отопление, кондиционирование воздуха, нагрев воды, освещение, приготовление пищи и т.д. - составляет около 40% общего энергопотребления и отвечают более чем за 30% выбросов CO₂ в мире, а к 2050 году эти показатели могут удвоиться [8]. Поэтому повышение энергоэффективности жилых домов — ключ к «зеленому» будущему [4].

Потенциал экономии энергии и перехода на более энергоэффективное оснащение зданий позволит сократить выбросы парниковых газов на 40% при ежегодных инвестициях 150 млрд. долларов в течение 5 лет и более чем на 50% при ежегодных инвестициях 300 млрд. долларов в течение 10 лет [8].

Благодаря усовершенствованным материалам и технологиям, новые энергоэффективные здания потребляют на 60-90% энергии меньше, чем обычные здания того же типа, и рентабельны для всех стран и климатических зон [8].

Энергоэффективность зданий закладывается уже на стадии проектирования (например, архитектор должен учитывать различные факторы, в том числе определить «выгодный» цвет крыши: на севере — "согревающий" до 39°C черный, на юге — белый, экономящий до 40% потребления энергии кондиционерами). Строительные нормы и правила сегодня нацелены на сооружение зданий с околонулевым или даже позитивным энергопотреблением — как в Японии, где за энергоэффективностью стройматериалов следят очень строго, а размещение солнечных панелей на крышах стало обязательным [4].

Кг.н.э./долл

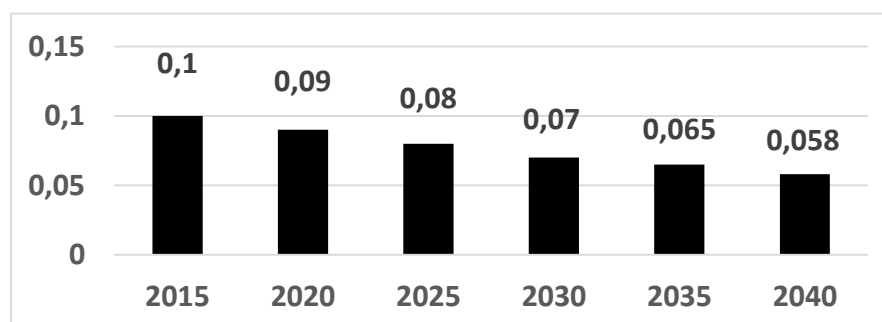


Рис. 3. Прогнозные значения энергоемкости Европы до 2040 года [7]

Новейшие системы отопления экономят до 50% топлива по сравнению с системами прошлых поколений. Свой вклад в энергоэффективность вносят «умные» счетчики и управляющие системы. Современные холодильники потребляют на 40–50% меньше энергии по сравнению с конструкциями холодильников начала 2000-х годов, а светодиодные светильники в 10 раз эффективнее традиционных ламп накаливания. В мире получают развитие интеллектуальные средства управления светом [4].

Крупнейшие из рынков энергоэффективных стройматериалов для промышленного и гражданского строительства - Европа и Северная Америка [4].

Транспорт. Темпы роста энергоэффективности транспорта в странах ОЭСР и ЕС составляют 1,1% в год, в остальных странах рост энергоэффективности транспорта ускоряется [4].

С 2010 по 2014 год итоговая энергоемкость мирового транспорта снижалась в среднем на 2,5% в год — в основном за счет достижений автомобилестроения, где постоянно внедряются новые разработки, снижающие расход топлива на единицу расстояния. В настоящее время автомобили большой грузоподъемности составляют лишь 11% мирового автопарка, потребляя около половины всего транспортного топлива.

К началу 2016 года 200 городов мира имели парки скоростных автобусов, перевозящие более 33 миллионов пассажиров в день. Повышение эффективности двигателей внутреннего сгорания все еще критически важно для увеличения энергоэффективности автотранспорта, а доля электромобилей и гибридных автомобилей пока крайне мала. На долю авиации приходится около 13% мирового использования топлива для перевозок [4].

Инвестиции в энергоэффективность. В 2018 году глобальные дополнительные инвестиции в повышение энергоэффективности зданий, промышленности и транспорта увеличились почти на 5% и достигли 238 млрд. долларов, по сравнению с 2015 годом. Распределились эти деньги так: жилые и коммерческие здания - 53%, транспорт - 29% и промышленность - 18% [4].

В последнее время в некоторых странах мира формируются национальные фонды и финансовые институты по поддержке энергоэффективности: по состоянию на 2016 год такие фонды созданы по меньшей мере в 40 странах [4].

В программах повышения энергоэффективности участвуют Европейский банк реконструкции и развития, Азиатский банк развития, Африканский банк развития, Европейский инвестиционный банк, Международная финансовая корпорация (МФК) и другие [4].

В 2018 году дополнительная сумма, инвестированная в мире в более эффективные здания, бытовые приборы, транспортные средства и промышленное оборудование, составила 238 млрд. долларов, большая часть которых была вложена в строительный сектор. Наличие недорогих и воспроизводимых мер по повышению энергоэффективности, таких как модернизация освещения и улучшение систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, способствует тому, что сектор зданий получает дополнительные инвестиции.

На рис. 4. приведены данные по инвестициям в различные сектора экономики мира.

Доля от суммарного, в %

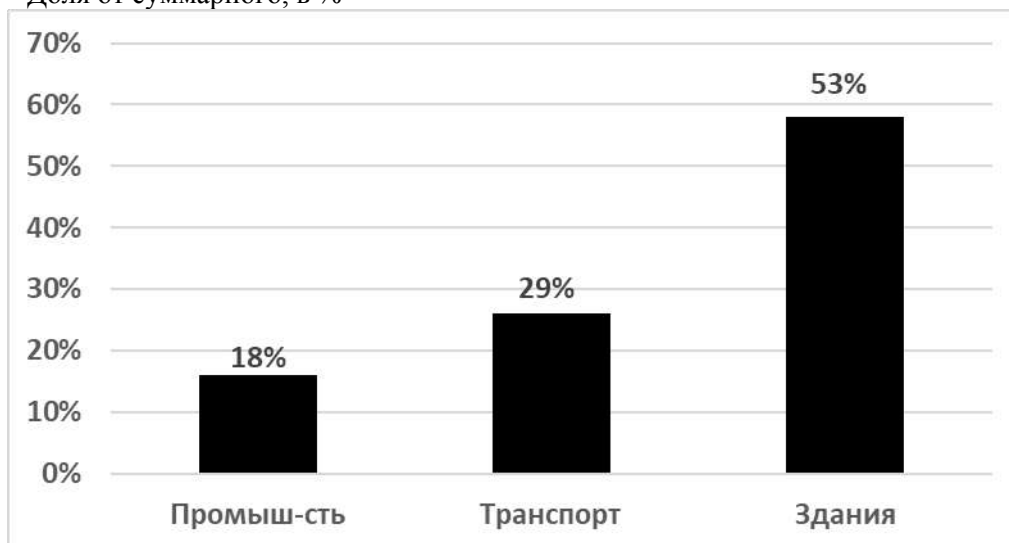


Рис. 4. Мировые инвестиции в энергоэффективность по секторам экономики, суммарно 238 миллиард долларов, 2018 [9]

В 2016 году, возник новый механизм финансирования программ энергоэффективности — "зеленые бонды", то есть целевые облигации. Только в первой половине 2016 года МФК выпустила на 1 млрд. долларов таких облигаций для финансирования проектов в 22 странах. «Зеленые бонды» уже выпустили правительства Франции, Польши, Люксембурга и Нигерии [4].

По расчетам МЭА, период глобального энергетического перехода потребует серьезных инвестиций — 120 трлн. долларов до 2050 года [4].

Выделяется **шесть трендов развития энергетики**, и все они связаны с повышением энергоэффективности. Кратко их рассмотрим [4].

Хранение энергии. Хранение - ключевой компонент новых энергетических технологий по энергии. Эта технология играет важную роль в балансировании спроса на энергию и ее предложения, а также решает проблему прерывистой генерации ВИЭ. Объединение системы хранения с возобновляемыми источниками обеспечивает бесперебойное и стабильное энергоснабжение даже при неблагоприятных погодных условиях, что и улучшает энергоэффективность использования энергии. При этом отмечается, что может возникнуть дефицит материалов, используемые при изготовлении аккумуляторов. Например, цена кобальта взлетела с 30 тыс. долларов за тонну (январь 2015 года) до 43 тыс. долларов за тонну (январь 2019 года), а в этом интервале по несколько месяцев держалась на уровне (60–90) тыс. долларов за тонну. Поскольку кобальта на земле немного (по данным Геологической службы США, приблизительно 7,5 млн. тонн), существенного удешевления батарей ждать не стоит [4].

На рис. 5. приведена динамика изменения мировых инвестиции в энергоэффективность.

Млрд. долл (2018)

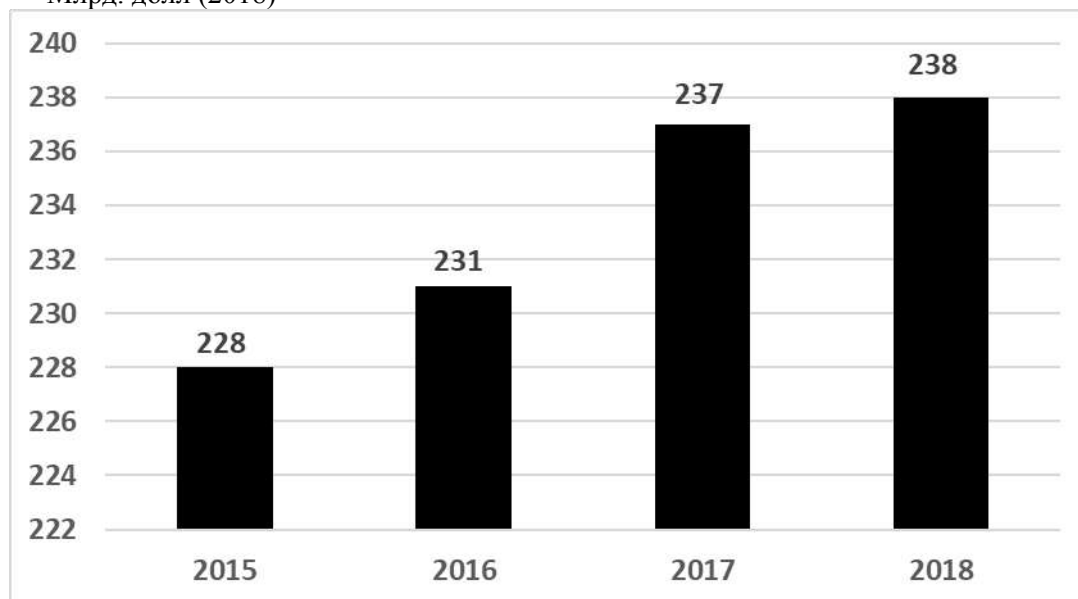


Рис. 5. Динамика изменения мировых инвестиции в энергоэффективность [16]

Микросети и искусственный интеллект. Микросети, то есть локальные энергосети, могут работать как автономно, так и при подключении к более крупным традиционным сетям и содействуют повышению энергоэффективности использования энергии, так как, при этом снижаются потери энергии. Эти уменьшенные версии централизованной системы электроснабжения обеспечивают энергетическую независимость, эффективность и защиту энергоснабжения потребителей в чрезвычайных ситуациях [4].

Использование возможностей искусственного интеллекта, сводящих к нулю потери энергии при ее передаче, с микросетевыми контроллерами обеспечивает их непрерывную адаптацию к меняющимся потокам энергии и повышает эффективность ее использования.

Рынок «умных» сетей и микросетей демонстрирует среднегодовой рост 30% и, по оценке Bloomberg NEF, к середине 2030-х годов может достичь объема 64 млрд. долларов [4].

Энергетический блокчейн и Интернет вещей. Отсутствие централизации в блокчейне делает его идеальным для устранения посредников поставщиков электроэнергии и повышают энергоэффективность как региональной, так и мировой энергетики. Сочетание технологии блокчейна с обычными устройствами получения и передачи информации, то есть Интернет вещей (IoT), окажет огромное влияние на энергоэффективность энергетических систем. Эти технологии начинают использоваться в виртуальных электростанциях и в инновационных проектах [4].

Сетевой паритет и падение цен. Сетевой паритет возникает, когда альтернативная энергетика начинает генерировать электроэнергию с затратами и уровнем производительности, равными или меньшими, чем традиционные электростанции. Традиционная модель крупного централизованного производства и распределения энергии заменяется модульной генерацией, управляемой потребителем и равномерно распределенной энергетикой, позволяющей улучшить энергоэффективность потребляемой энергии [4].

Существенное сокращение выбросов. По данным МГЭИК, сегодня по всему миру более 100 городов энергией обеспечены на 70% за счет ВИЭ; еще 40 городов потребляют все 100% электроэнергии от возобновляемой энергетике. Данная тенденция в мире развивается [4].

Расширение доступа к энергии в развивающихся странах. Чистые, модульные и возобновляемые источники энергии, объединенные в микросети на уровне сообществ, могут стать экономически эффективным способом обеспечить доступ к надежному и недорогому энергоснабжению тем, кто сейчас живет без электричества [4].

По данным МЭА, внедрение стратегий, направленных на экономию топлива, во всех странах может предотвратить выброс более 1 Гт CO₂ в год к 2030 году и более 2 Гт CO₂ в год к 2050 году. Потенциал экономии топлива и перехода на эффективные средства передвижения позволит сократить расходы на импорт нефти на 300 млрд. долларов в 2025 году и на 600 млрд. долларов в 2050-м, способствуя не только сокращению выбросов, но и улучшению качества воздуха и повышению энергонеадекватности стран [8].

Улавливание и хранение углекислого газа (CCS-УХУ) МЭА считает как одной из технологий, обеспечивающей сохранение окружающей среды и повышающей энергоэффективность энергетики [8].

В Канаде создана первая коммерческая угольная станция с применением технологии CCS-УХУ мощностью 110 МВт, запущена 2 октября 2014 года и улавливает миллион тонн CO₂ (90%) в год. В мире действует еще 12 крупных станций, где применяется эта технология [8].

Приоритетными направлениями реализации мер по повышению энергоэффективности энергетики мира являются внедрение [17]:

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

- интеллектуальных систем управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях;
- передовых систем освещения;
- эффективных систем отопления и кондиционирования;
- передовых технологий и материалов теплоизоляции;
- эффективных систем отбора и распределения энергии из систем транспортировки «большой энергетики»;
- энергосберегающих технологий для использования в системах водоснабжения и канализации;
- передовых систем генерации и транспортировки тепла, когенерации и транспортировки электрической энергии для зданий и сооружений, локальных систем утилизации тепла.

На рис. 6. приведена динамика снижения уровней энергоёмкости мира по секторам (в %) за 2010-2016 годы.

Суммарный, в %

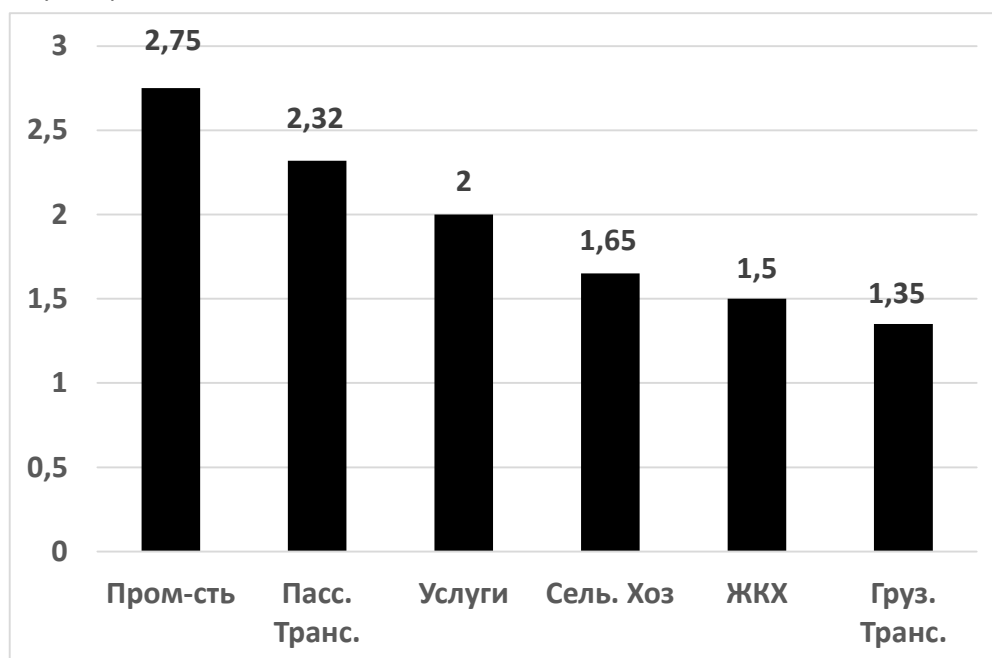


Рис. 6. Снижение уровней энергоёмкости мира по секторам (в %) за 2010-2016 годы [9]

Средняя эффективность выработки электроэнергии из ископаемого топлива в мире составляет почти 40% благодаря более эффективной генерации на газе и строительству станций с высокоэффективной выработкой электроэнергии на угле в Китае и Индии. Из-за модернизации инфраструктуры электрических сетей в мире потери при передаче и распределении электроэнергии также снижаются [9].

Снижение энергоёмкости экономики мира в период с 1990 по 2016 годы позволило предотвратить почти 11 миллиардов тонн дополнительных годовых выбросов CO₂ [9].

Одной из заявленных целей Глобальной инициативы по экономии топлива (GFEI) является 50% снижение экономии топлива к 2030 году. Годовой темп улучшения между 2015 и 2017 годами составил 1,4%, а к 2030 году для достижения цели GFEI требуется ежегодное снижение в 3,7% [9].

Эффективность генерации электроэнергии на газе выросли до 45%, что отражает наличие более эффективных технологий, таких как парогазовые установки комбинированного цикла. Построение новой, более эффективной, сверхкритической и сверхсверхкритической технологии выработки электроэнергии на угле в странах с растущим спросом на электроэнергию, особенно в Китае и Индии, отразилось на повышении эффективности всей выработки на угле, которая в среднем улучшалась ежегодно на 0,7% в период с 2010 по 2016 годами [9].

На рис. 7. приведены потери при передаче и распределения электроэнергии в 10 крупнейших странах мира.

Потери, %

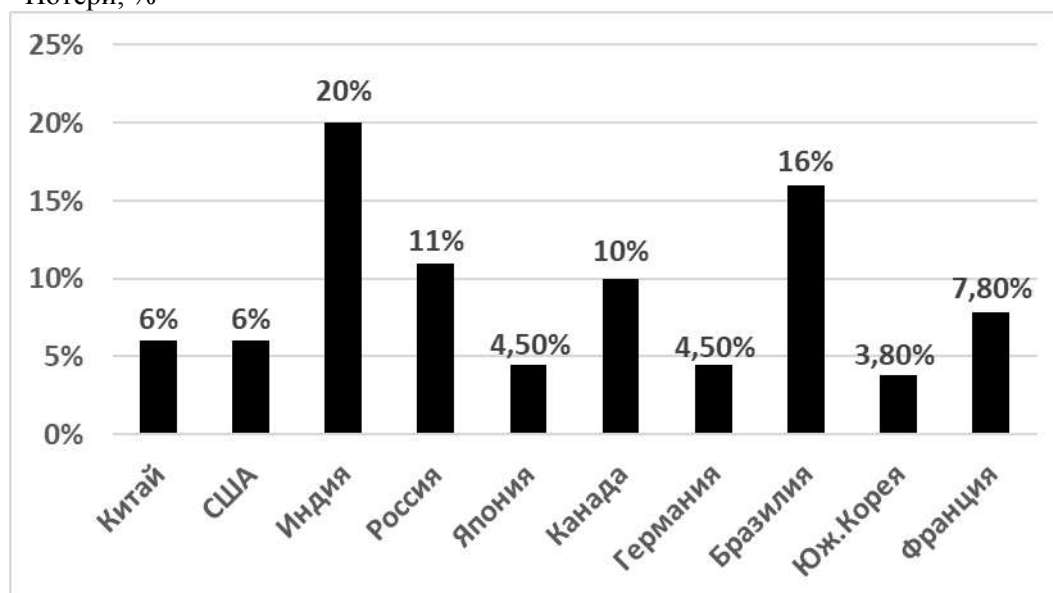


Рис. 7. Потери при передаче и распределения электроэнергии в 10 крупнейших странах мира за 2016 год [9].

Одним из факторов, который будет оказывать все большее влияние на эффективность использования энергии во всех секторах, является рост и применение **цифровых технологий**. Цифровизация включает в себе увеличение объема и точности данных об использовании энергии, улучшенную способность проводить анализ данных и улучшения в соединяемости, которые улучшают взаимодействие между потребителями и устройствами, обеспечивая больший контроль и гибкость использования [9].

Сегодня в законодательстве США, Евросоюза и других стран мира присутствуют нормы прямого действия, обеспечивающие реализацию четких стратегий по достижению высоких показателей энергоэффективности, прежде всего в секторе конечного потребления. Основные барьеры развитию энергоэф-

фективности - недостаток капитальных инвестиций для использования новых технологий и недостаток информации для потребителей [12].

Необходимое условие обеспечения энергоэффективности — независимый и высококачественный аудит, измерительные средства и необходимые программы для увеличения охвата энергоаудитом и повышения его качества, а также специалисты. При этом очевидно, что нельзя ограничиваться собственно отраслями ТЭК - энергоэффективность обеспечить качество энергообеспечения всех потребителей - как промышленных, так и домохозяйств, бюджетных организаций, сельского хозяйства, недвижимости и т.д.

Задаче обеспечения потребностей экономики энергоресурсами и повышение энергоэффективности их производства и потребления будет способствовать, в частности, усиление роли потребителей на рынках электрической энергии (мощности) и системных услуг, изменение конкурентных моделей оптового и розничного рынков в электроэнергетике с обеспечением равноправия поставщиков и потребителей в формировании рыночного равновесия, а также разработка рыночных механизмов.

Энергоемкость ВВП Узбекистана. В Узбекистане энергоёмкость ВВП превышает энергоёмкость развитых стран примерно в 2 раза. Данный показатель определяется как отношение общего потребления объема энергоресурсов к валовому внутреннему продукту. Энергоемкость представляет собой количество топливно-энергетических ресурсов, необходимое для производства продукции (товаров или услуг) на сумму в 1 сум. Иными словами, жизненный уровень населения или уровень благосостояния страны тем лучше, чем выше энергопотребление на душу населения и чем ниже энергоёмкость ВВП [20].

В Узбекистане до конца 2030 года выработка электроэнергии вырастет с сегодняшних 70 млрд. кВт.ч до 120 млрд. кВт.ч [2].

На рис.8 приведена динамика изменения энергоёмкости ВВП Узбекистана.
К.н.э./долл

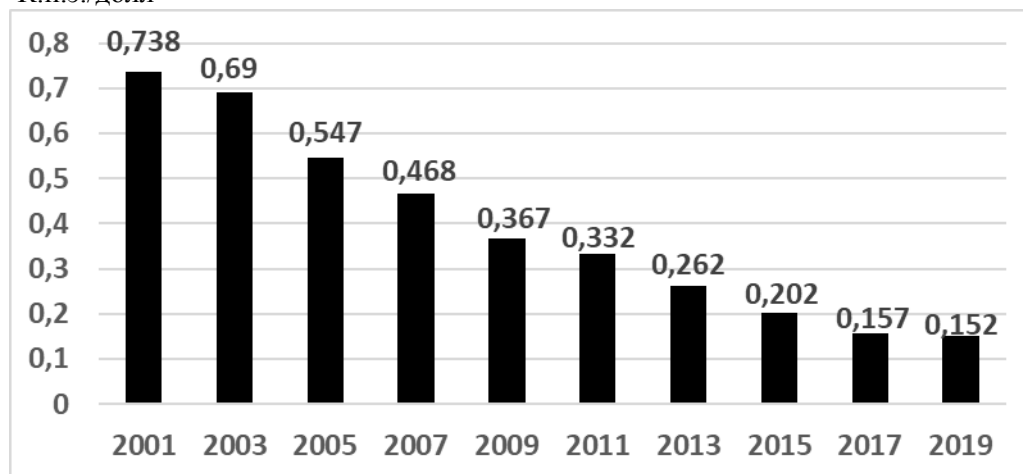


Рис. 8. Динамика изменения энергоёмкости ВВП Узбекистана [23]

Модернизация устаревшего оборудования и производственных процессов имеет решающее значение для повышения конкурентоспособности предприятий. Энергоэффективность способствует сокращению затрат на эксплуата-

цию и обслуживание оборудования, повышению производительности, а также экономии средств за счет меньшего потребления энергии. Она также внесет вклад в смягчение последствий изменения климата [22].

В настоящее время энергоэффективность Узбекистана в соотношении со 125 странами мира установилась на 78 месте. Для сравнения, предыдущий результат – 84 место [20].

Энергоемкость ВВП Узбекистана с 2001 по 2019 годы снизилась с 0,738 к.н.э./долл до 0,152 к.н.э./долл, при среднем мировом уровне в 0,11 к.н.э./долл, т.е. более чем 4 раза и имеет динамичный потенциал дальнейшего снижения [23], а уровень выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на душу населения на 20% [24].

На рис. 9. приведены данные по энергоёмкости ВВП некоторых стран мира.

К.н.э./долл

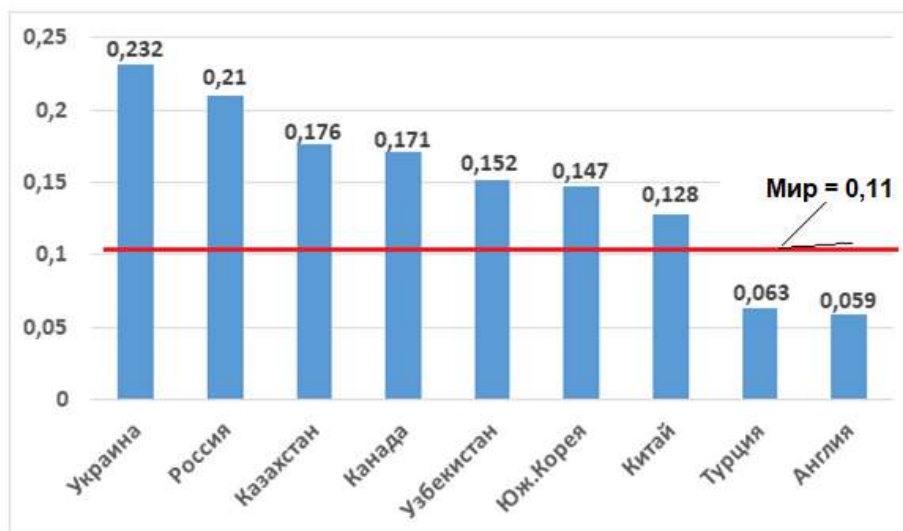


Рис. 9. Энергоемкость ВВП некоторых стран мира, 2019 год [23]

Большую роль сыграла реализация проекта «Повышение энергоэффективности промышленных предприятий» при Министерстве экономики и промышленности Узбекистана, выполняемый с 2011 года. В проекте использовались льготные кредитные средства Международной ассоциации развития Всемирного Банка (МАР) и коммерческих банков Узбекистана. Благодаря чему у большинства энергоёмких предприятий появилась возможность значительно сократить объемы потребления электроэнергии и природного газа при производстве продукции [20].

Первые два этапа проекта, одобренные в 2010 и 2013 годах, способствовали внедрению специальных кредитных линий со стороны местных банков, участвующих в проектах [22].

В результате в рамках финансирования Всемирного банка 31 крупное государственное промышленное предприятие, главным образом в горнодобывающем, электроэнергетическом, нефтегазовом, химическом, строительном и перерабатывающем секторах получили кредиты на общую сумму 125

миллионов долларов для внедрения современных энергосберегающих технологий в производственный процесс. В результате данные инвестиции способствовали экономии в эквиваленте 358 млн. кВт·ч энергии и сокращению выбросов в атмосферу до 583 тысяч тонн CO₂ в год [22].

Третий этап проекта предоставит дополнительное финансирование для крупных промышленных предприятий и малых и средних предприятий для инвестирования в энергосберегающие технологии, а также повышение их потенциала в области энергоэффективности посредством адресной технической помощи [22]. Всемирный банк в 2018 году одобрил дополнительное финансирование в размере 200 млн. долларов, рассчитанной на 5 лет [20].

В настоящее время выделено 100 млн. евро со стороны Европейского инвестиционного банка, что в свою очередь даст дополнительный импульс в реализации проектов по повышению энергоэффективности не только крупных, но также малых и средних производственных предприятий [20].

Ожидается, что инвестиции в рамках этого этапа помогут дополнительно сэкономить 386 млн. кВт·ч энергии и сократить выбросы в атмосферу до 799 тысяч тонн CO₂ газа в год [21].

Напомним, что сегодня Всемирный банк финансирует в Узбекистане реализацию 16 проектов на общую сумму более 2 миллиардов долларов. Они направлены на коренные изменения в энергетике, транспорте, сельском хозяйстве и управлении водными ресурсами, здравоохранении, образовании, городском развитии, водоснабжении и санитарии [22].

В результате широкого внедрения современных технологий, к 2030 году энергоёмкость ВВП Узбекистан сократится примерно в 2 раза [22].

Можно привести ряд примеров, показывающих повышение эффективности использования энергоресурсов на предприятиях и отраслях промышленности Узбекистана, в результате модернизации оборудования и внедрения новых технологий [25].

В Узбекистане с 2016 года осуществляется 79 субпроектов. Общая сумма этих субпроектов составляет 160 млн. долларов, из которых Международная ассоциация развития (МАР) предоставила 128 млн. долларов. Остаток суммы финансировался тремя банками – «Хамкор банком», банком «Асака» и «Узпромстройбанком», а также промышленными предприятиями [25].

В Алмалыкском горно-металлургическом комбинате установили новый частотный преобразователь на напряжение 6 кВ и модернизировали компрессорные станции в цехах плавления цинка и меди – эти улучшения позволили сэкономить ежегодно 12,5 млн кВт·ч электроэнергии. Планируется осуществить в ближайшие годы три новых субпроекта по энергоэффективности, которые могут помочь сберечь 17 млн. м³ природного газа и 48 млн. кВт·ч электроэнергии.

Акционерная компания «Максам-Чирчик» химической промышленности Узбекистана, производящая сельскохозяйственные удобрения, внедрила обогреватель природного газа, который снижает уровень выбросов вредных веществ и понижает температуру технологических газов, выбрасываемых в атмосферу.

Корейский трастовый фонд зеленого роста поддерживает реализацию национальной стратегии Узбекистана по повышению энергоэффективности и внедрению систем управления энергией на предприятиях.

В рамках мер по повышению энергоэффективности в секторе электроэнергетики Узбекистан может достичь экономии ресурсов 6,85 млн. т.н.э. к 2030 году. В целом экономия энергоресурсов может составить до 25% за счет программы энергосбережения, реализуемой в промышленных предприятиях [21].

Важнейшим достижением энергетиков Узбекистана является завершение первого этапа автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ): к 01.01.2020 года у потребителей электроэнергии установлены около 7,5 миллиона электронных счетчиков, которые приведут к существенному (около 7-10%) снижению потерь электроэнергии. На очереди внедрение более высокого уровня автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ), являющейся базой интеллектуальной энергосистемы Узбекистана [2].

Таким образом, в последние годы, в мировой энергетике наблюдается твердая тенденция снижения энергоемкости, что связано с применением современных технологий энергосбережения и энергоэффективности. Энергоемкость в Узбекистане также имеет тенденцию ускоренного снижения, как результат принятых мер и этот процесс будет продолжаться, ввиду наличия соответствующих правово-нормативных документов и задач по снижению энергоемкости отраслей экономики, поставленных руководством республики [2].

Литература

1. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. Париж. МЭА. Ноябрь 2014. 181 с. (На русс. языке).
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. Т. «Fan va tehnologiya». 2021, С.953.
3. Энергоэффективность. (<https://wiki2.org/ru/Энергоэффективность>).
4. Данилова Т. Энергоэффективность: фрагменты глобальной картины. Атомный эксперт. 2019. (http://atomicexpert.com/energo_effectivnost).
5. Slowdown in energy intensity improvement in 2018, decreasing by only 1.3% (yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html).
6. Управление энергоэффективностью: справочное руководство. 2-ое издание. Международное Энергетическое Агентство. (<http://programme/IEA>).
7. Leontiy Eder, Irina Provornaya. Analysis of energy intensity trend as a tool for long-term forecasting of energy consumption. Energy Efficiency. 2018. №11. P.1971–1997. (<https://doi.org/10.1007/s12053-018-9656-2>).
8. МЭА назвала энергоэффективность "первым топливом" в новом докладе "Энергия и изменение климата".
9. Tracking SDG 7. The Energy Progress Report. 2019. Washington. 176 p. (<http://trackingSDG7.esmap.org>).
10. Лебедев Ю.А., Пельченков М.В. Анализ программ стимулирования и нормирования энергоэффективности: Российский и зарубежный опыт

(<https://research-journal.org/economical/analiz-programm-stimulirovaniya-i-normirovaniya-energoeffektivnosti-rossijskij-i-zarubezhnyj-opyt/2017>).

11. Новая Директива Евросоюза в области энергоэффективности (sci-book.com/grajdanskoe-pravo/novaya-direktiva-evrosoyuza-oblasti-70969.html).

12. Статистика энергоэффективности. (https://sci-book.com/_grajdanskoe-pravo/statistika-energoeffektivnosti-70920.html).

13. Energy, transport and environment statistics. 2019 edition. Printed by Imprimeries Bietlot Frigres in Belgium. September 2019. 222 p.

14. МЭА назвала энергоэффективность "первым топливом" в новом докладе "Энергия и изменение климата".

15. Tracking SDG 7. The Energy Progress Report. 2019. Washington. 176 p. (<http://trackingSDG7.esmap.org>).

16. World Energy Investment 2019. IEA. France. May 2019. 176 p. (<http://iea.org/about/contact>).

17. Кузьминов А.С. Повышение энергоэффективности: потенциал сотрудничества с Международным энергетическим агентством (povishenie-energo-effektivnosti-potentsial-sotrudnichestva-mejdunarod-energeticheskim-agentstvom.pdf).

18. Статистика энергоэффективности. (https://sci-book.com/_grajdanskoe-pravo/statistika-energoeffektivnosti-70920.html).

19. М.Степанова. Энергостратегия до 2035 где здесь энергоэффективность? (energiavita.ru/2020/04/07/energostrategiya-do2035gdezdesenergoeffektivnost/).

20. Новиков В. Минэкономпром признал расточительность Узбекистана в потреблении электроэнергии (nuz.uz/ekonomika-i-finansy/41378-minekonomprom-priznal-rastochitelnost-uzbekistana-v-potreblenii-elektroenergii.html, 20.06.2019).

21. Энергоемкость экономики Узбекистана снизилась в два раза (china-uz-friendship.com/?p=4256).

22. ВБ направил \$200 млн на модернизацию промышленности Узбекистана. (uz.sputniknews.ru/economy/20180131/7385868/vb-napravil-200-mln-na-modernizaciyu-promyshlennosti-uzbekistana.html).

23. Energy intensity. Acceleration in energy intensity improvement in 2019 (-2.1%, faster than over 2000-2018). (<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>).

24. За последние 15 лет энергоемкость ВВП Узбекистана снизилась на 55%. (www.podrobno.uz/cat/economic/za-poslednie-15-let-energoemkost-vvp-uzbekistana-snizilas-na-55/14.10.2015).

25. Узбекистан>Электроэнергетика. Нефть, газ, уголь>energyland. info, 25 ноября 2016, № 1987419.

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом.*

УДК 621.311.1

**ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
РОССИИ**

Н.Д. Рогалев, В.В. Молодюк, П.С. Прокофьев

Rossiyada raqamli elektr energiyasini yaratish muammolari muhokama qilinadi. Raqamli elektr energiyasiga o'tishning texnologik paketi aniqlandi.

Обсуждаются проблемы создания цифровой электроэнергетики в России. Определен технологический пакет перехода к цифровой электроэнергетике.

The problems of creating a digital electric power industry in Russia are discussed. The technological package of transition to digital electric power industry is defined.

Введение. Ведущие страны мира переводят свои индустрии на цифровую основу. Цифровая экономика становится общепринятым стандартом для глобальных рынков. Переход от аналоговых систем к цифровым устройствам значительно повышает точность информации, повышает точность измерения, передачи и обработки информации. Создаются новые технологии прогнозирования, мониторинга и управления функционированием энергетики.

В условиях цифровизации активными участниками производственных отношений становятся многочисленные компании с минимальной иерархией и организационной мобильностью. При активном развитии цифровизации и распределенного производства энергии значительная часть компетенций переходит от крупных вертикальных структур к участникам горизонтальных связей, способных быстро перестраиваться под новые проекты по совместному созданию продукта.

В России принята программа и дорожная карта «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденные распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р. Цель Программы — организовать до 2024 года системное развитие и внедрение цифровых технологий во всех областях жизни.

Вызовы создания цифровой электроэнергетики в России. Причины, побуждающие электроэнергетику России переходить на цифровые технологии, следующие:

- повышение надежности, управляемости, гибкости и наблюдаемости объектов и электроэнергетических систем;
- потребители предъявляют все более высокие требования в отношении доступности, надежности и качества энергоснабжения;
- формирование децентрализованных рынков электроэнергии;
- необходимость повышения информационной связи электроэнергетики с другими топливными отраслями ТЭК (газовой, угольной);
- вовлечение в энергообмен распределенной генерации (в т.ч. на основе ВИЭ), систем накопления энергии, устройств и комплексов с регулируемым потреблением;

- развитие просьюмерской модели поведения потребителей. Потребители превращаются в поставщиков электроэнергии.;
- внедрение на базе цифровых технологий риск-ориентированной модели управления электроэнергетикой;
- необходимость поддержания параллельной работы электроэнергетических систем государств–участников СНГ;
- формирование общего электроэнергетического рынка государств – участников СНГ.

Трудности создания цифровой энергетики в России:

- большая территория страны с протяженными линиями электропередачи;
- низкая плотность потребления электроэнергии;
- слабое развитие розничных рынков электроэнергии;
- большие объемы перекрестного субсидирования населения, «зеленой» энергетики, развития ТЭС на Дальнем Востоке.

Риск-ориентированная модель управления электроэнергетикой. Внедрение механизма договоров о предоставлении мощности (ДПМ-1) обеспечило к концу 2017 года рост установленной мощности электростанций в России до 244 ГВт. Однако их рост был обеспечен значительными финансовыми затратами и, как следствие, привел к повышению тарифов на электроэнергию для промышленных потребителей. При этом более трети генерирующих мощностей и электрических сетей сейчас находится в резерве.

Возможности, которые дает цифровизация, позволяют отказаться от излишнего резерва и перейти на риск-ориентированную модель управления производственными фондами. При таком подходе оценивается техническое состояние каждого элемента оборудования и воздействие оказывается на элементы, риски и последствия отказа которых максимальны.

Сегодня у энергокомпаний России появился выбор: они могут проводить ремонт по привычному сценарию, опираясь на инструкции завода-изготовителя оборудования, либо могут придерживаться современного подхода, установив систему мониторинга состояния оборудования в реальном режиме времени, и ремонтировать оборудование по показаниям.

Риск-ориентированный подход позволит повысить экономическую эффективность эксплуатации объектов электроэнергетики. Компании вправе принимать наиболее удобное им и экономически оправданное решение. Теперь это прописано в новых правилах техобслуживания и ремонта,

Цифровизация и модернизация электроэнергетики. При всем интересе к цифровой трансформации электроэнергетики основное внимание следует уделять внедрению новых прогрессивных технологий в производстве энергии, совершенствованию рынков электроэнергии и тепла и повышению надежности [1–3]. Нельзя внедрять цифровизацию на устаревшей материальной технической базе отрасли. Переход к цифровой энергетике в этих условиях — это риск последующих ещё более дорогостоящих переделок [4]. Цифровизация должна составной частью повышения технического уровня отрасли и надежности электроэнергетики России.

Оптовый рынок электроэнергии (мощности) России требует совершенствования. В настоящее время рынок электроэнергии используется в основном для

сбора с промышленных потребителей финансовых средств, замещающих бюджетные средства.

Показатели отечественных ТЭС не соответствует современным требованиям по надежности, экономичности, маневренности, воздействию на окружающую среду. Оборудование отечественных ТЭС выработало свой парковый ресурс общей мощностью более 90 млн кВт, и до 2025 г. к нему добавится еще 30 млн кВт. Актуально проведение широкомасштабного технического перевооружения действующих ТЭС на базе использования передовых современных и перспективных технологий.

Внедрение механизма договоров о предоставлении мощности (ДПМ) обеспечило к концу 2017 года рост установленной мощности электростанций до 244 ГВт. Однако их рост был обеспечен значительными финансовыми затратами в генерирующие мощности и электрические сети и, как следствие, повышением тарифов для промышленных потребителей. При этом более трети генерирующих мощностей и электрических сетей находится в резерве.

В России начала работать программа ДПМ-2, направленная на масштабную модернизацию (реконструкцию) отрасли. Однако эта программа направлена в основном на продление ресурса уже существующего оборудования. Такая модернизация только продлит на несколько десятилетий устаревшую уже сегодня технологию производства энергии. Целесообразно под понятие «модернизация» внести также ввод нового инновационного оборудования, поскольку модернизация невозможна без инноваций.

Используемое при модернизации энергетическое оборудование должно обладать признаками технического совершенства: обладать повышенной надежностью и ремонтпригодностью; иметь показатели энергоэффективности на уровне лучших мировых аналогов; обладать повышенной маневренностью; иметь показатели экологической безопасности не хуже, чем требования наилучших доступных технологий (НДТ); иметь высокий уровень автоматизации эксплуатации; сопровождаться новейшими системами информационной поддержки жизненного цикла.

Технологический пакет цифровой электроэнергетики. К использованию термина «цифровая экономика» используют два подхода. Первый подход — классический: цифровая экономика — это экономика, основанная на цифровых технологиях. При этом цифровая экономика характеризуется исключительно как область электронных товаров и услуг. Примеры — продажа медиаконтента (кино, телевидение, книги и пр.), телемедицина, дистанционное обучение.

Второй подход — расширенный: цифровая экономика — это производство продукта с использованием цифровых технологий. В настоящее время понимание цифровой экономики расширилось. В него уже включается вся цепочка производства товаров и услуг, в которых используются цифровые технологии. Второй подход (расширенный) наиболее близок для его применения в электроэнергетике, поскольку в электроэнергетике продуктом является энергия (электрическая и тепловая), производимая с помощью цифровых технологий.

5 марта 2018 г. Минэнерго России утвердило паспорт программы «Цифровая трансформация электроэнергетики России». В нем цель цифровой трансформации отрасли определена как *минимизация совокупной стоимости*

владения объектов энергетики, снижение себестоимости производства электроэнергии при повышении надежности, внедрение на базе цифровых технологий риск-ориентированной модели управления электроэнергетикой.

В Указе Президента РФ от 09.05.2017 № 203 сказано, что *продуктом цифровой экономики является информация, построенная на цифровых технологиях.* В электроэнергетике же продуктом труда является энергия (электрическая и тепловая). Поэтому понятие цифровой экономики для электроэнергетики следует расширить. В него необходимо включить всю технологическую цепочку производства электрической и тепловой энергии и услуг, в которых используются цифровые технологии (технологический пакет цифровой электроэнергетики).

Технологический пакет цифровой электроэнергетики — виды деятельности объектов электроэнергетики, в которых используются цифровые технологии. Технологический пакет цифровой электроэнергетики охватывает всю технологическую цепочку от генерации до потребления электроэнергии, включая услуги на ее передачу, распределение, регулирование и сбыт. Технологический пакет цифровой электроэнергетики целесообразно применять для всех этапов жизненного цикла объекта электроэнергетики: разработка стратегии, исследование, проектирование, строительство (модернизация), эксплуатация, вывод объекта из эксплуатации и его утилизация.

Жизненный цикл объекта включает этапы от обоснования создания объекта до его утилизации. С понятием жизненного цикла объекта тесно связано понятие стоимости жизненного цикла.

Стоимость жизненного цикла объекта — это общая величина затрат, которые несет владелец объекта с момента начала владения до выхода из состояния владения и исполнения владельцем полного объема обязательств. Стоимость жизненного цикла объекта включает инвестиции и текущие (эксплуатационные) расходы за весь срок службы технического средства, включая расходы на утилизацию. Важная задача — минимизировать стоимость жизненного цикла объекта электроэнергетики при обеспечении надежности его функционирования.

Прежде всего, цифровая электроэнергетика развивается в основном в системах релейной защиты и автоматики, сбора и обработки информации о состоянии энергетических объектов и распределенной генерации.

Возможности, которые даст цифровизация, позволят постепенно отказываться от излишнего резерва, переходя на риск-ориентированную модель управления производственными фондами. При таком подходе оценивается техническое состояние каждого элемента оборудования и воздействие оказывается на элементы, риски и последствия отказа которых максимальны. Для решения этой проблемы необходимы не только экономические, но и технологические решения, которые бы позволили обеспечить снизить финансовые затраты и повысить надежность ЭЭС, совершенствовать подходы к их построению и эксплуатации.

Сегодня у энергокомпаний появился выбор: теперь, и это прописано в новых правилах техобслуживания и ремонта, они могут проводить ремонт по привычному консервативному сценарию, опираясь на инструкции завода-изготовителя оборудования, либо могут придерживаться современного подхода,

установив систему мониторинга состояния оборудования в реальном режиме времени, и ремонтировать оборудование по показаниям. Второй подход позволит повысить экономическую эффективность. Компании вправе принимать наиболее удобное им и экономически оправданное решение.

Литература

1. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития // под ред. Н.Д. Рогалева. - М.: Изд-во МЭИ, 2019, Стр. 298.
2. Н.И.Воропай, И.Н.Колосок, Е.С.Коркина, А.Б.Осак. Проблемы кибербезопасности в электроэнергетических системах // Электроэнергетика в национальных проектах. – М.: Изд-во МЭИ, 2020, Стр. 67–88.
3. Илюшин П.В. Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределенных источников энергии в электрические сети: монография // - М.: НТФ «Энергопрогресс», 2020, Стр. 116.
4. Кутовой Г.П. О необходимости продолжения реформ в электроэнергетике. Отрасль может и должна стать локомотивом реального сектора экономики в условиях цифровизации // Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития. – М.: Изд-во МЭИ, 2019, Стр. 144–167.

Представлено НИУ «МЭИ, НП «НТС ЕЭС».

УДК 621.311.1.016

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ
С УЧЕТОМ СЕТЕВЫХ ФАКТОРОВ**

Т.Ш. Гайнбов, Б.А. Узаков

Ушбу ишда энергетика тизимларининг ҳолатларини назорат қилинувчи электр узатиш линиялари (ЭУЛ)да актив қувват оқимлари бўйича тенгсизлик кўринишидаги функционал чегаравий шартларни ва электр тармоқларидаги исрофларни ҳисобга олиб оптималлашнинг янги алгоритми келтирилган. Унинг фарқ қилувчи хусусияти бўлиб назорат қилинувчи ЭУЛда актив қувват оқимларини электр тармоқнинг ҳисобий ва ҳолат параметрларидан фойдаланилувчи ифодалари ҳамда исрофларни уларнинг ҳосилаларини ҳисобламасдан эътиборга олиши ҳисобланади. Таркибида тўртта ҳисобий иссиқлик электр станциялари бўлган энергетика тизими учун амалга оширилган экспериментал ҳисоблашларнинг натижалари келтирилган. Улар таклиф этилган алгоритмдан фойдаланиш оптималлашнинг самарадорлигини электр тармоқларидаги исрофлар ва назорат қилинувчи ЭУЛда қувват оқимларини ҳисобга олиш аниқлигини ошириши ҳисобига салмоқли даражада ошириши мумкинлигини кўрсатди.

В работе приводится новый алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом функциональных ограничений в виде неравенств по потокам активных мощностей в контролируемых линиях электропередачи (ЛЭП) и потерь в электрических сетях. Его отличительной особенностью является расчет потоков активной мощности в контролируемых ЛЭП по их выражениям, использующим расчетные и режимные параметры электрической сети, а также учет потерь без расчета их производных. Приведены результаты экспериментальных расчетов, выполненных для энергосистемы, содержащей четыре расчетных тепловых электростанций, с учетом сетевого фактора. Они показывают, что использование предложенного алгоритма позволяет значительно повысить эффективность оптимизации за счет повышения точности учета потерь в электрических сетях и потоков мощностей в контролируемых ЛЭП.

In the paper a new algorithm for optimization the modes of power systems taking into account functional constraints in the form of inequalities on active power flows in controlled power transmission lines (PTL) and losses in electrical networks is presented. Its distinctive feature is the calculation of active power flows in controlled transmission lines according to their expressions, using the calculated and operating parameters of the electrical network, as well as taking into account losses without calculation of their derivatives. The results of experimental calculations performed for a power system containing four settlement thermal power plants, taking into account the network factor, are presented. They show that the use of the proposed algorithm can significantly increase the efficiency of optimization by increasing the accuracy of accounting for losses in electrical networks and power flows in controlled transmission lines.

Введение. Оптимизация режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) является сложной задачей нелинейного математического программирования с большим количеством переменных разного масштаба, простых и функциональных ограничений в виде равенств и неравенств [1-3]. В настоящее время существует множества методов и алгоритмов решения этой задачи, которые отражены, в частности, в [1-14]. В них используются методы линейного [2-5], квадратичного [2-4], нелинейного программирования [1, 4, 6-9], алгоритмы искусственного интеллекта [10] и т.п. Они отличаются, кроме используемого метода оптимизации также алгоритмами расчета, учета различных ограничивающих и влияющих факторов. Несмотря на это, для этих алгоритмов характерны недостатки, связанные с упрощенным учетом некоторых факторов. В частности, во многих из них расчеты осуществляются на основе упрощенных [1, 7, 8, 10] или сложных [2, 3] процедур по расчету потерь и их производных. Кроме того, ограничения по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП учитываются на основе их упрощенных расчетов по линеаризованным формулам с использованием коэффициентов распределения мощностей узлов [1-3]. Такие упрощения, в общем случае, приводят к соответствующим погрешностям снижая эффект от оптимизации. Современные условия развития вычислительных средств и систем сбора данных о состоянии энергетической системы требует соответствующего усовершенствования методов и алгоритмов решения рассматриваемой задачи.

В данной работе предлагается новый алгоритм оптимизации режимов энергосистем с эффективным учетом влияния электрических сетей.

Алгоритм оптимизации. Рассмотрим энергосистему, содержащую n расчетных ТЭС. Задачу оптимизации режима энергосистемы с учетом сети можно представить в следующем виде:

минимизировать функцию суммарных топливных издержек в ТЭС

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

с учетом ограничений: по балансу активной и реактивной мощностей во всех узлах электрической сети

$$W_0' = P_0 - \bar{P}_0 = 0; \quad (2)$$

$$W_i' = P_i - \bar{P}_i = 0, \quad i \in \Gamma + H; \quad (3)$$

$$W_i'' = Q_i - \bar{Q}_i = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H; \quad (4)$$

по минимальным и максимальным граничным мощностям станций

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

по минимальным и максимальным допустимым потокам мощностей в контролируемых ЛЭП

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l \in L, \quad (6)$$

где n - число расчетных ТЭС; $B_i(P_i)$ - топливная издержка в i - й ТЭС, которая зависит от её мощности P_i ; Γ, H - множества генерирующих и нагрузочных узлов в ЭЭС; Γ_1 - множества генерирующих по реактивной мощности узлов с нерегулируемой реактивной мощностью; P_0, \bar{P}_0 - расчетная и заданная активные мощности балансирующего узла; $P_i, Q_i, \bar{P}_i, \bar{Q}_i$ - расчетные и заданные активные и реактивные мощности i - го узла; W_i', W_i'' - функции небалансов активной и

реактивной мощностей i -го узла; $P_i, P_i^{min}, P_i^{max}$ - расчетная и предельно возможные нагрузки i -й ТЭС; $P_l, P_l^{min}, P_l^{max}$ - расчетная и предельно возможные потоки мощностей в l -й контролируемой ЛЭП.

Активная и реактивная мощности i -го узла представляются как сумма потоков мощностей по отходящим от него ветвям i - j , которые выражаются через модули U_i, U_j и фазовые углы δ_i, δ_j комплексных напряжений узлов и элементов матрицы собственных и взаимных проводимостей как в [1, 2, 17].

Предлагаемый алгоритм предусматривает учет ограничений в виде равенства (по балансу мощностей) (3)-(4) через неопределенные множители Лагранжа, а функциональных ограничений (6) – штрафными функциями $Ш_l$ как в работах [1-3, 6]. Простые ограничения в виде неравенства (5) учитываются проверкой на каждой итерации их выполнения и, в случае нарушения, простым закреплением переменных на соответствующих предельных значениях.

Ограничение по балансу активной мощности в балансирующем узле (2) учитывается выделением балансирующей станции. В таком случае, мощность балансирующей станции выделяется как зависимый переменный и, соответственно, она определяется как

$$P_0 = \sum_{j \in J_0} P_{0j} = g_{00} U_i^2 - U_0 \sum_{j \in J_i} U_j (g_{0j} \cos \delta_{0j} + b_{0j} \sin \delta_{0j}). \quad (7)$$

В соответствии с этим ограничение по минимальным и максимальным возможным мощностям учитывается штрафной функцией $Ш_0$.

Задача сводится к минимизации следующей обобщенной целевой функции

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) + \sum_{i \in \Gamma+H} \mu_i' W_i' + \sum_{i \in \Gamma+H} \mu_i'' W_i'' + \sum_{l \in L} Ш_l + Ш_0 \rightarrow \min \quad (8)$$

с учетом ограничений (2) и (5).

Минимизация функции (8) осуществляется на основе решения системы уравнений, получаемой в результате приравнивания нулю её первых частных производных:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \mu_i} = P_i - \bar{P}_i = 0, & i \in \Gamma + H; \\ \frac{\partial F}{\partial \mu_i} = Q_i - \bar{Q}_i = 0, & i \in \Gamma_1 + H; \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \delta_i} = \sum_{j \in \Gamma+H} \mu_j' \frac{\partial W_j'}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in \Gamma+H} \mu_j'' \frac{\partial W_j''}{\partial \delta_i} + \sum_{l \in L} \frac{\partial Ш_l}{\partial \delta_i} + \frac{\partial Ш_0}{\partial \delta_i} + \\ \quad + \left(b_0 + \frac{\partial Ш_0}{\partial P_0} \right) \cdot \frac{\partial P_0}{\partial \delta_i} = 0, & i \in \Gamma + H; \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial U_i} = \sum_{j \in \Gamma+H} \mu_j' \frac{\partial W_j'}{\partial U_i} + \sum_{j \in \Gamma+H} \mu_j'' \frac{\partial W_j''}{\partial U_i} + \sum_{l \in L} \frac{\partial Ш_l}{\partial U_i} + \frac{\partial Ш_0}{\partial U_i} + \\ \quad + \left(b_0 + \frac{\partial Ш_0}{\partial P_0} \right) \cdot \frac{\partial P_0}{\partial U_i} = 0, & i \in \Gamma_1 + H; \\ \frac{\partial F}{\partial P_i} = b_i - \mu_i' = 0, & i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (11)$$

Расчет по данному алгоритму оптимизации осуществляется итеративно, на каждом шаге которого последовательно решаются подсистемы нелинейных уравнений (9), подсистема линейных уравнений (10) и определяются мощности расчетных станций по формуле

$$P_i^{(k)} = P_i^{(k-1)} - h_i^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

с расчетом шагов $h_i^{(k)}$ по условиям, приведенным в [3].

Затем вычисляется мощность балансирующей станции по формуле

$$P_0 = P_n + \pi - \sum_{i=1}^n P_i, \quad (13)$$

где P_n – суммарная нагрузка энергосистемы; π – суммарные потери активной мощности в электрических сетях, определяемые на основе расчета установившегося режима электрической сети решением системы нелинейных уравнений (9).

Для учета функциональных ограничений при оптимизации можно использовать квадратичную форму штрафной функции [2, 3].

Результаты расчетных экспериментов. Эффективность описанного алгоритма исследована, в частности, на примере оптимизации режима энергосистемы, схема которой представлена на рис. 1, с четырьмя расчетными ТЭС, четырьмя нагрузочными узлами и восемью ЛЭП, в одном из которых контролируется поток активной мощности.

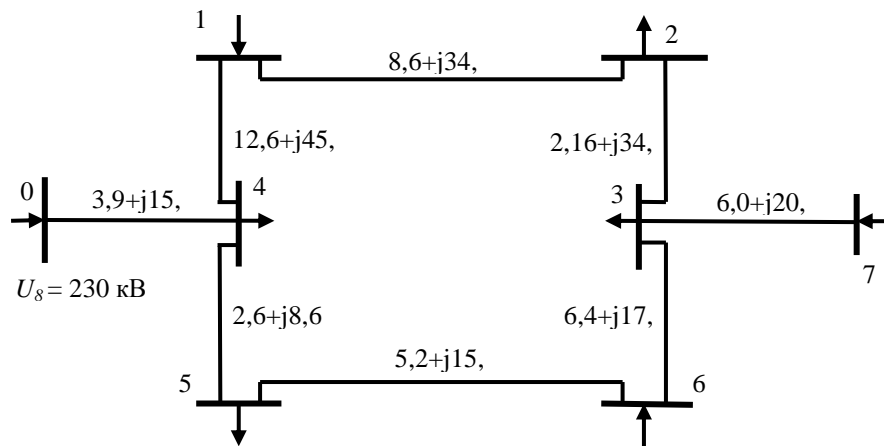


Рис. 1. Схема электрической сети энергосистемы.

Расходные характеристики условного топлива ТЭС имеют следующий вид, т.у.т./ч.:

$$B = c_i + d_i P_i + e_i P_i^2. \quad (14)$$

Активные мощности нагрузочных узлов, МВт:

$$P_2 = 350; \quad P_3 = 550; \quad P_4 = 230; \quad P_5 = 470.$$

Реактивные мощности узлов, МВАР:

$$Q_1 = -208,7; \quad Q_2 = 169,5; \quad Q_3 = 266,4; \quad Q_4 = 111,4; \\ Q_5 = 227,6; \quad Q_6 = -358,6; \quad Q_7 = -246,8.$$

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Ограничение по потоку активной мощности в контролируемый ЛЭП, МВт:
 $P_{6-3} \leq 260$.

Коэффициенты расходных характеристик ТЭС, которые находятся в узлах 0 (балансирующий), 1, 6 и 7, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Коэффициенты расходных характеристик ТЭС.

Номер узла с ТЭС, i	c_i	d_i	e_i
0	60	0,12	0,00055
1	90	0,10	0,00070
6	70	0,11	0,00040
7	80	0,15	0,00050

Предлагаемый алгоритм оптимизации режимов энергосистем с учетом потерь в электрических сетях предусматривает не только оптимальное распределение потерь между расчетными станциями, но и одновременную минимизацию этих потерь.

Для сравнения результатов и оценки эффективности предложенного алгоритма в таблице 2 приведены результаты оптимизации без учета ограничения по потоку мощности в контролируемой ЛЭП, но: а) с учетом потерь в электрических сетях без их минимизации; б) с учетом потерь в электрических сетях с их минимизацией предложенным алгоритмом; в) с учетом потерь в электрических сетях с их минимизацией с расчетом производных потерь методом конечных приращений.

Таблица 2.

Результаты оптимизации режима энергосистемы.

P_0 , МВт	P_1 , МВт	P_6 , МВт	P_7 , МВт	π , МВт	B , т.у.т./ч.
а) с учетом потерь без их минимизации					
397,53	326,63	559,10	407,28	90,54	872,53
б) с учетом потерь с их минимизацией предложенным алгоритмом					
374,80	337,23	578,05	398,25	88,33	871,85
в) с учетом потерь с их минимизацией с расчетом производных потерь методом конечных приращений					
374,75	336,71	578,66	398,20	88,33	871,85

Таким образом, в результате оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в электрических сетях с их одновременной минимизацией потери уменьшается на 2,21 МВт, а суммарный расход условного топлива при этом уменьшается на 0,64 т.у.т./ч.

Совпадение полученных результатов в п.п. б) и в) в таблице 2 подтверждает адекватность предложенного алгоритма.

По результатам исследования вопросов учета функциональных ограничений в виде неравенств при оптимизации предложенным алгоритмом в таблице 3 приведены результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в электрических сетях и ограничения по потоку активной мощности по ЛЭП 6-3 существующим с расчетом потока по коэффициентам распределения как в [1, 2, 5, 6] и предложенным алгоритмами.

Таблица 3.

Результаты оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь и ограничения по потоку активной мощности в контролируемой ЛЭП.

P_0 , МВт	P_1 , МВт	P_6 , МВт	P_7 , МВт	P_{6-3} , МВт	π , МВт	B , т.у.т./ч.
а) с расчетом потока мощности по коэффициентам распределения						
361,60	349,49	534,27	445,49	260,00	90,84	874,76
б) с расчетом потока мощности предложенным алгоритмом						
361,41	369,97	537,42	420,41	260,31	89,20	874,09

Приведенный в п.п. а) таблицы 3 поток мощности в контролируемой ЛЭП $P_{6-3} = 260,0$ МВт определен по линеаризованной формуле с использованием коэффициентов распределения. А фактическое её значение, определенное в результате расчета установившегося режима электрической сети составляет $P_{6-3} = 248,28$ МВт. Такое отклонение потока мощности связано с неточностью линеаризованной формулы. В результате влияния данного фактора суммарный расход условного топлива получилось на 0,67 т.у.т./ч. больше чем при оптимизации по предложенному алгоритму.

Выводы: 1. Предложен новый алгоритм оптимизации режимов энергосистем с эффективным учетом потерь сетях и функциональных ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП, свободный от расчета производных потерь в итерациях процесса расчета.

2. Установлено, что экономия в топливных издержках при оптимизации с учетом потерь предложенным алгоритмом обеспечивается за счет их минимизации и оптимального распределения между станциями.

3. Предложенный алгоритм оптимизации режимов энергосистем позволяет учитывать функциональных ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП с высокой точностью за счет расчета их значений с использованием параметров электрической сети.

4. Учет ограничений по потокам мощностей в контролируемых ЛЭП на основе использования их линеаризованных выражений, в общем случае, приводит к приближенным оптимальным результатам с дополнительными экономическими расходами.

Литература

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике // Под общ. ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: «Молия», 1999.
3. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. – Т.: Изд. ТашГТУ, 2014,
4. J.C. Carpentier: Optimal Power Flows: Uses, Methods and Developments. In: IFAC Proceedings Volumes. 18(7), pp. 11-21. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)60410-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60410-5). (1985).
5. Tulkin Gayibov, Sherxon Latipov, Bakhodir Uzakov. Power System Mode optimization by piecewise-linear approximation of energy characteristics of Power Plants. E3S WoC 139, 01086 (2019). doi.org/10.1051/e3sconf/201913901086.

6. Tulkin Gayibov, Behzod Pulatov. Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithm. E3S Web of Conferences 264, 04045 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404045> .

7. Hardiansyah, Junaidi, Yohannes. An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Economic Load Dispatch Problems. TELKOMNIKA, Vol.11, No.1, March 2013, pp.37-46. <http://dx.doi.org/10.12928/telkomnika.v11i1.880>.

8. El Hachmi Talbi, Lhoussine Abaali, Rachid Skouri, Mustapha El Moudden. Solution of Economic and Environmental Power Dispatch Problem of an Electrical Power System using BFGS-AL Algorithm, Procedia Computer Science, Volume 170, 2020, pp. 857-862, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.144>.

9. Ismi Rosyiana Fitri, Jung-Su Kim, Economic Dispatch Problem using Load Shedding: Centralized Solution, IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 4, 2019, pp. 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.152>.

10. B. Shaw, S. Ghoshal, V. Mukherjee, and S. P. Ghoshal. Solution of Economic Load Dispatch Problems by a Novel Seeker Optimization Algorithm. International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Volume 3, Number 1, 2011. doi:[10.1016/j.eswa.2011.07.041](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.041).

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.313.33.001.1

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****А.Ж. Есенбеков, М. Ибадуллаев, А.К. Нуралиев**

Ҳозирги кунда электромеханик тизимларда ҳосил бўладиган тебранишларни ўрганиш учун кўплаб изланишлар олиб борилмоқда. Малъумки электромеханик тизимларда индуктивлик ўзгариш ҳисобига тўғридан-тўғри электр-энергия механик энергияга ўзгартирилади. Шу сабабли электромеханик титратгичлар ишқаланувчи қисмлардан мустасно эканлиги катта аҳамият касб этиб, уни узоқ вақт ишлашини, чидамлигини ва самарадорлигини оширади. Одатда электромеханик титратгичларнинг якор тебранишини ток ёки қушланиш амплитудаси ва частотасини ўзгартириш билан бошқариш мумкин бўлиб, фойдаланишга қулай, автоматик тарзда бошқариладиган қурилмаларни лойиҳалаш мумкин. Айниқса электромагнитли титратгични резонансга яқин ҳолатда бошқарилса электроэнергия кам сарфланиб, фойдали иш коэффициентини ортади ва самарадорлиги юқори бўлган катта қувватли қурилма лойиҳалаш мумкин. Мақолада катта қувватли электр магнитли титратгич қурилмаларни лойиҳалаш усули замонавий компьютер ёрдамида MATLAB (пакет SIMULINK) дастурлари орқали амалга ошириш мумкинлиги исботланган. Бунинг учун электр механика тизимларнинг ўхшашилик (аналогия) қонунига асосан эквивалент схемаси ва дифференциал ҳолат тенгламаси тузилган. Математик моделлаштириш билан электр магнитли титратгичнинг конструктив тузилиши, электр магнит қисмлари ва параметр қийматлари ҳисоблаб чиқилган. Компьютер ёрдамида ҳисоблаш алгоритми ечиш услубияти батафсил изоҳланган. Математик моделлаштириш натижасида икки тактли электр магнит титратгич параметрлари, частотаси, юклагаси ва бошқа қийматлари ўзгаришига нисбатан, оптимал иш ҳолати аниқланган, электр механик ва электр магнит жараёнлари таҳлил қилиниб, ток, сарфланадиган қувват, конденсатордаги кучланиш ва якор тебраниши вақтга нисбатан ўзгариш графиги келтирилган.

Изучение колебательных явлений в электрических системах (ЭМС) представляет постоянный интерес для широкого круга исследователей. Наиболее эффективным источником колебаний во многих случаях является электромагнитный вибровозбудитель (ЭМВВ), в котором происходит преобразование электроэнергии в энергию механических колебаний, которые связаны с изменением индуктивностей. ЭМВВ обладают рядом существенных преимуществ перед другими типами возбудителей. Благодаря отсутствию трущихся частей они имеют высокую надежность и долговечность. Они позволяют в широком диапазоне плавно регулировать амплитуду и частоту колебаний, ЭМВВ легко встраивать в технологические линии, они обладают удобством обслуживания, низкими эксплуатационными расходами и широкими возможностями автоматизации. Эти явления представляют определенный интерес при разработке электромеханических устройств для интенсивных вибротехнологий. Особенно разработку управляемых по частоте резонансных ЭМВВ повышает экономич-

ность потребления электроэнергии и производительность вибротехники. В данной статье изложены результаты математического моделирования электромеханических систем (ЭМС) с электромагнитным вибровозбудителем (ЭМВВ). С помощью современных компьютерных программ MATLAB (пакет SIMULINK) показаны возможности конструирования управляемых электромеханических вибраторов на большой мощности. По аналогии электрических и механических величин составлены их эквивалентные схемы замещения. Выполнены решения дифференциальных уравнений движения, описывающие динамику ЭМС и показан алгоритм их расчета. Методом математического моделирования составлены данные по конструктивным и электромеханическим материалам, а также базы данных по готовым и серийным элементам ЭМС. Подробно описана реализация компьютерных программ. Анализ результатов математического моделирования позволил изучить электромагнитные процессы, происходящие в ЭМС с ЭМВВ, оптимизировать их режимы работы, т.е. найти лучшие значения внешней характеристики при оптимальной комбинации внутренних параметров устройства. Приведены временные диаграммы (осциллограммы) изменения кривых тока, мощности, напряжения на емкости и колебания якоря.

The study of oscillatory phenomena in electrical systems (EMC) is of constant interest to a wide range of researchers. The most effective source of vibrations in many cases is an electromagnetic vibration exciter (EMVV), in which electricity is converted into the energy of mechanical vibrations that are associated with changes in inductances. EMVS have a number of significant advantages over other types of pathogenes. Due to the absence of rubbing parts, they have high reliability and durability. They allow you to smoothly adjust the amplitude and frequency of vibrations in a wide range, they are easy to integrate into technological lines, they have convenient maintenance, low operating costs and extensive automation capabilities. These phenomena are of particular interest in the development of electromechanical devices for intensive vibration technologies. Especially the development of frequency-controlled resonant EMVS increases the efficiency of electricity consumption and the performance of vibration equipment. This article presents the results of mathematical modeling of electromechanical systems (EMC) with an electromagnetic vibration exciter (EMVV). With the help of modern computer programs MATLAB (SIMULINK package), the possibilities of designing controlled electromechanical vibrators at high power are shown. By analogy of electrical and mechanical quantities, their equivalent substitution schemes are compiled. Solutions of differential equations of motion describing the dynamics of the EMC are performed and an algorithm for their calculation is shown. By the method of mathematical modeling, data on structural and electromechanical materials, as well as databases on ready-made and serial EMC elements were compiled. The implementation of computer programs is described in detail. The analysis of the results of mathematical modeling made it possible to study the electromagnetic processes occurring in EMC with EMVV, to optimize their operating modes, i.e. to find the best values of the external characteristic with an optimal combination of internal parameters of the device. Time diagrams (oscillograms) of changes in the curves of current, power, capacitance voltage and armature oscillations are given.

Принципы и особенности моделирования ЭМС: Математическое моделирование является универсальным методом решения различных задач повышения качества и эффективности электромеханических систем (ЭМС).

Все электромеханические системы являются динамическими системами, характеристики которых изменяются во времени. Метод математического моделирования ЭМС опирается на мощную вычислительную базу и программное обеспечение. Порядок разработки модели ЭМС опирается на пять принципов: математическое описание динамических характеристик объекта; формирование исходных и начальных условий (включение и выключение, управление ЭМС или нагрузкой и т.д.); составление математического описания внешних воздействий; выбор методов решения дифференциальных уравнений; анализ результатов математического моделирования.

В данной статье объектом исследования является ЭМС с ЭМВВ, осуществляемое путем моделирования. Электромеханическое преобразование энергии осуществляется с помощью электрического генератора – источника ЭДС [10,11,12,15,16,17,19].

Процесс моделирования включает три элемента: субъект, объект и модель. Методы моделирования разделяются на материальные и идеальные, они определяются на основании аналогии объекта и модели. Математическое моделирование относят к методу идеального моделирования. С помощью математического моделирования решают задачи расчетов и проектирования электромеханических систем; проводят анализ процессов, происходящих в таких системах; проводят оптимизацию устройств систем; осуществляют синтез ЭМС и энергетических систем. С помощью алгоритмов и методик математического моделирования можно рассчитать нагрузочные, рабочие, амплитудные и фазочастотные характеристики ЭМС.

С их помощью составляются данные по конструктивным и электротехническим материалам, а также базы данных по готовым и серийным элементам электромеханических систем и электромагнитным вибровозбудителей. Математическое моделирование позволяет проводить анализ разработанного устройства по элементам, как в амплитудно-частотном, так и фазочастотном вариантах, а также и по временной области, с помощью переходных и импульсных характеристик; а также по анализу влияния внешних факторов на выходные статические и динамические характеристики. Синтез ЭМС и ЭМВВ с помощью математического моделирования определяет структуру проектируемого устройства, которая отвечает необходимым требованиям. Математическое моделирование ЭМС и ЭМВВ осуществлено на основании схемотехнического подхода с использованием схем замещения, в которой задачи рассматриваются как задачи анализа и синтеза электрических цепей, а методы решения разработаны на основе теории электромагнитного поля и теории магнитных цепей. Анализ этих электрических цепей состоит в определении реакции цепи ($Y(t)$) на внешнее воздействие ($X(t)$), а синтез заключается в разработке схемы по реакции цепи на заданное внешнее воздействие. Для анализа было проведено математическое описание процессов по схемам замещения, и в исследуемой системе ЭМС и ЭМВВ выполнено решение дифференциальных уравнений процессов в устройстве.

Для синтеза определено количество элементов (минимальное) в схемах замещения и их параметров, а также был осуществлен переход от схем замещения к реальной схеме, т.е. к технической реализации разработанного устройства. Схема построения математической модели показана на рис. 1.

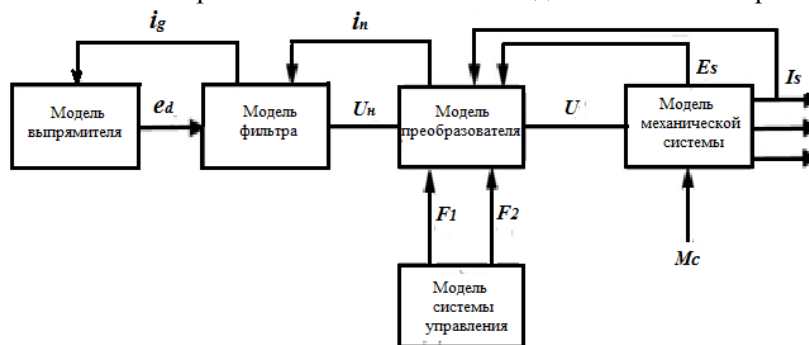


Рис. 1. Блок - схема модели энергетического канала ЭМС

Рассмотрим компоненты математического моделирования в электро-механических системах. Преобразователь электроэнергии-управляемый или неуправляемый выпрямитель (или инвертор). Электромеханический преобразователь предполагает совместную работу электромагнита с управляемым полупроводниковым преобразователем. Механический преобразователь предполагает использование «коротких» механических передач (величина зазора ΔX). Информационные устройства – контроллеры для хранения и выдачи информации. Компьютерные системы управления-системы программируемых контроллеров, средства коммуникации, персональные компьютеры. Все перечисленные компоненты модели разработаны в соответствии с рис.1.

Методы электромеханических аналогов: Рассмотрим электромеханические аналоги систем, которые могут быть как по переменным характеристикам, так и по параметрам. Аналогия по переменным характеристикам связана с причинами движения [1,2,6,16,17,19,20]. Так, например, движение электрических зарядов связано с напряжением U_n . Механическое движение связано с действием силы F . Таким образом механическая сила является аналогом электрического напряжения. Скорость изменения заряда представляет электрический ток:

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ а скорость механических движений: } v = \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

то есть изменение положения якоря относительно равновесия от времени. Это говорит о том, что смещение якоря от положения равновесия является аналогом скорости электрического заряда, тем более оба явления описываются одностипными дифференциальными уравнениями.

Падение напряжения на индуктивности:

$$u_L = L \frac{di}{dt} \text{ является аналогом закона Ньютона: } F = m \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

С учетом аналогий по переменным, можно утверждать, что индуктивность L служит аналогом массы. Сравнивая кинетическую энергию механического движения:

$$T = mv^2/2 \text{ и энергию магнитного поля: } W_M = L \frac{i^2}{2} \quad (3)$$

можно утверждать, что они аналогичны как по форме, так и по свойствам.

Возьмем напряжение на емкости:

$$U_c = \frac{q}{c}, \text{ из закона Гука: } F = KX \quad (4)$$

Сравнивая оба выражения (3) и (4) можно заключить, что емкость С является аналогом величины, обратной коэффициенту упругости К:

$$C_M = \frac{1}{K} \quad (5)$$

где C_M - механическая гибкость. Величину, обратную коэффициенту упругости, называют в механике гибкостью, т.е. в этом случае емкость электрическая служит аналогом гибкости.

Потенциальная энергия при продольной деформации в механике определяется формулой:

$$П = \frac{F^2}{2K} = \frac{C_M F^2}{2}, \text{ а энергия электрического поля конденсатора: } W = \frac{CU^2}{2} \quad (6)$$

В этом случае энергия при деформации и энергия конденсатора являются аналогами по свойствам.

Если сравнивать напряжение на сопротивлении при последовательном соединении элементов:

$$U_R = Ri \text{ и силу трения: } \bar{F}_{TP} = R_M v = \mu \bar{N} \quad (7)$$

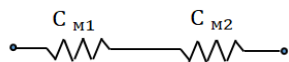
то можно говорить о том, что коэффициент трения μ и активное сопротивление Z_M в электрической схеме являются аналогами.

Механическое сопротивление:

$$Z_M = \frac{F}{v} \quad (8)$$

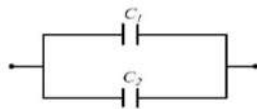
Уравнение (7 и 8) представляют собой закон Ома в механике.

Аналогия электрических и механических величин существуют и в схемах соединения их элементов



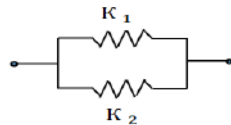
$$C_M = C_{M1} + C_{M2} \quad (9)$$

Последовательное соединение пружины с гибкостью C_{M1}, C_{M2} аналогично параллельному соединению конденсаторов:



$$C = C_1 + C_2 \quad (10)$$

При параллельном соединении конденсаторов эквивалентная емкость равна сумме емкостей, что аналогично последовательному соединению пружин с различными гибкостями. Параллельное соединение пружин:



$$K_s = K_1 + K_2 \quad (11)$$

При параллельном соединении пружин общая упругость равна сумме упругостей каждой пружины.



Это аналогично последовательному соединению конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (12)$$

При соединении двух масс:

$$m = m_1 + m_2 \quad (13)$$

Их аналогом будет последовательное соединение двух индуктивностей. Таким образом аналогом последовательного соединения механических сопротивлений будет параллельная электрическая схема, а параллельным будет последовательное соединение электрических элементов.

Любое уравнение механической системы можно представить в виде электрической системы как с учетом электромеханических аналогий по переменным характеристикам, так и по элементам. Этот метод электромеханических аналогий положен в основу моделирования ЭМС и ЭМВВ.

Разработка математической модели механической системы с электромагнитным вибровозбудителем: Проведем анализ динамики виброустановки при использовании системы управления тиристорами для формирования токов, которые играют важную роль при работе виброустановки и применении её в практических целях. Необходимые данные о работе виброустройств можно получить, построив математическую модель на основе электромеханических аналогий. Эта математическая модель позволяет, в силу аналогичности процессов, происходящих в механических и электрических системах, построить электрическую схему - аналог, которая описывается по форме такими же дифференциальными уравнениями, что и механические системы.

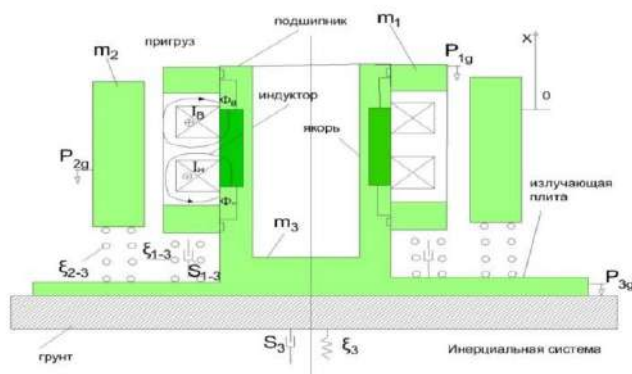


Рис. 2. Конструкция вибрационной установки

На рис.2 представлена конструкция электромагнитного вибратора, состоящего из плиты, якоря и массы грунта, связанной с плитой, которые объединены в отдельный блок с массой m_3 . Этот блок производит на поверхность грунта давление с коэффициентом ξ_3 , характеризующий упругость грунта. Грунт оказывает противодействие с сопротивлением ξ_3 , определяет потери на неупругие деформации. Непрерывную работу вибрационной установки осуществляет прижимное устройство, состоящее из упругого элемента с коэффициентами ξ_{2-3} и груза m_2 . Потери характеризуются сопротивлением между взаимными колебаниями масс m_1 и m_3 (в подшипниках).

Источник характеризуется изменяющейся по знаку переменной силой P_{\sim} . Для возникновения силы используем электромагнитный линейный двигатель, который управляется током I . Постоянные составляющие силы такие, как вес, не влияют на динамическую работу установки и ими можно пренебречь. От конструкции перейдем к механической системе (рис. 3а и 3б).

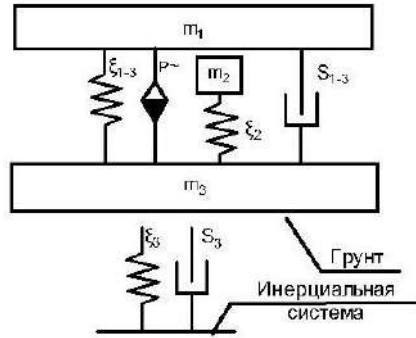


Рис.3. а) Упрощенная конструктивная схема вибрационной установки

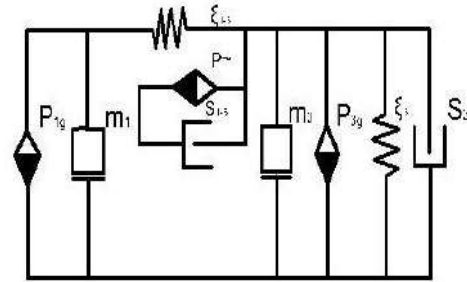


Рис.3. б) Механическая цепь вибрационной установки

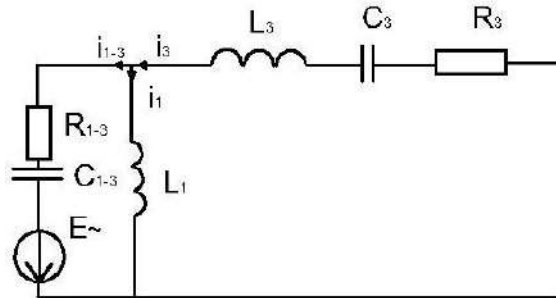


Рис.4. Электрическая схема – аналог замещения механической части

От упрощенной конструкции вибратора (рис.3.а) мы перешли к механической подсистеме (рис.3.б). Затем, на аналогии, механическую цепь заменили на электрическую (рис.4) путем замены механических элементов на электрические.

Для аналога схемы замещения запишем дифференциальные уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_3}{dt} &= \frac{1}{L_3} [(R_3 + R_{13})i_3 + R_{13}i_1 - U_3 - U_{1-3} + E] \\ \frac{d\Psi_3}{dt} &= \frac{1}{C_3} i_3 \\ \frac{di_3}{dt} &= \frac{1}{L_1} [R_{13}i_3 - R_{13}i_1 + U_{13} - E] \\ \frac{d\Psi_1}{dt} &= \frac{1}{C_{13}} (i_3 - i_1) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Перейдя к механической системе, получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{m_3} \left[(\mu_3 + \mu_{1-3})v_3 + \mu_{1-3}v_1 - P_{\xi_3} - P_{\xi_{1-3}} + P \right] \\ \frac{dP_{\xi_3}}{dt} &= \frac{1}{\xi_1} v_3 \\ \frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{m_1} (\mu_{1-3}v - \mu_{1-3}v_1 + P_{\xi_{1-3}} - P) \\ \frac{dP_{\xi_{1-3}}}{dt} &= \frac{1}{\xi_{1-3}} (v_3 - v_1) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где v_3 и v_1 - скорости якоря и индуктора; μ_{1-3}, μ_3 - коэффициент трения подшипниковых узлов и грунта; ξ_1 и ξ_{1-3} - коэффициент упругости грунта и пружины между якорем и индуктором; P_{ξ_3} и $P_{\xi_{1-3}}$ - сила, возникающая в пружине с ξ_3 и ξ_{1-3} ; P - возбуждающая колебания сила.

Источником возбуждающей силы является двухтактный электромагнитный вибратор возвратно - поступательного движения. Эта сила определяется функцией координаты X (положения якоря) и намагничивающей силы F . По методу наименьших квадратов аппроксимацию функции $P(xF)$ можно представить в виде:

$$P(xF) = 1469 (5,903 \cdot 10^6 \cdot x^2 + 25,071 \cdot 10^3 x)F, \quad (16)$$

где x - положение якоря относительно индуктора, (мм); F - намагничивающая сила, (кА).

При расчетах были использованы: $m_1=2000$ кг; $m_3=493$ кг, $\mu_1=6000$ кг/с; $\xi_{1-3}=7,7 \cdot 10^{-7}$ М/Н; $\xi_3=7,7 \cdot 10^{-9}$ М/Н; $\mu_3=130000$ кг/с.

Весь период работы формирователя токов разбивался на интервалы. Каждый интервал описывался системой линейных дифференциальных уравнений, затем стыковались численные решения. Полученные значения переменных состояний в конце "n" интервала использовались как начальные значения этих переменных состояния для "(n+1)" интервала.

Запишем уравнения для трех участков токов:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{U_c - iR}{L} \\ \frac{dv_c}{dt} &= -\frac{i}{C}, \text{ интервал } (t_0 \div t_1); \\ \frac{di}{dt} &= \frac{i}{R}, \text{ интервал } (t_2 \div t_3); \\ \frac{di}{dt} &= -\frac{U_c - iR}{L}; \\ \frac{dv_c}{dt} &= \frac{i}{C}, \text{ интервал } (t_3 \div t_5) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Уравнения решались при следующих численных значениях параметров цепи: $R=1,08$ мОм – сопротивление обмоток; $C=4650$ пкФ - ёмкость конденсаторов; $L=0,412$ мГн - индуктивность; $U_c=180$ В - напряжения емкости.

Моделирование и реализация математической модели: Для моделирования использовались прикладной пакет программы Simulink и программа MatLAB. Прикладной пакет программы Simulink содержит графический интерфейс, который для математической модели сводится к компоновке функциональных блоков: интеграторов - сумматоров.

Программа моделирования представлена на рис.5, 6. Она состоит из 6 частей, четыре из них служат для формирования тока (рис.5), две - для механической части вибратора (рис.6).

Первая часть программы включает блоки задания функции F_{cn} и F_{cn1} , которые представляют собой системы дифференциальных уравнений. Эта часть программы решает дифференциальные уравнения. Она представляет собой моделирование для численного решения схемы формирователя токов. Функция F_{cn} является током в обмотке $F_{cn}=f(iw)$, F_{cn1} – напряжением на конденсаторе $F_{cn}=f(U_c)$.

Выбор дифференциального уравнения в F_{cn} и F_{cn1} происходит с помощью двух вспомогательных переменных S и P. Переменные S и P принимают значения “0” или “1”, от которых происходит расчет импульса тока.

Если $S=1$, то формирование импульса тока до значения напряжения на конденсаторе $U_c = 240$ В (момент t_2 рис. 7 б).

Переменная составляющая “P” определяет управляющий импульс на тиристоре VS3 и $P=1$ на интервале $t_3 - t_5$ (рис 7 б).

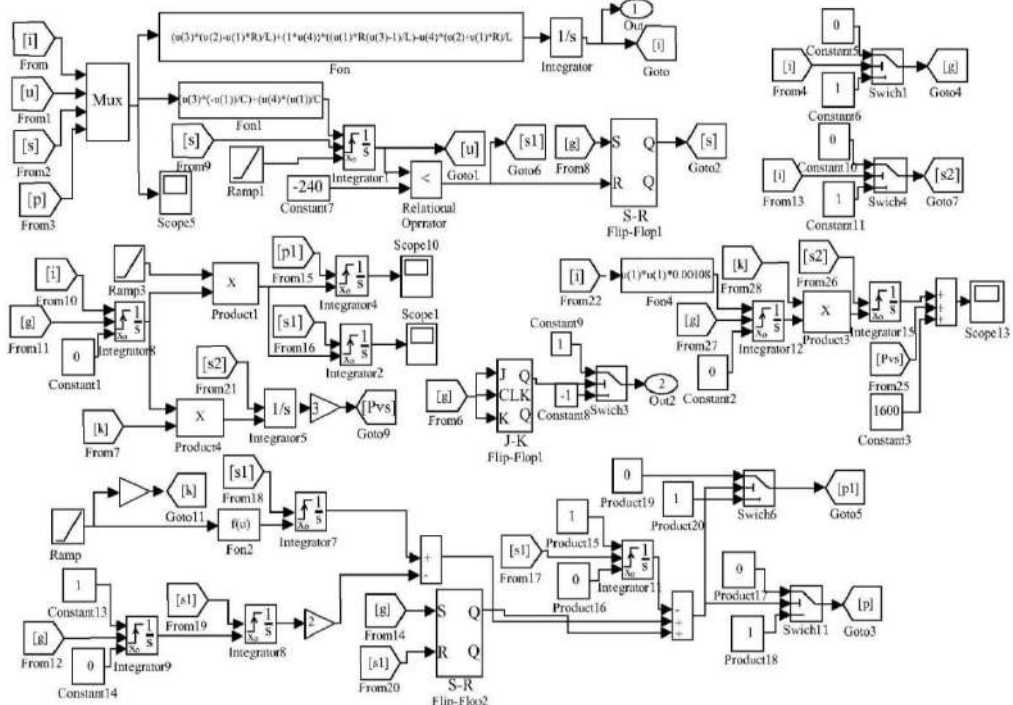


Рис.5. Блок-схема формирователя тока

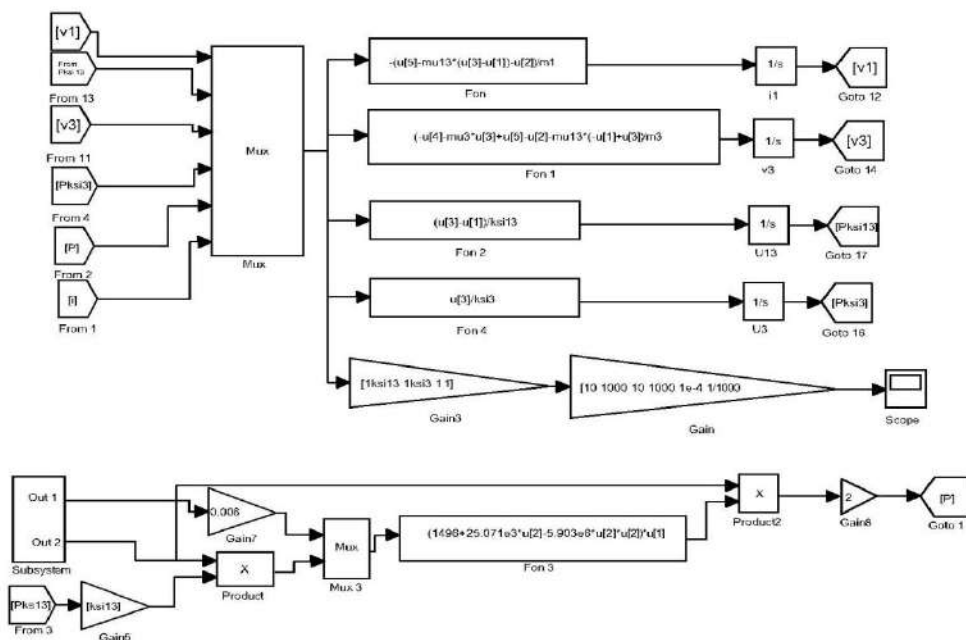


Рис.6. Моделирование механической системы вибратора

Интегратор, который находится после блока F_{cn1} , фиксирует U_{c0} (начальное напряжение) при прохождении нового импульса и записывает его при помощи блока R_{amp1} , возрастающий линейно. При $S_1 = 1$, напряжение на конденсаторе меньше 240 В. В это время запоминаются значение (Integrator 7) длительности части импульса от t_0 до t_2 всего импульса тока в данный момент времени (Integrator 7).

Происходит формирование однополярных импульсов тока с изменениями частоты и амплитуды тока.

Вторая часть программы содержит две переменные g и S_2 .

При $g=1$ ток в тиристоре $i < 0$, так как происходит формирование нового импульса тока и его значение начинает увеличиваться. При этом переменная g сразу становится равной 0.

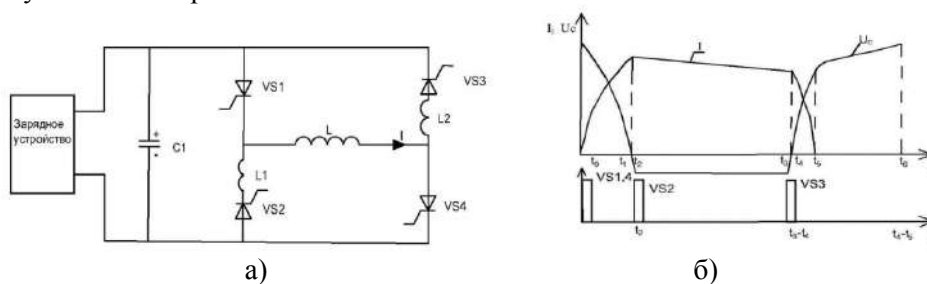


Рис.7. Формирователь токов в тиристорах: а) схема для формирования импульсов тока в тиристорах; б) временные диаграммы

При $S_1 = 1$ и токе $i < 0.01$ А происходит запоминание некоторых значений по фронту импульса перед окончанием импульса тока. Поэтому переменные g и

S_2 формируют единичные кратковременные импульсы, при которых происходит смена решаемых дифференциальных уравнений и запоминание величин перед формированием нового импульса тока.

Третья часть задает длительность импульса тока. Ширина импульсов осуществляется изменением длительности $t_2 - t_3$. Этот блок рассчитывает его значение. Значение длительности переднего фронта $t_1 - t_2$ запоминается (Integrator 7) и происходит запоминание длительности всего импульса.

Значение длительности $t_2 - t_3$ определяется вычитанием показаний (Integrator 8) и (Integrator 7). По секундомеру на Integratore 11 определяется значение, и оно вычитается из значения интервала $t_2 - t_3$, когда эти величины равны, то $p=1$, что соответствует подаче управляющего импульса на тиристор VS3.

Значение $P_1 = 1$ происходит за доли микросекунды до появления $p=1$. При этом происходит запоминание значения интервала тока через максимально загруженной тиристор VS4 и рассчитывается среднее значение тока через него. Переменная имеет значение удвоенной частоты следования импульсов тока, и она необходима для расчета средней мощности за половину периода работы формирователя тока.

Четвертая часть программы рассчитывает среднее значение тока через тиристор VS3 и по мощности, выделяющейся на двух тиристорах за половину периода импульсов. В Integratore 3 интеграл умножается на значение частоты.

Средний ток фронта S_2 запоминается в Integratore 2, а фронт P_1 в Integratore 4 тиристора VS3. Средний ток за $\frac{1}{2}$ периода в Integratore 5 запоминается для одного формирователя тока и это значение умножается на "U" тиристора. Это дает мощность, выделяющуюся на тиристорах P_{vs} в открытом состоянии.

С помощью пятой части программы рассчитывается средняя мощность в обмотках вибратора за $\frac{1}{2}$ следования импульсов и определяются все потери в установке. Блок F_{cn4} получает значение мощности и интегрируется в Integrator 12. Эти значения мощности в обмотках перемножают на переменную и запоминают в Integratore 15.

Активные потери в обмотках задаются постоянной величиной, равной 1600 Вт. Полную мощность потерь наблюдают на Scope 13.

Перевод однополярных импульсов в двух полярные осуществляется в шестом блоке. Предварительно ток умножают на ± 1 (product). Это значение меняется J-K триггером по переменной g.

Моделирование механической части вибратора показано на рис. 6, где представлена графическая структура программы. Вся система дифференциальных уравнений механической системы заключена в переменных блоках F_{cn} и F_{cn4} , которые модулируют работу схемы. Функция F_{cn} определяет скорость индуктора, а F_{cn1} – скорости якоря, F_{cn2} – перемещение якоря с относительной упругостью ξ_{1-3} ; F_{cn3} – перемещение якоря с относительной упругостью ξ_1 . Подпрограммой механической системы является модель программы формирователя тока (рис. 7). Представленная математическая модель позволила получить характеристики среднего тока через загруженный тиристор VS4, мощность потерь в тиристорах формирователя тока на обмотках катушки, активные потери в установке (рис 8,9,10).

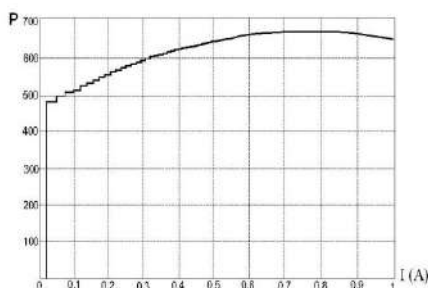


Рис.8. График изменения среднего значения тока через максимально нагруженный тиристор

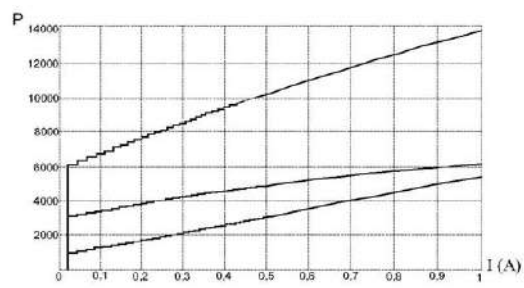


Рис.9. График изменения мощности потерь в установке

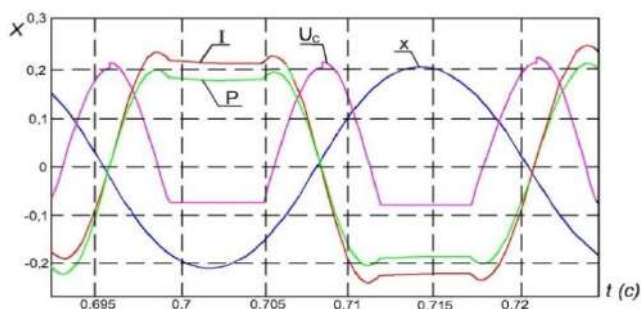


Рис. 10. График изменения кривых I , U_c и P в виброустановке. (временные диаграммы - осциллограммы)

Математическое моделирование позволило оптимизировать систему, т.е. найти лучшие значения внешней характеристики при оптимальной комбинации внутренних параметров элементов и устройства разработанной системы.

Выводы: 1. Разработаны математические модели механической и электрической части электромагнитного вибратора.

2. Разработана программа моделирования процессов, происходящих в электромагнитном вибраторе для их пояснения.

3. Разработана конструкция двухтактного электромагнитного вибратора для оптимальной работы электромагнитного поля.

4. Описана система управления для выбора частоты, длительности импульсов амплитуд токов для оптимальной работы электромагнитного вибратора.

5. Проведен анализ периодических режимов работы электромагнитного вибровозбудителя для определения параметров устройства.

Литература

1. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи 5-е издание. Москва: Высшая школа, 2015. С.375.

2. S.H.Chowdhury, Tilliakhojaev M., Md.S.Ullah. An Analysis on Electro-Magnetic Vibro-Exciter Fed by Non-linear Power, controlled by Velocity transducer.

Journal of Electrical Engineering, the Institution of Engineers, Bangladesh. Vol. EE24, №1, 1996.

3. Ибадуллаев М.И., Нуралиев А.К., Есенбеков А.Ж., Назаров А.И., Резонансный электромагнитный вибровозбудитель колебаний с обратной связью // Вестник МЭИ. 2020 .№1, С.57-60.

4. Нуралиев А.К., Ибадуллаев М.И. и Есенбеков А.Ж., Назаров А.И. Автоколебательные процессы в системе двух электромагнитов, соединенных по дифференциальной схеме // Вестник МЭИ 2021. №2. С.71-75 .

5. Кораблев С.С. Об автоколебаниях электромеханического вибратора // Известия ВУЗов. Электромеханика, 1963.- №6 С. 723-728.

6. Чесноков А.А. к теории и расчету электромагнитных колебаний // Электричество, 1961, - №12 С.37-40.

7. Исмаилов З.И., Халилов Н.А., Исмаилов А.З. Исследование двухтактного вибровозбудителя в вынужденном режиме // Узбекский журнал. Проблемы информации и энергетики. Ташкент 2007. - №1 С. 58-62 .

8. Есенбеков А.Ж., Ибадуллаев М.И. Исследование переходных процессов с помощью ЭВМ в управляемых вибровозбудителях // Вестник Каракалпакского отделения академии наук РУз. - Нукус. 2019. - №1. - С. 5-8.

9. Афанасьев А.И, Закаменных Ю.Г., Анализ энергозатрат резонансных вибротранспортных машин. Изв. Вузов. Горный журнал 2008 №8 С.101-106.

10. Ибадуллаев М., Тилляходжаев М.М., Нуралиев А.К. Синтез двухтактного электромагнитного вибровозбудителя, выполненного по дифференциальной схеме. Вестник ТашГТУ. Т 2003 №4 С.75-80.

11. Крупенин В.Л, Мягкохлеб К.Б, Полищук О.Ф. Динамика электромагнитных возбудителей вибрации с подмагничиванием при полигармоническом управлении. Вестник научно-технического развития 2014 №4 (80 С.16-23)

12. Васильев Г.В.. Математическая модель динамики двухместной вибротранспортирующей машины вибровозбудителями на нижней массе. Транспорт Урала 2008 №1 (16) С.33-34

13. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.Наука 1984 С.520.

14. Ильин М.М. Теория колебаний. Учебник для Вузов 2-издание. Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана 2003 С.272.

15. Назаров А.И, Ибадуллаев И., Тилляходжаев М.М. Структурная схема электромагнитного вибровозбудителя с амплитудно-частотным управлением. Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Т. 2016 №3-4 с.55-59.

16. Щеголев С.А. Метод малого параметра А.Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. Учебно-методическое пособие. Одесса ОНУ 2015 С.272.

17. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. Ч.2. – М.: 1965, - С.360

18. Nuraliyev A, Ibadullayev M. Research and development of resonant electromagnetic vibration screen for intensive vibration technologies. Rudenko International Conference of Methodological Problems in Reliability study of large energy systems. RSES 2020. Kazan 2020

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 691.316

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНООПТИМАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38 кВ

А.Д. Таслимов

Мақолада тақсимловчи электр тармоқлар (ТЭТ) параметрлари оптимал қийматларидан ўзгарганда уларга сарфланадиган умумий харажатларнинг тенг оптимал зонаси ўрганиб чиқилган. Бу эса мақсадли функция катталиги берилганда ТЭТ параметрларининг иқтисодий мақсадга мувофиқ қийматларидан рухсат этилган оғишини аниқлаш ва оптималлаштириладиган параметрларни унификациялаш имконини берган. Параметрлар шундай танланадиги, бунда тармоқ бўйича умумий харажатлар ўзининг оптимал қиймаларидан 3-5% га катта бўлмасин. Мақсадли функция $Y(x)$ оптимумнинг базис нуқтасига нисбатан ўлчамсиз шаклда тuzилади. Турғунликни аниқлаш масаласи $x_j(x_j \geq 1)$ ўзгарувчанлар қийматларининг турли оғишларида. Масала тескари қўйилганда мақсадли функция унинг оптимал қийматидан рухсат этилган оғиши ϵ тарзида берилади ва мақсадли функциянинг қиймати берилган ϵ қийматдан катта бўлишига олиб келмайдиган параметрларнинг мумкин бўлган ўзгаришлари диапазони топилади. Турғунлик масаласини ечилиши бир параметрнинг оптимал ўзгариши қонуниятини бошқа параметрнинг оптимум нуқтадан ўзгарганда аниқлаш имконини беради. 0,38кВли ТЭТларнинг мақсадли функцияси(умумий харажатлар) барқарорлиги унинг минимум соҳасида ўрганилган ва мақсадли функциянинг тенг иқтисодий соҳасида оптимал параметрларнинг дискрет стандарт қийматлари аниқланган. Бунинг учун иқтисодий барқарорликни ўрганиши учун 0,38кВли тармоқ учун умумий критериял тенглама олинган. Бунда мақсадли функциянинг тармоқ параметрлари бўйича тенг иқтисодий зонаси, бир томондан, ТЭТ параметрларини унификациялаш учун шароит яратади, бошқа томондан – бу параметрларни аниқ танлаш имконини бермайди.

В работе проводится анализ равно оптимальных областей суммарных затрат распределительных электрических сетей (РЭС) при отклонении параметров от их оптимальных значений, что позволяют определить допустимые отклонения параметров от их экономически целесообразных значений при заданной величине целевой функции и создают предпосылки для унификации оптимизируемых параметров. Выбор параметров осуществляется таким образом, чтобы суммарные затраты по сетям не превышали своих оптимальных значений более чем на 3~5%. В безразмерной форме составляется целевая функция $Y(x)$ относительно базисной точки оптимума. Равно оптимальные области задаются различными отклонениями значения переменных $x_j(x_j \geq 1)$. При обратной постановке этой задачи задаются допустимым отклонением целевой функции ϵ от ее оптимального значения и при этом ищется возможный диапазон изменения параметров, не приводящих к увеличению значения целевой функции выше заданного значения ϵ . Решение задачи определения устойчивости позволяет выявить закономерности

оптимального изменения одного параметра при отклонении другого от точки оптимума. Исследована устойчивость целевой функции (суммарных затрат) РЭС 0,38кВ в области ее минимума и определены дискретные стандартные значения экономических параметров в области равно оптимальности целевой функции. Для этого получено общее критериальное уравнение для сети 0,38 кВ. При этом существенная равно оптимальная зона целевой функции по параметрам сети, с одной стороны создает предпосылки для унификации параметров РЭС, с другой стороны - не позволяет однозначно выбрать данные параметры.

The paper analyzes the equally optimal areas of the total costs of distribution electrical networks when the parameters deviate from their optimal values, which makes it possible to determine the permissible deviations of the parameters from their economically feasible values for a given value of the objective function and create the preconditions for unification of the optimized parameters. The choice of parameters is carried out in such a way that the total network costs do not exceed their optimal values by more than 3~5%. In dimensionless form, the objective function $Y(x)$ is compiled relative to the base point of the optimum. Equally optimal areas are set by various deviations of the values of the variables $x_j(x_j \geq 1)$. In the reverse formulation of this problem, the permissible deviation of the objective function ε from its optimal value is set, and at the same time the possible range of variation of the parameters is sought that does not lead to an increase in the value of the objective function above a given value of ε . Solving the problem of determining stability allows us to identify patterns of optimal change in one parameter when the other deviates from the optimum point. The stability of the objective function (total costs) of distribution electrical networks of 0.38 kV in the region of its minimum is investigated and discrete standard values of economic parameters in the region equal to the optimality of the objective function are determined. For this, a general criterion equation was obtained for a 0.38 kV network. At the same time, a significant and optimal zone of the objective function in terms of the network parameters, on the one hand, creates the preconditions for the unification of the parameters of distribution electrical networks, on the other hand, it does not allow to unambiguously select these parameters.

Определение и выбор оптимальных параметров электрических сетей предопределяет изучения равно оптимальных зон целевой функции суммарных затрат в области ее минимума, что позволяют определить допустимые отклонения параметров от их экономически целесообразных значений при заданной величине отклонения целевой функции суммарных затрат и создают предпосылки для оптимизации и унификации оптимизируемых параметров [1]. Оптимальные параметры, полученные на основе оптимизации целевой функции суммарных затрат являются весьма условными. Поэтому при описании математической модели электрической сети реальные технико-экономические параметры представляются как дискретные точки пространства в виде непрерывные.

Выбор параметров элементов электрической сети должен строго соответствовать дискретной шкале стандартах значений параметров этих элементов. При любом отступлении параметров от их оптимальных значений суммарные затраты по электрической сети увеличиваются. При технико-

экономических расчетах, варианты с отклонениями суммарных затрат в диапазоне до 3-5% [2], считаются практически равно-экономичными. Следовательно, выбор совокупности параметров должен быть осуществлен таким образом, чтобы суммарные затраты по электрическим сетям не превышали своих оптимальных значений более чем на 3~5%. В связи со сказанным возникает необходимость исследования целевой функции суммарных затрат в окрестности точки минимума.

В безразмерной форме целевая функция(суммарные затраты) $Y(x)$ относительно базисной точки оптимума в зависимости от переменных (параметры РЭС) x_j записываются как [3]:

$$Y_*(x) = \pi_0 + \sum_{i=1}^m \pi_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \quad (1)$$

$$\text{где } \pi_0 = \frac{\alpha}{y_0 + \alpha_0} \quad \pi_i = \pi_i \frac{y_0}{y_0 + \alpha_0} \quad i=1, \dots, m. \quad (2)$$

π_0, π_i – соответственно, критерий подобия оптимальных и других вариантов; y_0 – оптимальное значение целевой функции (суммарные затраты); α^{ij} - показатели степени переменных(оптимизируемые параметры).

При определении области равно оптимальности значения $Y_*(x)$ задаются различными отклонениями значения переменных $x_j(x_j \geq 1)$. При обратной постановке этой задачи задаются допустимым отклонением целевой функции ε от ее оптимального значения и при этом ищется возможный диапазон изменения параметров, не приводящих к увеличению значения целевой функции выше заданного значения ε . При этом условие равно оптимальности может быть записано [4]:

$$1 + \varepsilon \geq \pi_0 + \sum_i \pi_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \quad (3)$$

Граница области равно оптимальности задается уравнением n -мерной поверхности

$$1 + \varepsilon = \pi_0 + \sum_i \pi_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \quad (4)$$

проекции, которого на осях параметров дают верхний и нижний пределы (возможный диапазон изменения) этих параметров.

Решение задачи определения зоны равно оптимальности дает более наглядную картину области устойчивости, а также способствует выявлению закономерности оптимального изменения одного параметра при отклонении другого от точки оптимума.

При фиксированных значениях $x_j(j = 1, \dots, n, j \neq q \neq r)$ решение уравнения (4) относительно параметров x_q и x_r дает двумерную область равно оптимальности в плоскости этих параметров, после чего определяется допустимая область равно оптимальности целевой функции.

Проведен анализ равно оптимальных зон целевой функции суммарных затрат городских распределительных электрических сетей (РЭС) 0,38 кВ в области ее минимума, что предполагает анализ применимости дискретных стандартных значений оптимальных параметров в области равно оптимальности

целевой функции суммарных затрат, необходимости или возможности применения дополнительных критериев для однозначного выбора параметров и создает предпосылки для дальнейшей унификации данных параметров.

Так как, структуры целевой функции суммарных затрат городских РЭС 0,38 кВ совпадают, то для исследования равно оптимальных зон общее критериальное уравнение для сети 0,38 кВ имеет вид [5]:

$$Z_i = \pi_{13} M_i^{1,06} F_{2,i} + \pi_{33} M_i^{-0,13} F_{2,i} N_{F,i}^{-1} + \pi_{43} M_i^{-1,21} F_{\Gamma,i}^{-1} N_{F,i}^{0,3} \quad (5)$$

где, «*» - означает, что все параметры выражены в относительных единицах от их оптимальных значений; $\pi_{13}, \pi_{23}, \pi_{33}, \pi_{43}$ - критерий подобия оптимальных вариантов; $N_{F,i}$ - количества стандартных сечений линий 0,38 кВ; $F_{\Gamma,i}$ - сечения головных участков линий 0,38 кВ, мм²; M_i - количества линий 0,38 кВ, отходящих от одного источника питания.

Критерия подобия в матричном виде определяются по формуле [3]:

$$\pi_{\mathcal{E}} = (\alpha^T)^{-1} \cdot \beta$$

где

$$\alpha^T = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{m1} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \alpha_{n1} & \dots & \alpha_{mn} \\ -1 & \dots & -1 \end{pmatrix}; \quad \pi_{\mathcal{E}} = \begin{pmatrix} \pi_{1\mathcal{E}} \\ \cdot \\ \cdot \\ \pi_{m\mathcal{E}} \end{pmatrix}; \quad \beta = \begin{pmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -1 \end{pmatrix}.$$

Здесь α^T - матрица показателей степени параметров; $\pi_{\mathcal{E}}$ - столбовая матрица критериев подобия; m - количество составляющих суммарных затрат; n - количество параметров.

Для модели (1) составим из показателей степени параметров транспонированную матрицу α^T и найдем обратную матрицу $(\alpha^T)^{-1}$:

$$\alpha^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0,35 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0,5 & 1,1 & -0,15 & -1,25 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, \quad (\alpha^T)^{-1} = \begin{pmatrix} -1,58 & -1,74 & 1,33 & -0,332 \\ 1,55 & 1,265 & -0,45 & -0,232 \\ -0,76 & 0,115 & -0,2 & -0,1 \\ 0,78 & 0,375 & -0,66 & -0,336 \end{pmatrix}.$$

При этом оптимальные значения критериев подобия в матричном виде составляют:

$$\begin{pmatrix} \pi_{1\mathcal{E}} \\ \pi_{2\mathcal{E}} \\ \pi_{3\mathcal{E}} \\ \pi_{4\mathcal{E}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1,58 & -1,74 & 1,33 & -0,332 \\ 1,55 & 1,265 & -0,45 & -0,232 \\ -0,76 & 0,115 & -0,2 & -0,1 \\ 0,78 & 0,375 & -0,66 & -0,336 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,332 \\ 0,232 \\ 0,1 \\ 0,336 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, оптимальные значения критериев подобия составляют:

$$\pi_{1\mathcal{E}} = 0,332; \quad \pi_{2\mathcal{E}} = 0,232; \quad \pi_{3\mathcal{E}} = 0,1; \quad \pi_{4\mathcal{E}} = 0,336.$$

С учетом значений критериев подобия [2, 5] критериальное уравнение (5) принимает вид:

$$Z_i = 0,332 M_i^{0,5} + 0,232 M_i^{1,06} F_{2,i} + 0,1 M_i^{-0,3} F_{2,i} N_{F,i}^{-1} + 0,336 M_i^{-1,21} F_{2,i}^{-1} N_{F,i}^{0,3} \quad (6)$$

Из уравнения (6) получим выражения, которые непосредственно используются для исследования устойчивости целевой функции суммарных затрат (5):

$$\text{при } M_{*i} = 1, F_{*2,i} = 1 \quad Z_{*i}^{N_F} = 0,564 + 0,1N_{*i}^{-1} + 0,336N_{*i}^{0,3} \quad (7)$$

$$\text{при } M_{*i} = 1, N_{*F,i} = 1 \quad Z_{*i}^{F_2} = 0,332 + 0,332F_{*2,i} + 0,336F_{*2,i}^{-1} \quad (8)$$

$$\text{при } F_{*2,i} = 1, N_{*F,i} = 1 \quad Z_{*i}^M = 0,332M_{*i}^{0,5} + 0,232M_{*i}^{1,06} + 0,1M_{*i}^{-0,13} + 0,336M_{*i}^{-1,21} \quad (9)$$

Анализ равно оптимальных зон целевой функции суммарных затрат к изменениям оптимальных параметров выполним по зависимости рис.1 построенным по критериальным уравнениям (7), (8) и (9).

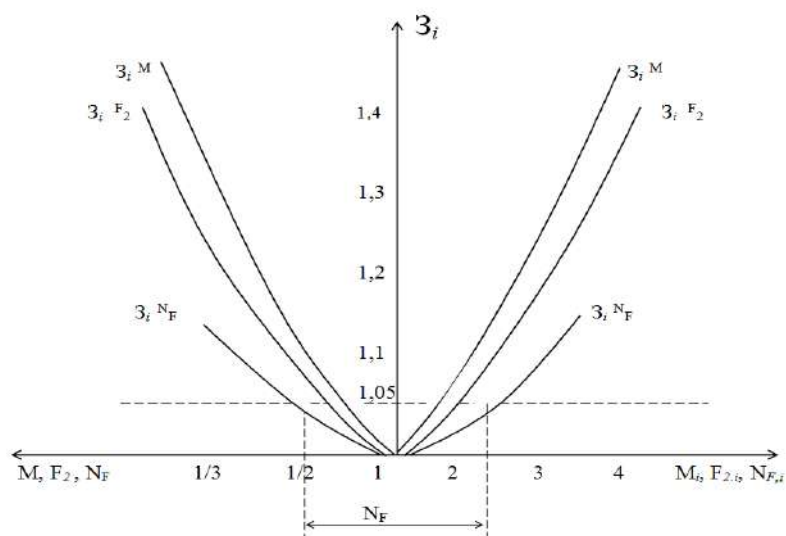


Рис.1. Равно оптимальная зона суммарных затрат при отклонении параметров городских РЭС 0,38 кВ от их оптимальных значений.

Зависимости рис.1 позволяют определить степень устойчивости целевой функции суммарных затрат на городские РЭС 0,38 кВ к изменениям отдельных параметров. Из рис.1 следует, что технико-экономическая функция в наибольшей степени устойчива к изменениям параметров $N_{F,i}$ и $F_{\Gamma,i}$, и в наименьшей степени – к изменению параметра $M_{i.}$ В целом параметры $N_{F,i}$ и $F_{\Gamma,i}$ имеют существенную область равно оптимальности; например, при $Z_{*i} = 1,05: N_{*F,i}^{P.Э} = 0,35 \div 1,8, F_{*i} = 0,42 \div 2,0$

Таким образом, существенная область равнооптимальности целевой функции суммарных затрат по параметрам $N_{F,i}$ и $F_{\Gamma,i}$, с одной стороны создает предпосылки для унификации сечений линий городских РЭС 0,38кВ, с другой стороны - не позволяет однозначно выбрать данные параметры – количество и значения стандартных сечений линий городских РЭС 0,38 кВ. В этом случае используются дополнительные критерии для окончательного выбора данных параметров. При выборе параметров линий (в частности, значений и количества сечений) РЭС 0,38 кВ в качестве дополнительных критериев рекомендуется использовать критерий потерь электроэнергии и расход проводникового

металла, которые являются конкурирующими критериями при выборе параметров распределительных электрических сетей.

Литература

1. Солопов Р. В. Разработка метода критериального программирования для оптимизации режимов электроэнергетической системы: Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук. - М.: 2013.
2. А.Д. Таслимов. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2019. – 148 с.
3. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (Применительно к задачам электроэнергетики). – М.: Изд-во - «Либроком», 2014. – 440 с.
4. Ананичева С.С. Проектирование электрических сетей: учеб. пособие / С.С. Ананичева, Е.Н. Котова. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 164с.
5. Taslimov A.D., I.U.Rakhmonov. Optimization of complex parameters of urban distribution electric networks. Journal of Physics: Conference Series. APITECH-2019. 1399 (2019) 055046 [doi:10.1088/1742-6596/1399/5/055046](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/5/055046).

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.315.175

**ПРОБЛЕМЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

А.И. Каршибаев, Ф.Н. Рахмонов, Ф.М. Рахимов

Ushbu maqolada elektr uzatish liniyalarini muzdan tushirish muammosi, qishda yuqori namlik va past haroratlarda bo'lgan hududlarda holat kuzatiladi. Shuning uchun butun dunyodagi bir qator kompaniyalar va tashkilotlar energiya liniyalarining muzlashuviga qarshi kurash usullari va qurilmalarini faol ravishda tadqiq etishadi va rivojlantiradilar. Ushbu maqolada elektr uzatish liniyalarining muzlashining sabablari ko'rib chiqiladi va simlarni uzilishi, tayanchlarni buzilishi iste'molchilarni elektr bilan ta'minlashdagi uzilishlardan kelib chiqqan zararlar kurilgan. Muzlagan elektr uzatish liniyalari bilan kurashish usullari keltirilgan.

В статье приведена проблема борьбы с обледенением проводов линий электропередач, особенно в регионах с высокой влажностью и низкими температурами зимой. Поэтому во всем мире целым рядом компаний и организаций активно ведутся исследования и разработка способов и устройств для борьбы с обледенением линий электропередач и контактных сетей. В данной статье рассмотрены причины обледенения проводов ЛЭП уцерб, возникающий из-за обрыва проводов, разрушения опор, перерывов электро-снабжения потребителей. Проведенный аналитический обзор способов борьбы с обледенением проводов ЛЭП.

The problem of de-icing wires in power lines, railway electrified transport is quite acute around the world, especially in regions with high humidity and low temperatures in winter. Therefore, a number of companies and organizations all over the world are actively researching and developing methods and devices for combating the icing of power lines and contact networks. This article discusses the causes of the icing of power transmission lines. Damage arising from wire breakage, destruction of supports, and interruptions in power supply to consumers. Conducted an analytical review of ways to combat icing wires power lines.

Введение. Для передачи электроэнергии на большие расстояния, распределения ее по потребителям, благодаря относительно небольшой стоимости, широко применяют воздушные линии электропередачи (ЛЭП), одним из основных элементов которых являются провода. При эксплуатации воздушных линий электропередачи в Зарафшанского региона за последнее годы возникли проблемы обледенения проводов, когда в зимнее время года начали происходить налипание мокрого снега на провода и образование гололедно-изморозевых отложений.

Высокая влажность, ветер, резкие перепады температуры воздуха способствуют образованию наледи на проводах воздушных линий. Толщина гололёда на них достигла да 180 мм, существенно утяжеляя провода. Расчеты показывают, что, провод марки АС-240/39 диаметром 21,6 мм километровой

длины имеет массу 952 кг; при толщине гололёда 10 мм она увеличивается в 2,2 раза, при толщине 40 мм – в 10,3 раз, при толщине 70 мм – в 23,6 раз. При этом общая масса линии электропередачи из трех проводов километровой длины возрастает соответственно до 3,5, 26,5 и 64,5 тонн, что приводит к обрыву проводов и поломке металлических опор. Наличие гололеда обуславливает дополнительные механические нагрузки на все элементы воздушных линий. В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание (так называемая «пляска»), ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор [1]. Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб, на их устранение уходит от нескольких дней и более, затрачиваются при этом огромные средства. Среднее время ликвидации гололедных аварий во много раз превышает среднее время ликвидации аварий, вызванных другими причинами. Борьба с обледенением проводов линий электропередачи является серьёзной проблемой, актуальной для многих стран, имеющих регионы с высокой влажностью и низкими температурами.

Основная часть. За последние годы произошли значительные изменения в динамике и географии образования гололёда на высоковольтных линиях передачи электроэнергии. Одним из возможных физических механизмов образования гололёда является соприкосновение двух масс воздуха – холодного и теплого повышенной влажности.

В условиях относительно мягкой зимы при резком перепаде значений температуры окружающего воздуха от положительной к отрицательной на проводах оседают капли воды и начинается лавинообразный процесс образования толстой ледяной корки, достигающей толщины в несколько десятков миллиметров и многократно утяжеляющей провода. При этом диаметр плотного гололёда на проводах может достигать 120..180 мм, существенно утяжеляя провода. Вес гололедно-изморозевых отложений в отдельных случаях может достигать более 8 на погонный метр провода [3]. Допустимая толщина стенки гололеда для линий с различным номинальным напряжением зависит от климатического района. В ПУЭ приводятся нормативные значения стенки гололеда для различных климатических районов и карты районирования территории Узбекистане по толщине стенки гололеда. При значительных гололедных отложениях возможны обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и даже опор воздушных линий (рис. 1).



Рис. 1. Последствия гололёда для линий электропередач

Гололед может откладываться по фазным проводам достаточно неравномерно. Стрелы провеса проводов с гололедом и без гололеда могут отличаться на несколько метров. Неравномерность отложения льда на фазных проводах, приводящая к различным значениям стрел провеса, а также одновременный сброс гололеда при его таянии, вызывающий «подскок» отдельных проводов, могут привести к перекрытию воздушной изоляции. Гололед является одной из причин «пляски» проводов, способной привести к их схлестыванию [1].

Основные методы борьбы с гололедом, изморозью на проводах и тросах воздушных линий электропередачи применяемые других странах, заключаются в недопущении обледенений, уменьшении размеров и удалении гололедных отложений. Рассмотрим некоторые из них. Механические способы, используемые чаще всего, заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов. На линиях чаще всего используют механические методы борьбы с обледенением [1,3].

Механические способы заключаются в применении специальных приспособлений, обеспечивающих сбивание льда с проводов. Самый простой способ механического удаления гололеда - сбивание, которое производится при помощи длинных шестов с земли или с корзины автовышки, но они требуют доступа к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его. Обивка гололедных отложений может осуществляться с земли или вышек и площадок, установленных на механизмах или транспортных средствах. Удаление гололеда с проводов шестами практически неосуществимо без привлечения большого количества рабочих. Этот метод требует много времени и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима.

Известен способ перемещения по проводам воздушных линий электропередачи средств для удаления льда – роликов-ледорезов, основанный на использовании наземного транспортного средства – трактора, связанного с роликами-ледорезами посредством штанги. Недостатком такого способа является низкая производительность и возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления отложений льда, что приводит к обрывам сети и сопровождается ускоренным износом проводов. Кроме использования традиционных механических методов борьбы с гололедом в настоящее время активно разрабатываются различные механические и робототехнические системы для определения появления льда и его удаления с проводов ЛЭП. В 2015 году группа специалистов из компании «Хайдро-Квебек» в Канаде разработала и провела практические испытания многозарядного пневматического устройства для удаления гололеда.

Другое усовершенствованное приспособление было также разработано в Канаде и представляет собой передвижное устройство, управляемое с земли. Оно является электроимпульсным и за достаточно короткий промежуток времени позволяет освободить от гололеда провод в полете длиной 260 м.

Научно-исследовательский институт Канады Hydro-Québec начал робототехнический проект LineScout в 2018 году. Причиной запуска данного проекта была массовые отключения на несколько дней электричества у

миллионов пользователей в результате обрыва линий электропередач из-за гололеда[3]. В связи с этим появилась идея создать небольшой мобильный робот, который мог бы перемещаться по проводам высоковольтных ЛЭП и удалять с них лед. Первый прототип был небольшим роботом, который скалывал лед. Более поздняя версия робота была оборудована камерами и инфракрасными датчиками, а робот использовался для осмотра работающих линий высокого напряжения.



Рис. 2. Пневматическое устройство для механического удаления льда с провода



Рис.3 Канадский робот LineScout

Более эффективны так называемые айс-скрайперы, срезающие гололед с провода в пролете любой протяженности. При большой протяженности линий необходимо большое количество таких роботов с обслуживающим персоналом, что может быть экономически невыгодным. К тому же механическое воздействие не препятствует обледенению, а устраняет его. Электротермические способы удаления льда заключаются в нагреве проводов электрическим током, обеспечивающим предотвращение образования льда, то есть профилактический подогрев или его плавку [1].

Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока сети ЛЭП до такой величины, при которой провода нагреваются до температуры выше 0°C . При такой температуре гололед на проводах не откладывается. При профилактическом подогреве следует, как правило, применять такие схемы питания, которые не требуют отключения потребителей. Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока сети ЛЭП до такой величины, при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для расплавления гололеда с нормативной толщиной стенки при нормативных значениях температуры окружающей среды и скорости ветра. Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры $100\text{-}130^{\circ}\text{C}$.

Заключение. Борьба с обледенением проводов линий электропередач и контактных сетей остается одной из главных для многих регионов Земного шара. Каждый из применяемых в настоящее время способов борьбы с гололедом обладает определенными недостатками. Поэтому разработка эффективных, экономичных, безопасных устройств и методов, направленных на недопущение обледенений, снижение размеров и удаление гололедных отложений, остается актуальной задачей. Учитывая состояние электросетевого хозяйства Узбекистана и климатические изменения в стране за последние годы

необходимо, решать вопросы по повышению надежности электроснабжения на стадии проектирования электрических и контактных сетей, вопросы резервирования потребителей согласно ПУЭ, а также замены проводов электрических и контактных сетей на современные энергоэффективные провода с повышенной надежностью, стойкостью к снегоналипанию. Для решения этих задач необходимо тесное сотрудничество Министерства энергетики, проектных организаций, сетевых компаний и эксплуатационного персонала промышленных предприятий.

Литература

1. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах // - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 494 с.
2. Санакулов А.Х., Сафин А.Н. Совершенствование работы токоприемников подвижного состава с контактной сетью // Проектирование и исследование технических систем: межвузовский научный сборник. - Набережные Челны: Изд-во ИНЭКА, 2010. – Вып.№2(16). - С. 61-67.
3. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Нефтегазовое дело. – 2015. - №3. – С.794.

*Представлена Навоийским
государственным горным институтом*

УДК 621.311

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА МОЩНОСТИ В
ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ FACTS,
СОДЕРЖАЩЕЙ ОБЪЕДИНЕННЫЙ РЕГУЛЯТОР ПОТОКА
МОЩНОСТИ UPFC**

Ш.В. Хамидов, Б.Р. Нормуратов

Саноати ривожланган мамлакатларда замонавий энергия тизимларини техник жиҳозлаш тенденцияси мослашувчан (бошқариладиган) электр узатиш тизимларидан фойдаланишга кўра баҳоланмоқда (FACTS - Flexible Alternative Current Transmission Systems). Бу тенденция интенсив тадқиқотлар мавзусидир, чунки FACTS -электр энергетика тизимларининг (ЭЭТ) ишончлилиги ва самарадорлигини таъминлашининг истиқболли воситаси. Бошқариладиган электр жиҳозларида жараёнларни шакллантириши учун ишлатиладиган математик моделлаштириши усулларини икки тоифага бўлиши мумкин: 1) ечимларни кетма-кет қидириши усуллари; 2) бир вақтнинг ўзида эчимларни излаш усуллари. Кетма-кет ёндашув Нютон-Рафсон алгоритмларини амалга оширишни бошқариш нуқтаи назаридан фойдалидир. Нютон-Рафсон усули. Кетма-кет ёндашув усули чекланишларини бартараф этиши учун 1970-йилларнинг бошларида энергияни ҳисоблаш амалиётига Нютон-Рафсон усули киритилди ва у кенг қўлланила бошланди. Нютон-Рафсон усулининг хусусиятлари туфайли энг муваффақиятли амалий усул ҳисобланади. Нютон-Рафсон усули градиент усули-стационар бўлмаган итерация усули ҳисобланади. Шундай қилиб, UPFC - бу электр узатиш линияларидаги актив ва реактив қувватни назорат қилиш, қувват ўтказувчанлигини ўзгартириши, шунингдек, тармоқ кучланишини бошқариши учун FACTS қурилмалар оиласи ҳисобланади. Қўшимча электр энергияни сақлашда, масалан, ўта ўтказувчан индуктив энергияни сақлашдан (ЎИЭС) фойдаланиш доимий токни улаш орқали UPFC дастурининг самарадорлигини сезиларли даражада ошириши мумкин. ЎИЭС нинг ўзига хос хусусиятлари - энергияни сақлаш режимидан уни этказиб бериши режимига деярли бир зумда ўтиши имконияти ва қувватни олишининг юқори тезлиги. ЎИЭС нинг бу хусусияти биринчи навбатда юқори энергия физикаси ва импульсли қувватда ишлатишни талаб этади. Индуктив энергияни сақлаш ўта ўтказувчи магнитларда энг самарали ҳисобланади, чунки уларда энергиянинг тўпланиши ва чиқиши деярли кам исрофларда амалга ошади. Индуктив энергияни сақлаш мосламаларининг асосий афзаллиги шундаки, уларда энергия ишлатиладиган шаклда - электромагнит шаклда сақланади. Бир турдаги энергияни бошқасига айлантириши зарурати йўқлиги, қурилманинг юқори тезликда ишлашини ва ФИК (97-98%)ни катта бўлишини таъминлайди.

Тенденцией технического оснащения современных энергосистем в индустриально развитых странах становится применение гибких (управляемых) систем электропередач (FACTS - Flexible Alternative Current Transmission Systems). Эта тенденция является предметом интенсивных научных исследований, так как FACTS перспективные средства обеспечения надежности и

повышения эффективности электроэнергетических систем (ЭЭС). Методы математического моделирования, используемые для формирования процессов в управляемом силовом оборудовании, можно разделить на две категории: 1) методы последовательного поиска решений; 2) методы одновременного поиска решений. Последовательный подход выгоден с точки зрения управления реализацией алгоритмов Ньютона-Рафсона. Метод Ньютона-Рафсона. Чтобы преодолеть ограничения метода последовательной релаксации, в начале 1970-х годов в практику энергетических расчетов был внедрен метод Ньютона-Рафсона, который стал применяться повсеместно. Метод Ньютона-Рафсона является наиболее успешным практическим методом благодаря своим характеристикам сходимости. По своей сути метод Ньютона-Рафсона является градиентным методом - нестационарным итерационным методом. Таким образом, UPFC является устройством FACTS для управления активной и реактивной мощностью в ЛЭП, изменения пропускной способности линии, а также для управления линейным напряжением. Использование дополнительного накопителя энергии, например, сверхпроводящего индуктивного накопителя энергии (СПИНЭ), через связь по постоянному току может обеспечить значительное повышение эффективности применения UPFC. Уникальными свойствами СПИНЭ являются возможность практически мгновенного перехода из режима накопления энергии в режим ее выдачи и большая скорость отбора мощности. Это свойство СПИНЭ в первую очередь было востребовано в физике высоких энергий и мощной импульсной энергетике (Pulsed Power). Индуктивное накопление энергии наиболее эффективно в сверхпроводящих магнитах, поскольку в них накопление и вывод энергии практически не сопровождаются потерями. Принципиальное преимущество индуктивных накопителей заключается в том, что энергия в них запасается в том же виде, в каком и используется, - электромагнитном. Отсутствие необходимости в преобразовании одного вида энергии в другой обеспечивает высокие КПД (97-98 %) и быстроедействие устройства.

The trend in the technical equipment of modern power systems in industrialized countries is the use of flexible (controlled) power transmission systems (FACTS - Flexible Alternative Current Transmission Systems). This trend is the subject of intensive scientific research, because FACTS is a promising means to ensure the reliability and efficiency of electric power systems (EPS). Mathematical modeling methods used to form processes in controlled power systems can be divided into two categories: 1) Methods of sequential search for solutions; 2) Methods of simultaneous search for solutions. A sequential approach is advantageous when implementing Newton-Raphson algorithms. Newton-Raphson method. To overcome the limitations of the sequential relaxation method, the Newton-Raphson method was introduced into the practice of energy calculations in the early 1970s and is now widely used. The Newton-Raphson method is the most successful practical method due to its convergence properties. At its core, the Newton-Raphson method is a gradient method - a non-stationary iterative method. Thus, the UPFC is a FACTS device for controlling active and reactive power in transmission lines, for changing the line capacitance, and also for controlling the line voltage. The use of an additional energy storage device, such as a superconducting inductive energy storage device (SIESD),

through DC coupling can greatly increase the efficiency of the UPFC application. The unique features of SIESD are the ability of almost instantaneous transition from energy storage mode to energy delivery mode, and high speed of power delivery. This property of SIESD has been most sought after in high energy physics and high power pulsed power applications. Inductive energy storage is most effective in superconducting magnets, since in them the accumulation and release of energy is practically unaccompanied by losses. The fundamental advantage of inductive storage is that energy is stored in them in the same form in which it is used - electromagnetic. The absence of the need to convert one form of energy into another provides high efficiency (97-98%) and fast operation of the device.

Введение. К комбинированным устройствам FACTS относятся объединенные регулятор потока мощности UPFC (Unified Power Flow Controller) и регулятор потока мощности между линиями IPFC (Interline Power Flow Controller) [12].

UPFC состоит из двух преобразователей напряжения - STATCOM и статического синхронного последовательного компенсатора SSSC (Static Synchronous Series Compensator), соединенных встречно-параллельно и работающих через общую вставку постоянного тока или конденсатор постоянного тока

Основная часть. Объединенный регулятор потока мощности UPFC (Unified Power Flow Controller) разработан для оперативного управления и динамической компенсации в ЭЭС переменного тока. С его помощью можно управлять всеми основными параметрами, оказывающими влияние на потоки мощности. Кроме того, UPFC способен осуществлять независимое управление как активной, так и реактивной мощностью.

Описание UPFC в задаче управления потоком распределением с достаточной степенью адекватности можно получить на основе эквивалентной цепи, состоящей из двух взаимосвязанных синхронных источников напряжения [13].

Примем следующее представление источников напряжения в схеме замещения UPFC

$$E_{\text{ш}} = U_{\text{ш}}(\cos(\delta_{\text{ш}}) + j \sin \delta_{\text{ш}}), \quad (1)$$

$$E_{\text{п}} = U_{\text{п}}(\cos(\delta_{\text{п}}) + j \sin \delta_{\text{п}}), \quad (2)$$

где: $U_{\text{ш}} (U_{\text{ш}}^{\min} \leq U_{\text{ш}} \leq U_{\text{ш}}^{\max})$, $\delta_{\text{ш}} (0 \leq \delta_{\text{ш}} \leq 2\pi)$ значения регулируемой амплитуды напряжения и фазовый угол источника напряжения шунтирующего (параллельного) преобразователя соответственно; $U_{\text{п}} (U_{\text{п}}^{\min} \leq U_{\text{п}} \leq U_{\text{п}}^{\max})$, $\delta_{\text{п}} (0 \leq \delta_{\text{п}} \leq 2\pi)$ значения регулируемой амплитуды напряжения и фазовый угол источника напряжения последовательного преобразователя соответственно.

Исходя из эквивалентной цепи, представленной на рис.1, и уравнений (1), (2), уравнения активной и реактивной мощностей для шины 1 выглядят следующим образом:

$$P_1 = U_1^2 G_{11} + U_1 U_2 (G_{12} \cos(\delta_1 - \delta_2) + B_{12} \sin(\delta_1 - \delta_2)) + U_1 U_{\text{п}} (G_{12} \cos(\delta_1 - \delta_{\text{п}}) + B_{12} \sin(\delta_1 - \delta_{\text{п}})) + U_1 U_{\text{ш}} (G_{12} \cos(\delta_1 - \delta_{\text{ш}}) + B_{\text{ш}} \sin(\delta_1 - \delta_{\text{ш}})); \quad (3)$$

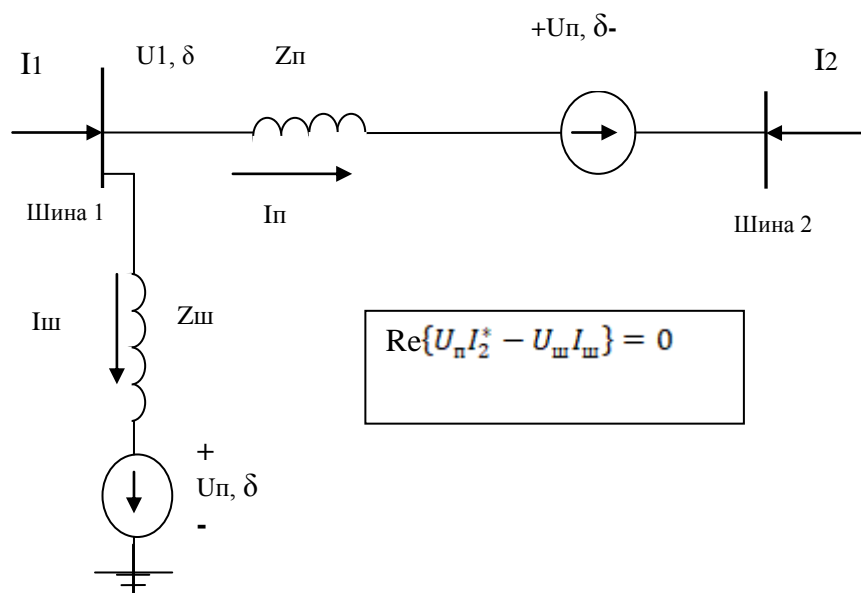


Рис. 1. Схема замещения объединенного регулятора мощности UPFC

$$Q_1 = -U_1^2 B_{11} + U_1 U_2 (G_{12} \sin(\delta_1 - \delta_2) - B_{12} \cos(\delta_1 - \delta_2)) + U_1 U_{п} (G_{12} \sin(\delta_1 - \delta_{п}) - B_{12} \cos(\delta_1 - \delta_{п})) + U_1 U_{ш} (G_{12} \sin(\delta_1 - \delta_{ш}) - B_{ш} \cos(\delta_1 - \delta_{ш})). \quad (4)$$

Для шины 2 уравнения активной и реактивной мощностей имеют вид:

$$P_2 = U_2^2 G_{22} + U_1 U_2 (G_{21} \cos(\delta_2 - \delta_1) + B_{21} \sin(\delta_2 - \delta_1)) + U_2 U_{п} (G_{22} \cos(\delta_2 - \delta_{п}) + B_{22} \sin(\delta_2 - \delta_{п}));$$

$$Q_2 = -U_2^2 B_{22} + U_1 U_2 (G_{21} \sin(\delta_2 - \delta_1) - B_{21} \cos(\delta_2 - \delta_1)) + U_1 U_{п} (G_{12} \sin(\delta_1 - \delta_{п}) - B_{12} \cos(\delta_1 - \delta_{п})) + U_2 U_{ш} (G_{22} \sin(\delta_2 - \delta_{ш}) - B_{22} \cos(\delta_2 - \delta_{ш})). \quad (5)$$

При этом уравнения мощности для последовательного преобразователя напряжения выглядят следующим образом:

$$P_{п} = U_{п}^2 G_{22} + U_1 U_{п} (G_{12} \cos(\delta_{п} - \delta_1) + B_{12} \sin(\delta_{п} - \delta_1)) + U_2 U_{п} (G_{22} \cos(\delta_{п} - \delta_2) + B_{22} \sin(\delta_{п} - \delta_2));$$

$$Q_{п} = -U_{п}^2 B_{22} + U_1 U_{п} (G_{21} \sin(\delta_{п} - \delta_1) - B_{12} \cos(\delta_{п} - \delta_1)) + U_2 U_{п} (G_{22} \sin(\delta_{п} - \delta_2) - B_{22} \cos(\delta_{п} - \delta_1)). \quad (6)$$

Для шунтирующего преобразователя напряжения уравнения активной и реактивной мощностей имеют следующий вид:

$$P_{ш} = U_{ш}^2 G_{ш} + U_1 U_{ш} (G_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta_1) + B_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta_1)); \quad (7)$$

$$Q_{ш} = U_{ш}^2 B_{ш} + U_1 U_{ш} (G_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta_1) - B_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta_1)). \quad (8)$$

Для шунтирующего преобразователя напряжения уравнения активной и реактивной мощностей имеют следующий вид:

$$P_{ш} = U_{ш}^2 G_{ш} + U_1 U_{ш} (G_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta_1) + B_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta_1));$$

$$Q_{ш} = U_{ш}^2 B_{ш} + U_1 U_{ш} (G_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta_1) - B_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta_1)).$$

Если предположить наличие тиристорного вентиля, работающего с пренебрежимо малыми потерями, то активная мощность $P_{ш}$ шунтирующего преобразователя будут удовлетворять уравнению баланса $P_{ш} + P_{п} = 0$. Кроме

того, если в линиях электропередачи потери активной мощности также пренебрежимо малы, то $P1+P2=0$ и, следовательно, $P_1 + P_2 = P_{ш} + P_{п} = 0$.

Итерированные линейные уравнения потока мощности при включении в линию электропередачи объединенного регулятора мощности UPFC в целях а) регулирования амплитуды напряжения на 1-й шине, б) управления потоком активной мощности от шины 1 к шине 2, и в) генерации реактивной мощности с вводом на шине 2, имеют вид [14,15]:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \\ \frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} \\ \frac{\Delta P_{21}}{\Delta Q_{21}} \\ \frac{\Delta P_{\Delta}}{\Delta P_{\Delta}} \end{bmatrix}^{(i)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial U_{ш}} U_{ш} & \frac{\partial P_1}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial P_1}{\partial U_{п}} U_{п} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_{ш}} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & 0 & \frac{\partial P_2}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial P_2}{\partial U_{п}} U_{п} & 0 \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_{ш}} U_{ш} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_{п}} U_{п} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_{ш}} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & 0 & \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_{п}} U_{п} & 0 \\ \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_2} & 0 & \frac{\partial P_{21}}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial P_{21}}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial P_{21}}{\partial U_{п}} U_{п} & 0 \\ \frac{\partial Q_{21}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{21}}{\partial \delta_2} & 0 & \frac{\partial Q_{21}}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial Q_{21}}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial Q_{21}}{\partial U_{п}} U_{п} & 0 \\ \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial U_{ш}} U_{ш} & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial U_2} U_2 & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial \delta_{п}} & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial U_{п}} U_{п} & \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial \delta_{ш}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\Delta \delta_1}{\Delta \delta_2} \\ \frac{\Delta U_{ш}}{U_{ш}} \\ \frac{\Delta U_2}{U_2} \\ \frac{\Delta \delta_{п}}{\Delta U_{п}} \\ \frac{\Delta U_{п}}{\Delta \delta_{ш}} \end{bmatrix}^{(i)}$$

где ΔP - разность мощностей при нарушении равенства $P_{ш} + P_{п} = 0$.

При отсутствии в перечне целей задачи управления напряжением на шине 1, третий столбец якобиана в последнем матричном уравнении заменяется столбцом частных производных, соответствующих шине 1:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial U_{ш}} U_{ш} | 0 | \frac{\partial Q_1}{\partial U_{ш}} U_{ш} | 0 | 0 | \frac{\partial P_{ш}}{\partial U_{ш}} U_{ш} \end{pmatrix}^T \rightarrow \begin{pmatrix} \left| \frac{\partial P_1}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial P_2}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial Q_2}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial P_{21}}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial Q_{21}}{\partial U_1} U_1 \right| \left| \frac{\partial P_{\Delta}}{\partial U_1} U_1 \right| \end{pmatrix}^T$$

где T– оператор транспонирования.

Заключение. Объединенный регулятор потока мощности UPFC позволяет решить проблему оперативного управления и динамической компенсации в ЭЭС переменного тока. С его помощью можно управлять всеми основными параметрами, оказывающими влияние на потоки мощности. Кроме того, UPFC способен осуществлять независимое управление как активной, так и реактивной мощностью.

Литература

1. Технология и устройства FACTS: Учеб. Пособие / М.Ш.Мисриханов, В.Н.Рябченко / ФБГОВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина. -Иваново,2017. 112 - 217 с.
2. Fuerte-Esquivel C.R., Integrated SVC and Step-Down Transformer Model for Newton-Raphson Load Flow Studies / C.R. Fuerte-Esquivel, E. Acha, H. Ambriz-Pe'rez // IEEE Trans. Power Engineering Review. – 2000. - № 20(2). – p. 45-46.

3. Hingorani, N.G. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) - Overview / N.G. Hingorani // Paper presented at the Panel Session of FACTS. IEEE PES 1990 Winter Meeting. Atlanta, 1990.
4. Hingorani, N.G. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / IEEE Press, 2000.
5. Song, Y.H. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) / Y.H. Song, A.T. Johns. – London: IEEE Press, 1999.
6. Поспелова Т.Г. Эффекты применения FACTS и АСМ в повышении эффективности региональных и национальных энергосистем// International Conference “Energy of Moldova. Regional aspects of development”. October 4-6, 2012. - Chisinau, Republic of Moldova. Pgs.83-90.
7. Хамидов Ш.В. Состояние и перспективное развитие ОЭС Центральной Азии // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сборник научных трудов 89 заседания Международного научного семинара имени Ю.А.Руденко. – Издательство: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2017.- С.
8. Хамидов Ш.В. Параллельные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS // Научно-технический журнал “Проблемы энерго-и ресурсосбережения”. Ташкент, 2019, №1.
9. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. «Последовательные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS. // Научно-технический журнал “Проблемы энерго- и ресурсосбережения”. Ташкент, 2019, №2.
10. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Математическая модель потока мощности в электрической системе, содержащей шунтирующий реактор и конденсаторную батарею с тиристорным управлением для компенсации реактивной мощности // Вестник ТашГТУ. Технические науки и инновация. 2019. №1. С.90-97.
11. Андерсон, П. Управление энергосистемами и устойчивость / П. Андерсон, А. Фуад. – М.: Энергия, 1980.
12. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Комбинированные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS // Научно-технический журнал “Проблемы энерго- и ресурсосбережения”. Ташкент, 2019, №2.
13. Аллаев К. ”Энергетика мира и Узбекистана”. Т. «Молия», 2009. 388 с.
14. Shukhrat Khamidov, Sunnatilla Tillaev, Bahrom Normuratov. “Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devices”- Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).
15. Khamidov Sh.V., Normuratov B.R., Pulatov B.M., Kilichov O.G. “Optimization of power flow through FACTS in electrical networks”- “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering”(CONMECHHYDRO-2020).

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.316.11

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИК ТИЗИМИНИНГ БАРҚАРОРЛАШГАН
ҲОЛАТИНИ ҲИСОБЛАШ УЧУН СУНЪИЙ НЕЙРОН ТАРМОҚДАН
ФОЙДАЛАНИШ**

М.Б. Худаяров, Н.Н. Нормаматов, Т.А. Икрамов

Электр энергетика тизимларининг барқарорлашган ҳолатларини ҳисоблаш нафақат лоихалаштиришида, балки оператив бошқаришида ҳам муҳим ўрин тутувчи масалалар қаторига киради. Одатда ушбу масалани ечиш учун итерацион усуллар қўлланилади, бу эса уларга нисбатан тез ва ишончли тарзда ечим олишига доир юқори талабларни тақозо этади. Ушбу ҳолатни эътиборга олган ҳолда, мақолада сунъий нейрон тармоқлар ёрдамида ҳолат параметрларини баҳолаш моделлари кўриб чиқилган. Баҳолаш натижалари Нютон-Рафсон усули ёрдамида олинган натижалар билан солиштирилган. Моделлаштириш 8 та ЭУЛ ва 5та трансформатордан иборат ЭЭТнинг тест схемасида амалга оширилган.

Расчеты установившихся режимов электроэнергетических систем принадлежат к числу задач, решение которых имеет важное значение как при их проектировании, так и при их оперативном управлении. Как правило, для решения данной задачи используются итерационные методы, что предъявляет повышенные требования к ним, в плане быстродействия и надежности получения результатов. Учитывая данное в статье рассматриваются модели оценки параметров режима на основе искусственных нейронных сетей. Результаты оценок сравниваются с результатами расчётов полученные по методу Ньютона-Рафсона. Моделирование выполняется на примере тестовой схемы ЭЭС состоящая из 8 ЛЭП и 5 трансформаторов.

Power flow calculations of electric power systems are among the tasks, the solution of which is of great importance both in their design and in their operational control. As a rule, to solve this problem, iterative methods are used, which imposes increased requirements on them in terms of speed and reliability of obtaining results. Taking this into account, the article discusses models for evaluating the parameters of the mode based on artificial neural networks. The results of the estimates are compared with the results of calculations obtained by the Newton - Raphson method. The simulation is carried out on the example of an EPS test circuit consisting of 8 power lines and 5 transformers.

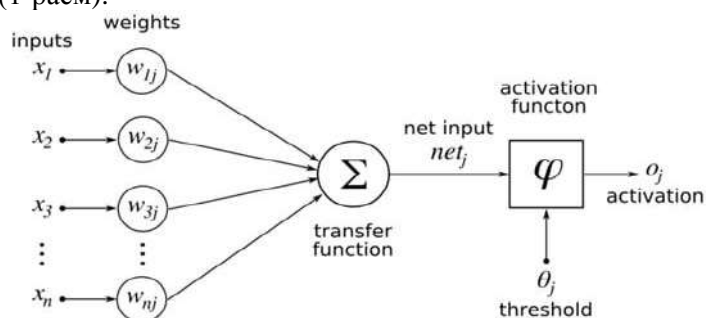
Кириш. Энергия тизимларининг барқарор ҳолатдаги ҳисоб-китоблари электр энергетикасининг лойиҳалаш босқичида ҳам, унинг ишлаши пайтида ҳам долзарб вазифасидир. Олинган натижаларнинг аниқлиги ва ишончлилиги энергия тизимларининг тўғри ишлашини таъминлайди.

Маълумки, барқарор ҳолатни ҳисоблашда электр система режимларнинг параметрларини маълум система параметрлари, электр юкламалари ва ишлаб чиқариш параметрлари билан боғлиқдир. Бундай ҳолда, муаммони юқори

даражали чизикли бўлмаган алгебраик тенгламалар системаси ёки матрица шаклида ифодалаш мумкин, бу эса маълум қийинчиликларни келтириб чиқаради. Шунингдек, унинг ечими учун анъанавий равишда турли хил усуллар қўлланилади [1, 2], бу катта математик ва ҳисоблаш қийинчиликлари билан боғлиқ. Бундан ташқари, операцион ҳисоб-китоблар учун такрорий усуллардан фойдаланиш ҳам ушбу усулларнинг ҳисоблаш ноқулайлиги билан боғлиқ бўлган кўп вақтни ўз ичига олади. Шунинг учун электр энергетик тизимининг барқарорлашган ҳолатини ҳисоблашнинг энг мақбул усулларини излаш муҳим вазифадир. Шу нуқтаи назардан, истиқболли усуллардан генетик алгоритмлаш, ноаниқ мантиқ, сунъий нейрон тармоқлар ва бошқалар маълумотларни қайта ишлашнинг замонавий интеллектуал воситаларидан фойдаланиш билан боғлиқ.

Нейрон тармоқлари инсон миясидаги нейронларнинг компютерлашган кўриниши бўлиб, ҳар бир СНТ бир бири билан боғланган ва маълумотни қайта ишловчи нейронлардан иборат. Ташқи маълумот маълумотларини қабул қилиб олувчи нейронлар қатлами кириш нейронлари, тайёр натижаларни берувчи нейронлар чиқувчи нейронлар деб аталади. Оралиқ нейронлари ички ёки яширин нейронлар дейилади [3]. Ҳар бир нейронда бир нечта кириш бўлиб, фақат битта чиқиш бўлади. СНТ ларнинг энг афзал томони уларни ўргатиш мумкинлигидир, яъни чиқувчи сигналлар хатосини мақсадли равишда энг кичик қийматгача камайтириш мумкин. [4]

СНТ ининг сунъий модели ишлаб чиқилади, ўқитилади ва синовдан ўтказилади (1-расм).



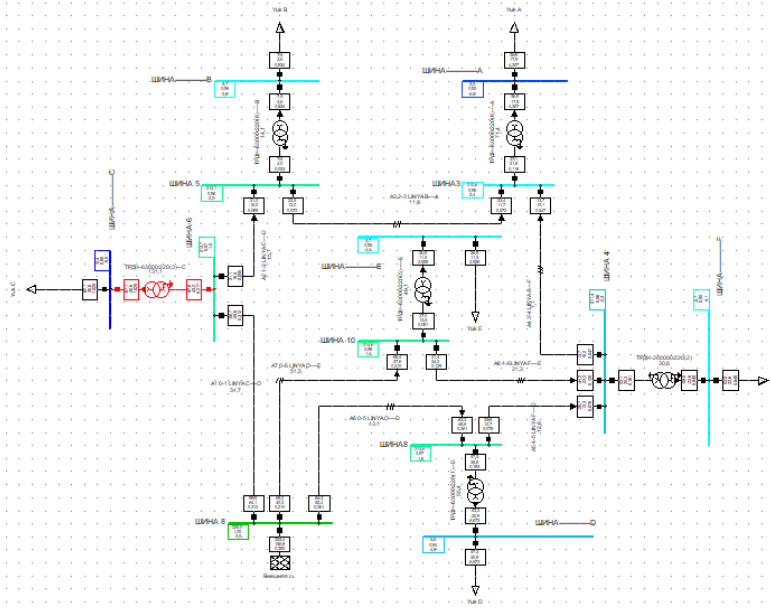
1-расм. Сунъий нейрон тармоқ

СНТ ни моделлаштириши учун статистик маълумотлардан фойдаланиш: Электр системасининг барқарорлашган ҳолатини баҳолаш учун қуйидаги системани танлаб оламиз. Бу системада олтига шинада электр юкламаси ва чексиз қувват манбаи берилган бўлсин (2-расм).

Статистик маълумотларни ҳосил қилиш учун берилган электр энергетика системасининг ҳисоблашлари Нютон-Рафсон услубига асосланган DIgSILENT PowerFactory дастури ёрдамида амалга оширилади. Ушбу дастурдан фойдаланиб, 6 та юклама тугунлари ва 8 та узатиш линияларида юкламаларнинг кўп миқдордаги ҳисоб-китоблар амалга оширилди. Ҳар бир тугундаги кучланиш модули кучланиш, электр узатиш линияларидан оқиб ўтаётган актив ва реактив қувватларнинг қийматлари олинади.

Кирилган маълумотлар ва ҳисоб-китоблар натижалари асосида 1430 кириш-чиқиш жуфтликларидан иборат статистик маълумотлар базаси шакллантирилди. Бундай ҳолда, кириш ўзгарувчилари электр юкламалар

базаларининг актив ва реактив кувватлари ($P_A, Q_A, P_B, Q_B, P_C, Q_C, P_D, Q_D, P_E, Q_E, P_F, Q_F$) ва чиқиш ўзгарувчилари кучланиш ва кучланиш оғиш бурчаги ($U_A, dU_A, U_B, dU_B, U_C, dU_C, U_D, dU_D, U_E, dU_E, U_F, dU_F$), шунингдек ҳар бир электр узатиш линиясидан оқиб ўтаётган актив ва реактив кувват оқимлари ($P_{1-2}, Q_{1-2}, P_{2-3}, Q_{2-3}, P_{3-4}, Q_{3-4}, P_{4-5}, Q_{4-5}, P_{4-6}, Q_{4-6}, P_{0-6}, Q_{0-6}, P_{0-5}, Q_{0-5}$).



2-расм. Электр энергетика тизимини ҳисоблаш схемаси

СНТ ни моделлаштириш натижаларини қиёсий баҳолаш: Моделлаштириш сифатини баҳолаш учун DIgSILENT PowerFactory дастури ёрдамида янги қийматлардан фойдаланилади. Ҳосил қилинган СНТ (Feedforward) га юклама тугунларининг кириш маълумотлари ўқитилган йўналтирилган нейрон тармоқнинг киришига берилади ва барқарор ҳолат параметрлари ҳисобланади. Олинган натижалар DIgSILENT PowerFactory дастурида Нютон-Рафсон усули ёрдамида олинган ҳисоб-китоблар натижалари билан таққосланади.

2-3 жадвалда схемадаги А, F шиналардаги кучланиш ва кучланишни оғиш бурчаклари СНТ (Feedforward) ва Нютон-Рафсон усули билан олинган натижалар таққосланиши кўрсатилган. Шунингдек, 4-5 жадвалларда СНТ (Feedforward) ва 8 та электр узатиш линиялари орқали оқиб ўтаётган актив ва реактив кувват қийматларини аниқлаш бўйича Нютон-Рафсон усули билан олинган натижалар таққосланган.

2-жадвал

Шина А		Нютон – Рафсон (Н-Р)		Feedforward (FFNN)		Фарк (%)	
P(MW)	Q(Mvar)	U (kV)	dU (grad)	U (kV)	dU (grad)	Н-Р & FFNN	
						U (kV)	dU (grad)
15,683	7,5958	5.485	-5.6267	5.483	-5.624	0.0234	0.0318
4,2462	2,0565	5.830	-1.8498	5.829	-1.857	0.0107	0.4098
44,077	21,347	5.386	-8.2591	5.386	-8.259	0.0079	0.0003
29,327	14,203	5.387	-7.4398	5.386	-7.437	0.0081	0.0342
65,229	31,591	5.124	-11.813	5.122	-11.81	0.0366	0.0195

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

3-жадвал

	Шина E		Нютон – Рафсон (Н-Р)		Feedforward (FFNN)		Фарк (%)	
	P(MW)	Q(Mvar)	U (kV)	dU (grad)	U (kV)	dU (grad)	Н-Р & FFNN	
							U (kV)	dU (grad)
	53,4214	25,87322	5.553	-5.9907	5.5537	-5.99	0.0005	0.0093
	4,74488	2,298055	5.432	-9.0102	5.4360	-9.01	0.0712	0.0061
	39,9709	19,35882	5.507	-7.5090	5.5075	-7.50	0.0079	0.0036
	53,9585	26,13335	5.547	-6.2507	5.5472	-6.25	0.0015	0.0046
	5,36732	2,599517	5.473	-7.7727	5.4729	-7.77	0.0177	0.0303

4-жадвал

4-5 линияларидан оқайтган қувватларнинг таққослаш натижалари

	Нютон – Рафсон (Н-Р)		Feedforward (FFNN)		Фарк (%)	
	P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)	Н-Р & FFNN	
					P (MW)	Q (Mvar)
	76.834737	47.925318	76.8359	47.9270	0.0015	0.0036
	16.23735	7.990758	16.2373	7.9780	0.0002	0.1596
	53.746396	30.517979	53.7353	30.5017	0.0206	0.0534
	67.472144	40.122067	67.4746	40.1030	0.0036	0.0474
	55.040555	32.872073	55.0374	32.8776	0.0058	0.0167

5-жадвал

4-6 линияларидан оқайтган қувватларнинг таққослаш натижалари

	Нютон – Рафсон (Н-Р)		Feedforward (FFNN)		Фарк (%)	
	P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)	Н-Р & FFNN	
					P (MW)	Q (Mvar)
	80.723075	51.080032	80.7224	51.0938	0.0008	0.0270
	4.934625	1.059752	4.9242	1.0741	0.2104	1.3509
	38.969603	21.831943	38.9675	21.8066	0.0055	0.1162
	76.301751	46.698082	76.2969	46.6997	0.0063	0.0036
	51.812202	31.471978	51.8019	31.4707	0.0199	0.0040

Хулоса: Электр системасида қувват оқимини таҳлил қилишнинг асосий муаммоси қисқа вақт ичида кўп параметрларни таҳлил қилиш кераклигидир. Бу муаммони бартараф этиш учун бир қанча замонавий электр системасида қувват оқимини таҳлил қилишда сунъий нейрон тармоқдан фойдаланилди. [6]

Мақолада СНТ нинг тўғри йўналтирилган (Feedforward) туридан фойдаланилган. Танланган электр схемасида қувват оқимининг таҳлили ҳар томонлама таҳлил қилинган. Биринчи классик усулда яъни Нютон-Рафсон методида бажарилган. Шундан сўнг сунъий нейрон тармоқда бажарилган. Сунъий нейрон тармоғи ёрдамида электр тизимининг 6 та юкмасида кучланиш модули ва кучланишнинг оғиш бурчаги қийматлари, Нютон-Рафсон усули билан таққослаганда, кучланиш модули (максимал хато 0,0712% ва минимал хато 0.0005%) ва кучланишнинг оғиши (максимал хато 0.4038% ва минимал хато 0.0003%) ташкил қилди. Бундан ташқари, сунъий нейрон тармоғи ёрдамида электр тизимининг 8 та электр узатиш линияларининг актив ва реактив қувват қийматлари, Нютон-Рафсон усулидан фойдаланиб топгандаги натижаларни солиштир-

ганимизда, актив қувват (максимал хато 0,2104%) ва минимал хато 0.0002%) ва реактив қувват (максимал хато 1,3509% ва минимал хато 0.0036%) ташкил қилди. Таққослаш учун ечимлар 2– 3– 4– 5– жадвалларда берилгандан кўриниб турибдики. Таклиф этилаётган метод ечимлари сататистикаси классик метод ечимларига яқинлашиш хатолиги чегараларини қаноатлантиради. Таққослашлардан кўриниб турибдики электр системанинг қувват оқими муаммоларини таҳлил қилишда сунъий нейрон тармоқ методидан фойдаланиш мумкин экан.

Адабиётлар

1. T.Kh. Nasyrov "Foundations of the general theory of normal and emergency modes of power systems." Fan va Technology Publishing House - 2015, 224 p.
2. Yu H. Advanced Learning Algorithms of Neural Networks: Ph.D. dissertation / H. Yu. — USA: Graduate Faculty of Auburn University, 2011. — 130 p.
3. Hecht-Nielsen R., "Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem", Proc. Int. Conf. Neural Networks, v. III, IEEE Press, 1987, 11–14
4. Sheela K. G., Deepa S. N., "Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks", Mathematical Problems in Engineering, 2013, 1–11
5. Hecht-Nielsen R., "Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem", Proc. Int. Conf. Neural Networks, v. III, IEEE Press, 1987, 11–14
6. Yuan H. C., Xiong F. L., Huai X. Y., "A method for estimating the number of hidden neurons in feed-forward neural networks based on information entropy", Computers and Electronics in Agriculture, 40:1 (2003), 57–64.

*Тошкент давлат техника универстиети
томонидан тақдим этилган.*

УДК:621.314

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА СПЕЦИФИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Х.А. Саттаров

Мақолада, электр таъминоти тизимларининг муайян юкларини бирламчи ток ўлчаши ўзгартгичларининг Cloud Computing технологияси асосида олинган статик тавсифларининг экспериментал ва ҳисобий натижалари, чиқиши сигналининг ўлчовчи чулғам магнитўтказгичининг кесишган майдонига, ҳаво оралиғига ва чиқиши чулғамларининг ўрамлар сонига боғлиқлик эгри чизиқлари келтирилган.

В статье приведены результаты Cloud Computing исследования расчетные и экспериментальные статические характеристики первичных измерительных преобразователей тока специфических нагрузок систем электроснабжения, кривые зависимости выходного сигнала от площади сечения магнитопровода измерительной обмотки, от воздушного зазора, и от числа витков выходных обмоток.

The article presents the results of Cloud Computing research, calculated and experimental static characteristics of primary measuring transducers of current for specific loads of power supply systems, curves of the dependence of the output signal on the cross-sectional area of the magnetic circuit of the measuring winding, on the air gap, and on the number of turns of the output windings.

Введение. Состояние или режим работы измерительного преобразователя первичного электрического тока, при котором значения входных: I_A , I_B , I_C и выходных: U_a или U_a и U_b , или U_a , U_b и U_c сигналов в зависимости от количества чувствительных элементов не изменяются по времени, называют статическими (стационарными или равновесными). Более точно статическую характеристику можно определить как зависимость информативного параметра выходного сигнала от информативной величины или параметра его входного сигнала в статическом режиме. Статическая характеристика описывается в общем случае некоторым нелинейным уравнением (уравнением преобразования): $U=f(I)$. Для первичных измерительных преобразователей с неименованной шкалой или шкалой, отградуированной в единицах, отличных от измеряемой величины, статическую характеристику принято называть функцией преобразования [1].

Постановка задачи. Для первичного измерительного преобразователя тока специфических нагрузок систем электроснабжения на основе статической характеристики выбирают оптимальные соотношения конструктивных параметров и чувствительность. В связи с этим исследование статической характеристики является актуальной задачей.

Обычно в уравнение преобразования входят конструктивные параметры. Для реального первичного измерительного преобразователя тока специфических нагрузок систем электроснабжения, статическую характеристику можно

получить экспериментально. Для более наглядного восприятия очень широко используют графическую форму представления статической характеристики.

Решение задачи. Выходные напряжения от измерительных обмоток преобразователя токов специфических нагрузок систем электроснабжения, согласно [2-4] имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= W(i_A, \dot{U}_a) i_A + W(i_B, \dot{U}_a) i_B + W(i_C, \dot{U}_a) i_C, \\ \dot{U}_b &= W(i_A, \dot{U}_b) i_A + W(i_B, \dot{U}_b) i_B + W(i_C, \dot{U}_b) i_C, \\ \dot{U}_c &= W(i_A, \dot{U}_c) i_A + W(i_B, \dot{U}_c) i_B + W(i_C, \dot{U}_c) i_C, \end{aligned}$$

где, $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ - выходные напряжения (В); i_A, i_B, i_C - входные величины – фазные токи специфических нагрузок систем электроснабжения; $W(i_A, \dot{U}_a), W(i_A, \dot{U}_b), W(i_A, \dot{U}_c)$ - передаточные функции – коэффициенты межцепной связи между током фазы А специфических нагрузок систем электроснабжения, участков преобразования магнитных величин Π_Σ , и межцепной связи между магнитной величины Φ_μ и выходных напряжений \dot{U}_a, \dot{U}_b и \dot{U}_c соответственно $W(\Phi_\mu, \dot{U}_a), W(\Phi_\mu, \dot{U}_b)$ и $W(\Phi_\mu, \dot{U}_c)$; $W(i_B, \dot{U}_a), W(i_B, \dot{U}_b), W(i_B, \dot{U}_c)$ и $W(i_C, \dot{U}_a), W(i_C, \dot{U}_b), W(i_C, \dot{U}_c)$ - определяется аналогично.

Графики статических характеристик первичного измерительного преобразователя токов специфических нагрузок систем электроснабжения, определяются согласно выражению [5-7]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= 4,44 \cdot f \cdot w_1 \left(\Phi_{\mu A} e^{\frac{R_1}{L_1}} + \Phi_{\mu B} e^{\frac{R_2}{L_2}} + \Phi_{\mu C} e^{\frac{R_3}{L_3}} \right), \\ \dot{U}_b &= 4,44 \cdot f \cdot w_2 \left(\Phi_{\mu A} e^{\frac{R_1}{L_1}} + \Phi_{\mu B} e^{\frac{R_2}{L_2}} + \Phi_{\mu C} e^{\frac{R_3}{L_3}} \right), \\ \dot{U}_c &= 4,44 \cdot f \cdot w_3 \left(\Phi_{\mu A} e^{\frac{R_1}{L_1}} + \Phi_{\mu B} e^{\frac{R_2}{L_2}} + \Phi_{\mu C} e^{\frac{R_3}{L_3}} \right), \end{aligned}$$

где f - частота тока электрической сети специфических нагрузок систем электроснабжения; w_1, w_2, w_3 - число витков вторичных обмоток преобразователя токов; $\Phi_{\mu A}, \Phi_{\mu B}, \Phi_{\mu C}$ - магнитные потоки созданных первичными токами фаз А, В, С специфических нагрузок систем электроснабжения; $R_1, L_1, R_2, L_2, R_3, L_3$ - активные и индуктивные сопротивления вторичных обмоток - токопроводов электрической сети специфических нагрузок систем электроснабжения.

Алгоритм Cloud Computing исследования статических характеристик первичного измерительного преобразователя токов специфических нагрузок систем электроснабжения представлен на рис.1.

Графики статических характеристик электромагнитных преобразователей

первичного измерительного преобразователя токов специфических нагрузок систем электроснабжения, полученные на основе Cloud Computing технологии и экспериментальных исследований представлены на рис.2 – 5.

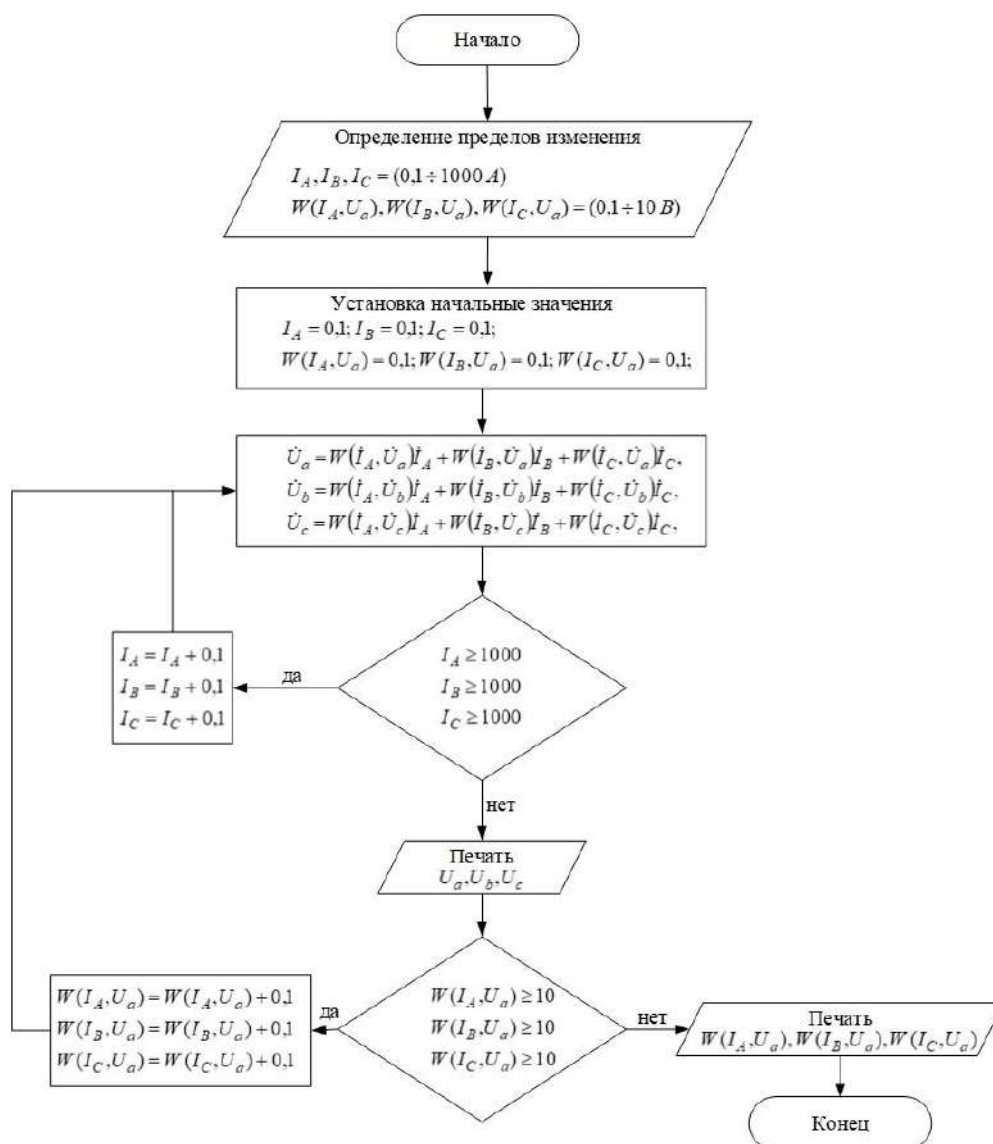


Рис. 1. Алгоритм Cloud Computing исследования статических характеристик первичного измерительного преобразователя токов специфических нагрузок систем электроснабжения

Из представленных графиков видно (рис.2. - рис.5.) с увеличением воздушного зазора δ уменьшается величина выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, увеличение числа витков способствует на плавное изменение величины выходного сигнала, а изменение площади сечения измерительной обмотки обеспечивает линейное изменение выходной величины.

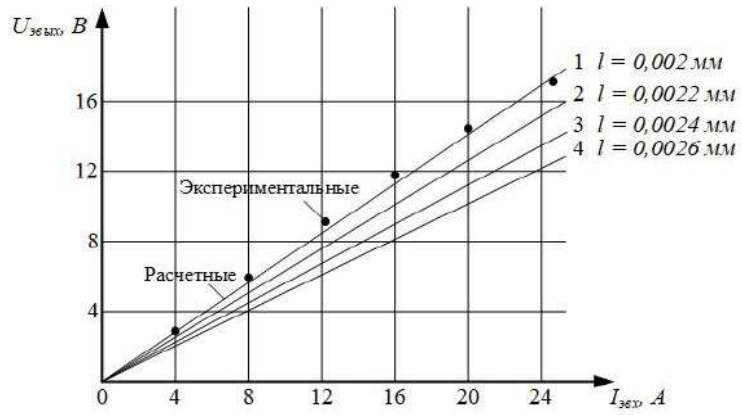


Рис.2. Статические характеристики первичных измерительных преобразователей токов (при различных значениях длины воздушного зазора l)

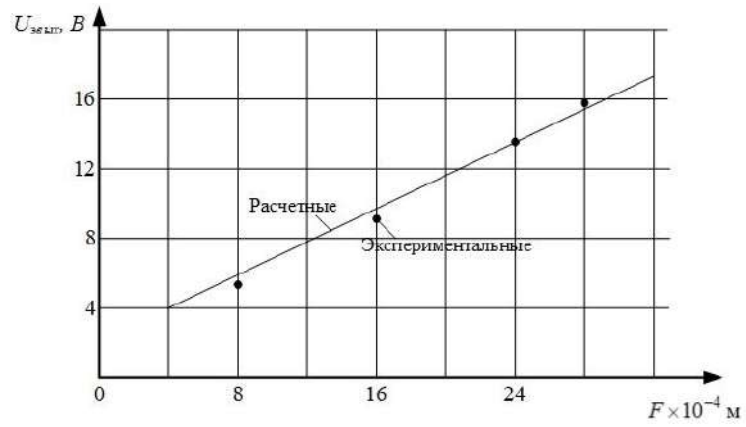


Рис.3. Кривая зависимости выходного сигнала $U_{\text{эвых}}$ - выходного напряжения от площади сечения магнитопровода - F

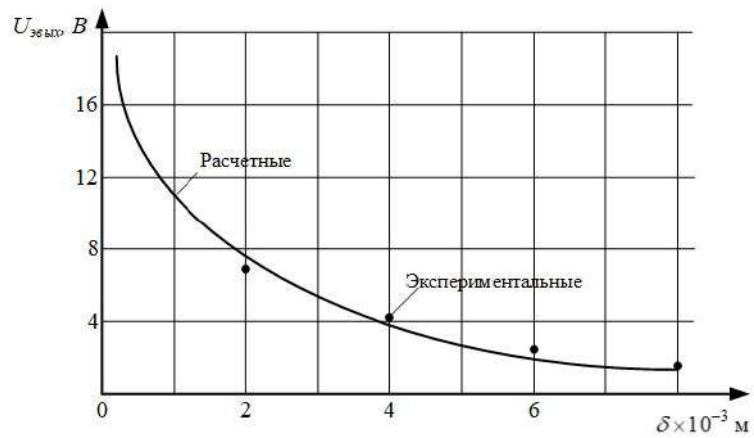


Рис.4. Кривая зависимости выходного сигнала $U_{\text{эвых}}$ - выходного напряжения от воздушного зазора магнитопровода - δ

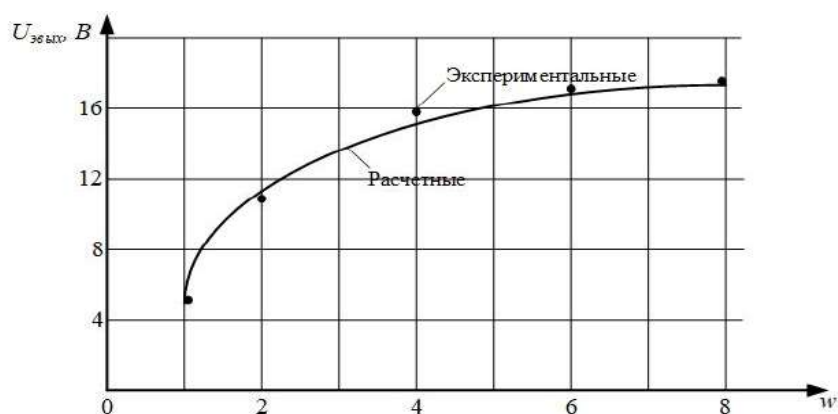


Рис.5. Кривая зависимости выходного сигнала $U_{\text{эвых}}$ - выходного напряжения от числа витков w_1 , w_2 и w_3 чувствительных элементов

Статические характеристики первичного измерительного преобразователя трехфазных токов специфических нагрузок систем электроснабжения используются для определения рабочих магнитных потоков. Магнитные потоки Φ_{μ} которых зависят от формы выполнения стержней магнитопровода измерительного преобразователя первичных трехфазных токов во вторичное напряжение.

Степень нелинейности статической характеристики преобразователя тока. Для систем контроля и управления важна степень нелинейности статической характеристики преобразователей величин и параметров трехфазного тока [7]. Нелинейность статической характеристики преобразователей является источником систематической погрешности и в отличие от других источников изменяет чувствительность при изменении параметров преобразователя [8].

Степенью нелинейности статической характеристики преобразователя первичных токов во вторичное напряжение называется отношение максимального отклонения ординаты рассматриваемого участка характеристики от аппроксимирующей на этом участке ее прямой ко всему диапазону [9].

Для уравнения статической характеристики преобразователя первичных токов специфических нагрузок систем электроснабжения во вторичное напряжение получим

$$\varepsilon = \left[0,25 - 0,5 \frac{\text{sh}(0,25\beta)}{\text{sh}(0,5\beta)} \right] \cdot 100\% .$$

Кривые зависимости степени нелинейности статической характеристики преобразователя первичных трехфазных токов во вторичное напряжение от коэффициента β приведены на рис. 6 и 7.

Анализ кривых показывает, что с увеличением коэффициента β , характеризующий удлинение или уменьшение поперечного сечения магнитопровода цепи преобразования преобразователя тока, нелинейность статической характеристики увеличивается [11].

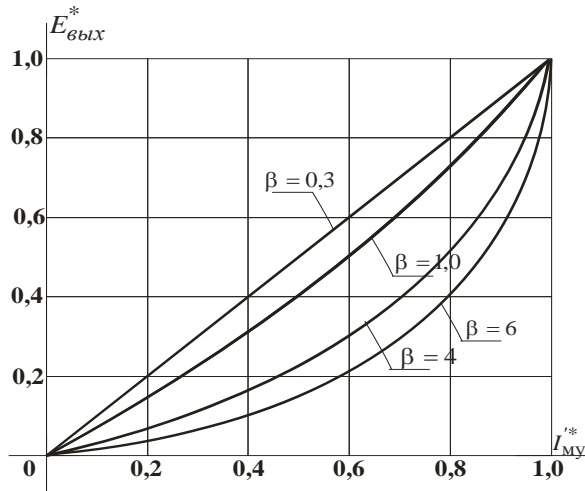


Рис. 6. Кривые статической характеристики преобразователя первичных токов во вторичное напряжение

Значение магнитной проницаемости ферромагнитного магнитопровода зазора магнитопроводов практически не оказывает влияния на нелинейность статической характеристики [6].

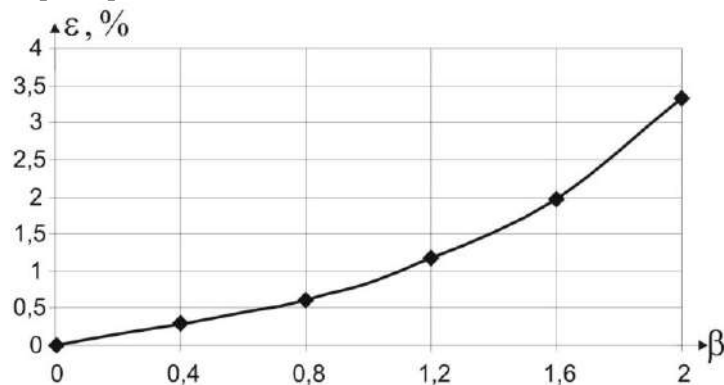


Рис. 7. Кривая зависимости степени нелинейности статической характеристики от коэффициента β преобразователя первичных токов во вторичное напряжение

Чувствительность. Чувствительность преобразователя первичных токов во вторичное напряжение находится из статической характеристики, как соотношение выходного напряжения по первичному току на входной ток и является одной из важных его характеристик [2-4].

Согласно вышеизложенному определению, чувствительность преобразователя первичных трехфазных токов во вторичное напряжение определяется как [9]

$$S = U_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$$

Анализ полученного выражения чувствительности преобразователя первичных трехфазных токов во вторичное напряжение показывает, что она максимальна при $\beta = 0$ и уменьшается с увеличением β . Увеличение магнитной

проницаемости ферромагнитного материала μ (уменьшение магнитного сопротивления зазоров) приводит к повышению чувствительности разработанного преобразователя [10].

Заключения: 1. Установлено, что исследование статической характеристики преобразователя первичных трехфазных токов специфических нагрузок систем электроснабжения во вторичное напряжение представляет практический интерес. Это имеет важное значение не только в том случае, когда выходной величиной является напряжение, но и тогда, когда к выходу преобразователей трехфазного тока подключается вторичный измерительный прибор, либо когда необходимо исследовать его в динамическом режиме.

2. Анализ полученных расчетных и экспериментальных статических характеристик преобразователя первичных трехфазных токов специфических нагрузок систем электроснабжения во вторичное напряжение подтверждает их тождественность.

Литература

1. Информационно-измерительная техника и электроника/ Под. ред. Раннева Г.Г. – М.: Академия, 2007. – 511 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – Москва: Гардарики, 2006. – 701 с.
3. Demirtchyan K.S., Neumann L.R., Korovkin N.V., Chechurin V.L. Theoretical foundations of electrical engineering: Textbook for universities. Ed. 4-th – Spb: Piter, 2006 – 576p.
4. John G. Webster, Halit Eren. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set 2nd Edition, 2014. – 3559p. <https://www.springer.com>
5. Patent RUz. №04185. Transducer asymmetry in the three-phase AC voltage / S.F. Amirov Azimov R.K., Siddikov I.H., Hakimov M.H., Hushbokov B.H., Sattorov H.A.// Rasmiy Ahborotnoma. - 2010. - №6.
6. Zaripov M.F. Petrova I.Y. The subject-oriented environment for the search for new technical solutions “Intellect”// IB Petersburg International Conf. “RI-95”, 1995. – p. 60-61.
7. Petrova I.YU., Zaripova V.M, Lejnina Y.V., Siddikov I.Kh. Automated system for synthesis of sensors for smart cities // Collection of the materials. XXII International Scientific Conference on Advanced In Civil Engineering “Construction the formation of living environment’ Tashkent, Uzbekistan, 18-21 April, 2019 E3S Web of Conferences eISSN: 2267-1242
8. Siddikov I.Kh., Sattarov Kh.A., Khujamatov Kh.E. Modeling of the Transformation Elements of Power Sources Control // International Conf. on ISISCT – 2017, Tashkent, Uzbekistan, 2-4 November, 2017. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56230037700>
9. I.Kh. Siddikov, Kh.A. Sattarov M.A. Anarbaev, G.N. Akhmedova. Modeling and research of transformation of the three-phases current in electrical equipment of control systems. 10 th International Symposium on Intelligent Manufacturing and service Systems, 9-11 September 2019, Sakarya/Turkey. P. 340-346.
10. I. Siddikov, Kh. Sattarov, A. Abubakirov, M. Anarbaev, I. Khonturaev, M. Maxsudov. Research of Transforming Circuits of Electromagnets Sensor with

Distributed Parameters. 10 th International Symposium on Intelligent Manufacturing and service Systems, 9-11 September 2019, Sakarya/Turkey. P. 831-837.

11. A. Safarov, Kh. Sattarov, S. Jumaboyev. Device for detection of the phase current asymmetry in the three-phase lines of non-traction consumers. MIST: Aerospace 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 734 (2020) 012196 doi: 10.1088/1757-899X/734/1/012196, P. 4 <https://www.scopus.com/inward/record.uri>

*Тошкент ахборот технологиялари университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК.621.316.1

ШАҲАР ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА МИКРОПРОЦЕССОРЛИ ҲИМОЯ ВА АВТОМАТИКАНИ ЖОРИЙ ЭТИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ

М.В. Меликўзиев

Мақолада шаҳар электр тармоқларида юзага келиши мумкин бўлган нономрал ҳолатлар ва шикастланишлардан ҳимоя қилиши бўйича ҳимоя турлари ва уларнинг самарадорлик кўрсаткичлари таҳлил қилинган. Шаҳар электр тармоқларида замонавий ҳимоя воситалари ва автоматиканинг қўлланилиши уларда ишончлилик ва электр тармоқларига уланган истеъмолчилар учун узлуксиз электр энергия таъминотини амалга оширишга имконият яратади. Замонавий ҳимоя воситаларининг қўлланилиши электр тармоқларида бўладиган техник-иқтисодий кўрсаткичларга таъсир этади. Ушбу ҳолатда электр тармоқларида содир бўладиган авариявий ҳолатларнинг сабаблари ва авария содир бўлгандан сўнг тезкорлик билан бартараф этилади. Ривожланган давлатлар шаҳарларининг электр таъминотида микропроцессорли ҳимоя ва автоматикани жорий этиш ўзининг техник-иқтисодий самарадорлигини бермоқда.

В статье анализируются виды защиты от нетепловых ситуаций и травм, которые могут возникнуть в городских электрических сетях, и их эффективные показатели. Применение современных средств защиты и автоматизации в городских электрических сетях создает в них надежность и возможность осуществлять бесперебойное электроснабжение потребителей, подключенных к электрическим сетям. Применение современных средств защиты влияет на технико-экономические показатели, возникающие в электрических сетях. В этом случае выясняются причины аварии, которая происходит в электрических сетях и быстро устраняется после того, как произошла авария. Внедрение микропроцессорной защиты и автоматизации в электроснабжение городов развитых стран дает его техническую и экономическую эффективность.

The article analyzes the types of protection against non-thermal situations and injuries that may occur in city electrical networks and their effectiveness indicators. The application of modern protective equipment and automation in city electric networks creates in them reliability and the opportunity to carry out uninterrupted power supply for consumers connected to electric networks. The application of modern protective equipment affects the technical and economic indicators that occur in electrical networks. In this case, the causes of the accident that occurs in electrical networks and is quickly eliminated after the accident occurs. The introduction of microprocessor protection and automation in the power supply of the cities of developed countries gives its technical and economic efficiency.

Қириш. Ҳозирги кунда ривожланган кўплаб давлатларнинг шаҳарларида электр энергия истеъмолчиларини сифатли электр энергияси билан таъминлаш-

нинг узлуксизлигига ва тармоқларнинг шикастланмасдан узоқ муддат фаолият кўрсатишига алоҳида эътибор берилмоқда. Шаҳар электр тармоқларининг нормал иш режимида узоқ вақт ишлаб беришига бўлган талаб ортиб бормоқда. Бунинг учун барча шаҳар электр тармоқларида содир бўлиши мумкин бўлган нономал ҳолат ва шикастланишларни тезкорлик билан бартараф этадиган ва тармоқларни қисқа вақт ичида нормал иш режимига қайта тикланишини таъминловчи автоматик ҳимоя воситаларини қўллаш масалалари муҳим ҳисобланади [1, 2, 4].

Шаҳар тақсимловчи электр тармоғида микропроцессорли ҳимоя ва автоматикани жорий этиш ўзининг техник-иқтисодий самарадорлигини бермоқда.

Асосий қисм. Шаҳар электр тармоқларида асосан, 6-10 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоқларида ҳимоя воситалари сифатида автоматик қурилмалар қўлланилади. Бунда тармоқларда қўлланиладиган релели ҳимоя қурилмаларининг кўп ҳолларда 95% дан ортиқ қисми электромеханик релелардан қурилган ва фақат 2% га яқини рақамли ҳимоя қурилмаларидир. Йилдан йилга рақамли ҳимояларнинг салмоғи ортиб бормоқда [5, 6, 13].

Амалиётда релели ҳимоя ва автоматиканинг тўғри ҳаракатларининг юқори фойзини кўрсатишига қарамай, электромеханик реле тақсимловчи тармоқларни мураккаб автоматлаштиришга тўсқинлик қилувчи ёки сезиларли даражада мураккаблаштирадиган муҳим камчиликлар билан тавсифланади. Бундай камчиликларга қуйидагиларни келтириб ўтиш мумкин:

- фазалараро қисқа туташувларни узоқ вақт ўчириши;
- бир неча АПВ қурилмалар билан ишлаш учун ишончсизлик;
- юқори қийматли қисқа туташув тоқларини ва ерга заминланган ҳолдаги тоқлардан ҳимояловчи қурилмаларни созлашдаги қийинчиликлар;
- релели ҳимоя ва автоматикани ишлаш параметрларини автоматик равишда ўзгартирадиган қурилмаларни созлашдаги қийинчиликлар;
- бир фазали ер билан бўладиган қисқа туташувдан самарали ҳимоянинг йўқлиги.

Микропроцессорли ҳимоя релеларининг пайдо бўлиши кўп сонли функцияларга ва юқори ишончликка эга бўлган кичик ўлчамли ҳимоя ва автоматлаштириш қурилмаларини яратишга имкон берди. Дастурлар, ишлаш ва тартибга солиш алгоритмлари микропроцессор қурилмаси хотирасида сақланади. Ҳақиқий вақтда ишлайдиган микропроцессор тизими ҳимояланган элементдаги вақтга боғлиқликларнинг ўрнатилган ёки олдиндан ишланган маълумотларидан фойдаланади [8]. Масалан, тескари вақт-ток хусусиятига эга бўлган рақамли ҳимоя ўта юкланиш тоқининг қиймати, берилган алгоритмга мувофиқ, қисқа туташув тоқининг қийматига ёки электр жиҳозларининг ўта юкланиш тоқига қараб, керакли реле жавоб вақтини ҳисоблаб чиқади. Керакли вақт-ток характеристикаси бир нечта ўрнатилган хусусиятлардан танланади [9-12].

Компютер дастурлари нафақат рақамли релелар ишлашини таъминлаш, балки уларни масофадан созлаш ва техник хизмат кўрсатиш учун ҳам қўлланилади [3, 14].

Бундан ташқари, микропроцессор элементи базасида ишлаб чиқарилган рақамли реле электр қурилмалари билан замонавий рақамли автоматик бошқарув тизимига қуйи иерархик даража сифатида киритилиши мумкин. Шундай

қилиб, реле терминаллари нафақат қисқа туташув ва нономал режимлардан ҳимоя қилишни, балки коммутация қурилмаларини бошқаришни, нормал ва авария режимларнинг параметрларини рўйхатга олишни, электр энергиясини ҳисобга олишни, автоматик бошқарув тизимининг юқори даражасига маълумотларни узатишни ва қирувчи буйруқларни қабул қилишни ҳам таъминлайди [7].

Шаҳар электр таъминотини бир нечта манбалардан, масалан, таъминот манбаси ва энергия тизимидан қувват олғиб ишлаганда юзага келадиган қисқа туташув тоқлари ва электр юкларнинг кескин ўзгариши билан шаҳар электр таъминоти тизимларида микропроцессорли ҳимоя воситаларидан фойдаланиш истиқболли ҳисобланади. Авариявий вазиятларда, муайян шароитларга қараб, турли таъминот схемалари қўлланилади. Масалан, ўз манбасининг етарлича катта қувватига эга бўлган ҳолда, у шаҳар электр тармоғининг асосий юкларини таъминлай оладиган бўлса, нормал режимда энергия тизимининг битта (ишчи) манбаи ва унга параллел равишда таъминот манбаси генераторлари ишлатилади. Бахтсиз ҳодисалар ва автоном режимга ўтган тақдирда, фақат таъминоти манбасининг параллел ишлайдиган генераторлари қувват манбаи бўлиб қолади, бу эса реле ҳимояси ва автоматлаштиришга қўйиладиган талабларни ўзгартиради, чунки қисқа туташув тоқларининг қийматлари пасаяди. Бир қатор ҳимоя воситаларининг сезгирлиги етарли бўлмайди ва уни қайта қуришни талаб қилади. Шаҳар электр таъминоти тизимидаги реле ҳимояси ва автоматлаштиришни истеъмолчиларни ишчи ходимларнинг ҳаракатлари билан узмасдан бундай қайта қуриш жуда қийин ва баъзи ҳолларда деярли имконсиздир. Бундай ҳолларда, микропроцессорли ҳимоя қурилмалари ёрдамида эришиладиган автоматик равишда қайта конфигурация қилинадиган реле ҳимояси тизимидан фойдаланиш тавсия этилади [15, 16].

Рақамли релели ҳимоя қурилмалари электромеханик релеларга қараганда тезроқ қисқа туташувни ўчиришни таъминлайди. Рақамли реле электр жиҳозларини хавфли режимлардан профилактик ҳимоя қилади, қисқа туташув пайдо бўлишининг олдини олади.

Рақамли реле ҳимоя ҳам бир қатор камчиликларга эга ҳисобланади. Ушбу камчиликлар қуйидагиларни ўз ичига олади:

- паст шовкин барқарорлиги;
- паст қувватли чиқиш сигнали, бу кучайтиргичлардан фойдаланишни, шунингдек, масалан, ўчиргич билан боғланиш учун оралиқ электромеханик релелардан фойдаланишни талаб қилади.

Ахборотни қайта ишлашнинг рақамли усулларига ўтиш электр жиҳозларини ҳимоя қилишнинг янги тамойиллари пайдо бўлишига олиб келмади, аммо реленинг ишлаш сифати сезиларли даражада яхшиланди.

Микропроцессорли ҳимоя қурилмаларининг асосий афзалликлари қуйидагилардан иборат:

- кўп сонли функциялар амалга оширилади;
- релели ҳимоя ва автоматикани масофадан бошқариш имконияти;
- микропроцессорлардан фойдаланиш оддий аппаратда амалга ошириш;
- юқори эксплуатацион ишонччилик;
- мураккаб ҳисоб-китоб операцияларини дастурий равишда тез бажариш қобилияти;
- авариявий ҳолатлар ҳақида катта миқдорда маълумот олиш;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- ишлаш пайтида қурилманинг ўз-ўзини ташхис билан таъминлаш;
- техник хизмат кўрсатишнинг қулайлиги;
- минимал оғирлик ва ўлчамлар.

Янги авлод релели ҳимоя ва автоматлаштириш тизимлари барча кучланиш шкаласидаги подстанциялар, электр тармоқлари учун қўлланилади ва микро-процессорга асосланган релели ҳимоя қурилмалари ва компьютерни бошқариш тизимида куйидагиларни англатади:

- оператор учун жараённинг кўриниши, операторга аварияни олдини олиш учун ўз вақтида жавоб беришга имкон беради;
- релели ҳимоя терминаллари ва подстанциянинг асосий жиҳозларини масофадан бошқариш;
- авария вазиятлардан олдин профилактика қилиш имконини берувчи доимий диагностика;
- релели ҳимоя қурилмалари билан ишлашда ва автоматлаштириш тизимидан фойдаланишда мослашувчанлик;
- тизимни кенгайтириш имконияти, ҳам релели ҳимоя, ҳам ўлчаш ва назорат қилиш;
- авариядан олдинги ва кейинги вазиятларда авариянинг сабабларини аниқ таҳлил қилиш учун барча қийматларни қайд этиш ва сақлаш;
- бир қатор ёрдамчи назорат ва мониторинг функциялари, масалан, автоматик юксизлантириш.

Юқорида келтирилган ҳимояловчи қурилмаларнинг характеристикаларидан келиб чиқиб 1-жадвалда уларни таққослаш имконияти мавжуд.

1-жадвал

Турли даврлардаги ҳимоя қилиш релеларининг қиёсий таҳлили [2]

Реле тури/ Характеристика	Электромеханик	Яримўтказгичли	Рақамли
Аниқлик ва сезгирлик	яхши	жуда яхши	аъло
Фаолият даври	узун	қисқа	қисқа
Операцион тизимда узилишлар	амалий мумкин эмас	мумкин	мумкин
Ишонччилик	ўртача	яхши	аъло
Дискриминация потенциали	паст даражада	яхши даражада	аъло даражада
Мониторинг ҳолати	йўқ	йўқ	бор
Кўпвазифалилик	йўқ	чегараланган	бор
Маълумот узатиши	йўқ	йўқ	бор
Масофадан бошқариш	йўқ	йўқ	бор
Параметрларни созлаш	қийин	енгил	жуда енгил
Созлаш оралиғи	чегараланган	катта	жуда катта
Ўлчаши	йўқ	йўқ	бор
Маълумот сақлаш	йўқ	йўқ	бор
Ўлчами	катта хажмли	кичик	ихчам

Шахар электр таъминоти тизимининг ишончилигига иш станциясининг оператори, подстанция навбатчи ходимлари томонидан кўп марта ортиқча ва қурилмаларнинг иш фаолиятини доимий назорат қилиш орқали эришилади. Натижада, шикастланишлар автоматик равишда ва масофадан туриб топилади ва шу билан электр узилишларидан келиб чиқадиган зарар минималлаштирилади.

Юқоридагиларни инобатга олиб, ҳозирги ривожланаётган техника ва рақамлаштириш даврида барча мавжуд электр тармоқлар, хусусан, шаҳар электр тармоқларида турли нонормал ҳолатлар ва шикастланишларни олидини олиш тармоқдан таъминланаётган электр энергияси истеъмолчиларига электр таъминотида узлуксизликни беради. Бунга эса электр тармоқларни узоқ вақт шикастланмасдан ишлашини таъминлаш учун ишончли ва самарали ҳимоя воситаси микропроцессорли ҳимоя ёрдамида эришилади. Шунинг учун барча шаҳарларнинг электр тармоқларида ушбу ҳимоя қурилмалари босқичма-босқич ўрнатилмоқда.

Адабиётлар

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 23 ноябрдаги ПҚ-2661-сон «2017-2021 йилларда паст кучланишли электр тармоқларини янада модернизация қилиш ва янгилаш дастури тўғрисида» ги Қарори.
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар Стратегияси тўғрисида» ги Фармони.
3. Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов: ruscable.ru/article/Problemy_ ... Прогноз потребления электроэнергии до 2030 года. coolreferat.com/Прогноз_ ...
4. Микропроцессорные (цифровые) релейные защиты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lektsii.org/1-528.html/> (дата обращения: 08.01.2018).
5. Гуревич Владимир. Микропроцессорные реле защиты. Новые перспективы или новые проблемы? Журнал № 6 (36), 2005. НОВОСТИ Электро-Техники. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/36/10.php/> (дата обращения: 08.01.18).
6. Абдельмоумен Абделькадер, Бентарзи Хамид. Обзор разработок и тенденций в области защитных реле. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.scielo.org.za/pdf/jesa/v25n2/10.pdf/> (дата обращения: 15.01.2018).
7. Микропроцессорные устройства релейной защиты: обзор возможностей и спорных вопросов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1431-mikroprocessornyeustrojstva.html/> (дата обращения: 08.01.2018).
8. Мясоедов Ю.В., Савина Н.В. Интеллектуализация систем электро-снабжения городов // Монография. г. Благовещенск. Изд-во, АмГУ, 2017. - 153 с.
9. Н.Кристофидес. Теория графов. -М.: МИР, 1978. - 432 с.
10. Таслимов А.Д. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2019. – 148 с.
11. Г.А.Фадеева, В.Т.Федин. Проектирование распределительных электрических сетей. – М.: Высшая школа, 2009. – 368 с.

12. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Рахимов Ф.М. // Паст кучланишли электр тармоқларининг оптимал параметрларини танлаш учун уларга сарфланадиган умумий харажатларнинг математик моделини шакллантириш дастури // DGU №07379. 19.12.2019 йил.

13. Киселев А. Н. Технико-экономический анализ городских распределительных электрических сетей с учетом их развития: Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук., - М., 2003.

14. Manjure D.P., Makram E.B. Optimal load curtailment as a bi-criteria program // Electrical Power Systems Research. - Vol. 66 - 2003. - P. 155-161.

15. A.D.Taslimov, A.S.Berdishev, M.V.Melikuziev, F.M.Rakhimov. Method of selecting parameters of cable lines distributive networks 10 kv in uncertainty conditions. Международная конференция Руденко «Методологические проблемы в изучении надежности крупных энергетических систем». Ташкент. doi.org/10.1051/e3sconf/201913901082 Том 139 (2019), PP. 1-3. (RSES 2019) eISSN:2267-1242. <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/65/contents/contents.html>.

16. Козлов В.А., Билик Н.И. Справочник по проектированию систем электроснабжения городов. - Л.: Энергия, 2004. - 275 с.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.314.21

**ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ЧАСТИ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ УЗБЕКИСТАНА**

Т.К. Жабборов, И.К. Исмоилов

Мақолада мавжуд трансформаторлар паркни ишлатишдаги муаммоларни таҳлил қилиш, уларни ишончли ишлаши муаммосига комплекс ёндашишга қаратилган назарий тадқиқотлар таҳлили кўриб чиқилган. Мақолада, шунингдек, Ўзбекистон Республикаси энергия тизимларини таҳлилни қўллаш ва таққослаш учун Россия ва бошқа давлатлардаги олиб борилган тадқиқотлар билан солиштириш амалга оширилган. Улар аосида эса норматив материалларнинг таҳлиллари ўтказилган.

В статье рассмотрены анализы работы теоретического исследования, направленного к комплексному подходу к проблеме надежной работы силовых трансформаторов во время эксплуатации силовых трансформаторов, которая позволяет проводить анализ о проблемах при эксплуатации существующего парка трансформаторов. В статье также проведено зарубежные анализы нормативных материалов на примере России, а также других стран для дальнейшего применения и сравнения энергосистем Республики Узбекистан.

The article analyzes the work of a theoretical study aimed at an integrated approach to the problem of reliable operation of power transformers during the operation of power transformers, which allows an analysis of problems in the operation of the existing transformer fleet. The article also contains foreign analyses of regulatory materials on the example of Russia, as well as other countries for further application and comparison of the power systems of the Republic of Uzbekistan.

Как известно в настоящее время несмотря на то накоплен достаточный научный и практический опыт оценки и прогнозирования ресурса силовых трансформаторов, пока еще не существуют нормативный документ, которая бы регламентировал бы процедуру продления и срок службы ресурса силовых трансформаторов.

Анализ литератур [1,2] срока службы и повреждаемости силовых трансформаторов в зарубежных странах, на примере Ферганского предприятия электрических сетей, можно показать, что значительное количество силовых трансформаторов, эксплуатируемых на предприятиях энергетики страны, находится в эксплуатации более 25 лет, отработав установленный ГОСТом 11677–85 срок службы–25 лет, как показано в таблице 1.

В эксплуатации на предприятиях энергетики Узбекистана находятся трансформаторы, изготовленные в соответствии с ГОСТ 11677–65, имеющие недостаточную электродинамическую стойкость к возросшим уровням токов короткого замыкания в энергосистемах. Расчетная мощность трехфазного

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

короткого замыкания в сетях–6–750 кВ в соответствии с ГОСТ 11677–85 [1]. Она в 2,5 раза больше принятой в ГОСТ 11677–65.

Таблица 1

Срок службы силовых трансформаторов на предприятиях Ферганской части энергосистемы Узбекистана (по данным Ферганского предприятия электрических сетей)

Тип трансформаторов	Итого трансформаторов	Места эксплуатации энергетические предприятия Узбекистана и количество трансформаторов		
		Фергана ТПЭС	Андижан ТПЭС	Наманган ТПЭС
Трансформаторы с напряжением 110 кВ	252	57	75	120
	100%	22,61%	29,76%	47,61%
Трансформаторы с напряжением 110-220 кВ	267	62	80	123
	100%	23,22%	29,96%	46,06%
Склад блочных трансформаторов напряжением 110-220 кВ	14	7	3	4
	100%	50%	21,43%	28,57%
Склад силовых трансформаторов, эксплуатируемых на предприятиях электрических и межсистемных сетей (НЭС “Кыргизэнерго”)	6	1	3	2
	100%	16,67%	50%	33,3%

В литературе [3] приведена удельная повреждаемость трансформаторов, разработанных до 70-х годов прошлого столетия, превышает 1% в год, у новых она составляет около 0,2%

Анализ работы и накопленный опыт показывают, что основные повреждения силовых трансформаторов в эксплуатации возникают в следующих случаях:

- ✓ Обмоток,
- ✓ высоковольтных вводов,
- ✓ устройств РПН.

Проведенные наблюдения показывают причинами повреждений:

- ✓ Развитие дефектов под влиянием эксплуатационных факторов;
- ✓ ошибочные или недостаточные действия при монтаже, ремонте и эксплуатации.

Изучая литературу [4–6] можно указать данные об удельной повреждаемости силовых трансформаторов за рубежом. В разных странах существуют различные решения и подходы к анализу повреждаемости, а также по-разному подходят к самому понятию и к формированию статистических данных, поэтому это не позволяет проводить правильное, то есть корректное сравнение. В литературах [4–6] приведены данные, что в развитых странах

удельная повреждаемость силовых трансформаторов оценивается не более 1,5–2% в год. Вопросы анализа повреждаемости силовых трансформаторов в бывшем СССР и в России системно занимались многочисленные организации

По данным литературы [6] и продолжая анализ Российского опыта, можно сказать что благодаря достаточно высокой эффективности системы диагностического и ремонтного обслуживания силового трансформаторного оборудования в 90–х годах прошлого столетия в отношении силовых трансформаторов начала реализовываться концепция перехода от нормативно–календарного планирования ремонтов к их проведению “по состоянию” (т.е. в зависимости от фактического технического состояния). В соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭС) [9] ремонт трансформаторов (капитальный и текущий) и их составных частей (РПН, система охлаждения и др.) выполняются по мере необходимости, в зависимости от их технического состояния, определяемого измерениями, испытаниями и внешним осмотром. Оценка технического состояния силовых трансформаторов в эксплуатации ведется по комплексу контролируемых показателей и их нормативам. Основным документом, регламентирующим перечень испытаний силовых трансформаторов и высоковольтных вводов при вводе в работу и в процессе эксплуатации, предельно–допустимые значения контролируемых показателей и периодичность контроля, является РД “Объемы нормы испытаний электрооборудования”. В шестом издании [7] РД “Объем и нормы испытаний электрооборудования” (1998 г.) [10] для силовых трансформаторов существенно расширен перечень контролируемых параметров. Ранее нормированные традиционные показатели оценки состояния силовых трансформаторов дополнены новыми показателями:

- ✓ хромато графический анализ газов, растворенных в масле;
- ✓ контроль содержания фурановых соединений в масле;
- ✓ измерение степени полимеризации;
- ✓ контроль содержания антиокислительной присадки ионов;
- ✓ тепловизионный контроль и др.

По данным литературы [10] к концу 90–х годов прошлого столетия в дополнение к РД, применяемого при оценке состояния силовых трансформаторов во время эксплуатации, приняты указания для руководства нормативно–технического документа в виде методических указаний и методик.

Из этого документа можно сказать, что это позволяет следующее:

- ✓ Техническое состояние силовых трансформаторов можно комплексно определять;
- ✓ Можно указать и принимать решения о необходимости вывода в ремонт.

В литературе и документах [3,4,8] в настоящее время специалисты отмечают следующие особенности технического состояния эксплуатации силовых трансформаторов:

- ✓ Старение всего и целом трансформаторного парка;
- ✓ требования о необходимости обеспечения надежности работы трансформаторов;
- ✓ Сверх эксплуатации установленного срока службы;

- ✓ Решить вопрос о необходимости принятия обоснованных указаний о возможности и целесообразности дальнейшей эксплуатации или необходимости вывода из работы трансформаторов;
- ✓ Определить точность и необходимость анализа повреждаемости;
- ✓ Обязательное необходимость обобщения опыта обследования технического состояния силовых трансформаторов;
- ✓ Рассмотреть необходимость анализа применения действующих нормативно–технических документов, рекомендаций СИГРЭ и МЭК.

Для развития системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) является принятый новые направления в разработка подходов, основанных на наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования в процессе эксплуатации. Поэтому важнейшей задачей эксплуатации электроэнергетических систем является переход от системы предупредительно плановых ремонтов к ремонту на основе использования результатов диагностированию. Это повысит надежность работы оборудования, позволит эффективнее управлять процессам ТО и Р, а также снизить эксплуатационные издержки энергетических компаний. В связи с этим особую важность приобретает задача оценки параметров электрооборудования (как существующего, так и вновь вводимого). Как показывают опыт для эффективного использования системы диагностики силовых трансформаторов необходимо провести большую подготовительную работу–определить перечень диагностируемого оборудования, контролируемые параметры, а также используемые средства диагностики в зависимости от критичности состояния оборудования, подготовить квалифицированный персонал. После этого может быть принято решение о внедрении системы диагностического мониторинга трансформаторного оборудования с его технико–экономическим обоснованием.

Выводы

1. Для повышения надежности работы склада силовых трансформаторов необходимо исследования проблемы надежности работы силовых трансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстанциях электрических сетей, так как это имеет важное народнохозяйственное значение для Узбекистана.

– Необходимо проведения значительного комплекса исследований и разработок новых методов и критериев, совершенствования существующих применяемых для обеспечения оценки предельного технического состояния силовых трансформаторов с длительными сроками эксплуатации, обоснования продления срока их эксплуатации, обеспечения надежности работы существует необходимость развитие и повышение эффективности системы оценки технического состояния силовых трансформаторов, позволяет обеспечить:

- Польный, т.е. комплексный подход к оценке технического состояния,
- Требуется определить предельное состояние силовых трансформаторов с длительными сроками эксплуатации для принятия решений по возможности их дальнейшей эксплуатации или необходимости и целесообразности вывода из работы,
- При эксплуатации необходимо повысить надежность.

2. Анализ опыта эксплуатации и повреждаемости силовых трансформаторов и автотрансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и подстан-

циях Республики, показывает, что для получения практических результатов необходимо провести полный и комплексный теоретических и экспериментальных исследований, а также разработать методы и критерии диагностирования.

Литература

1. ГОСТ 11677–85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Изд-во Стандартов, 1986.
2. ГОСТ 11677–65. Трансформаторы (автотрансформаторы) силовые. Общие технические требования. М.: Изд-во. Стандартов, 1971.
3. Макаревич Л.В., Шифрин Л.Н., Алпатов М.Е. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей // Изв. Акад. наук. Энергетика. 2008. № 1. С.45–69.
4. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: НЦ Энас, 2002. 216 с.
5. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения: РД 153–34.346.34–00. М.: РАО «ЕЭС России», 2000. 15 с.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 250 с.
7. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД34.4551.300–97. М.: Изд-во ЭНАС, 1998. 256 с.
8. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю., Неклепаев Б.Н., Антипов К.М., Сурба А.С., Чичинский М.И. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. 2001. № 9. С. 53–58.
9. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / под ред. Ф.Л. Когана. М.: АО «Фирма ОРГРЭС», 1998. 493 с.
10. Силовые трансформаторы: справ. книга/под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. 618 с.

*Фаргона политехника институти
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.311

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОГО АГРЕГАТА
НА ЗАВОДЕ ООО «LITDORMASH»**

**А.А. Пулатов, О.А. Обидов, Ж.Б. Бекмуродов,
Н.З. Махмудов, И.Ш. Дўсмаматов**

Мақолада металлургик жараёнларда ишлатиладиган индукцион тигель печни металл эритиши вақтида эритиши жараёнини самарадорлигини оширишига хизмат қилиши имкониятларини яратиши усулларидан бири кўриб чиқилган. Уларнинг асосини металл эритишидаги билвосита хароратни аниқлаш усулини қўллаш бирмунча самарадор эканлигига эътибор қаратилган.

Рассмотрен один из вариантов разработки системы автоматического управления индукционной установкой, предназначенной для плавки и перегрева стали, чугуна по способу косвенного измерения. Основой системы автоматического управления этой установкой выбран способ косвенного измерения, определен его энергетический эффект по сравнению с другими способами.

One of the options for developing an automatic control system for an induction installation of intended for melting and overheating of steel, cast iron, as non-ferrous metals by indirect measurement method is considered. The basis of the automatic control system of this installation is the indirect measurement method, its energy effect is determined in comparison with other methods.

Современные установки индукционного нагрева - это сложные высокопроизводительные, энергоёмкие агрегаты мощностью в десятки мегаватт. Высокая эффективность процесса нагрева равносильна энергосбережению и автоматически ведет к экономичности технологии. В свою очередь разработка и создание эффективных систем управления установок индукционного нагрева с высокими технико-экономическими показателями и высоким КПД является одной из самых актуальных задач в технике индукционного нагрева [1].

С целью выравнивания температуры и химического состава в объеме расплава в индукционной тигельной печи (ИТП) перед разливкой осуществляется выдержка расплава при постоянной температуре. Поддержание постоянной температуры расплава также необходимо при хранении жидкого металла в печи [2].

В зависимости от конкретного технологического процесса заполнение ИТП жидким металлом может быть различным (рис. 1).

Уменьшение уровня металла в тигле (по отношению к максимальному уровню) приводит к изменению значений потребляемой мощности P , мощности, выделяющейся в расплаве P_2 , и мощности тепловых потерь P_T . Это иллюстрируется расчетными графиками (рис. 2), из которых видно, что в случае ИТП для алюминия емкостью $G=5$ т тепловые потери P_T при сливе из печи 75% расплава

снижаются только на 34%, в то время как мощность в расплаве снижается почти на 80%. В ИТП для алюминия емкостью 10 т тепловые потери снижаются на 33%, мощность в расплаве – на 84% [3].

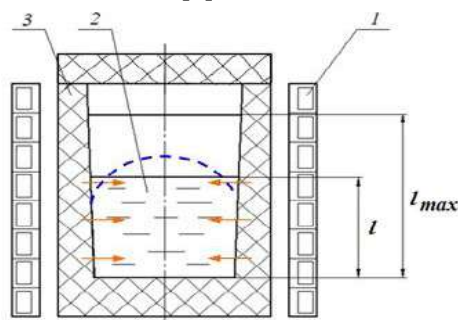


Рис. 1. Эскиз индукционной тигельной печи:
1 – индуктор; 2 – расплавляемый металл; 3 – тигель

Снижение мощности, выделяющейся в расплаве, будет приводить к остыванию металла. Еще одной особенностью работы ИТП является образование на поверхности ванны металла выпуклого мениска, показанного пунктиром на рис.1, под действием электродинамических сил, вызванных взаимодействием токов индуктора и жидкого металла[3].

Недостатком существующих систем регулирования температуры расплава является переключение ступеней напряжения питающего трансформатора или изменения выходного напряжения преобразователя частоты для регулирования (соответственно для печей промышленной или повышенной частоты). Поэтому при разработке систем управления ИТП необходимо учитывать значительное влияние формы расплава на электрические и энергетические характеристики установки с ИТП. Регулирование в системах управления ИТП осуществляется автоматически по сигналу датчика температуры [2].

В качестве датчиков температуры расплава в ИТП наиболее часто используются погружные термоэлектрические преобразователи (термопары). Агрессивность среды вынуждает прибегать к периодическому погружению датчика в расплав. Применение погружных датчиков сопряжено с периодическим отключением установки от питающей сети на время измерения. Значительные временные интервалы между измерениями могут привести к перерасходу электроэнергии или к недопустимо большому отклонению температуры расплава от задания. Измерение температуры расплава пирометрами излучения часто затруднено из-за наличия слоя шлака на поверхности расплава, а также связано со значительной погрешностью вследствие частичного поглощения теплового излучения парами металла.

Поэтому актуальной является задача разработки системы управления ИТП, основанной на определении температуры расплава по косвенным электрическим параметрам [3].

Функциональная схема регулирования теплового режима ИТП с использованием расчетной температуры расплавляемого металла, получаемого из математической модели теплового состояния печи, представлена на рис.2 Система определяет значение температуры расплава в тигле по измеренным

косвенным параметрам – электрическим величинам (активная мощность P , потребляемая установкой, напряжение U и ток индуктора I). Питание печи осуществляется от источника питания 4, для компенсации реактивной мощности параллельно индуктору подключена конденсаторная батарея 6, значения P , U и I измеряются датчиками мощности ДМ, напряжения ДН и тока ДТ соответственно. Значение температуры расплава рассчитывается программируемым микропроцессорным контроллером, выполняющим функции регулятора температуры РТ.

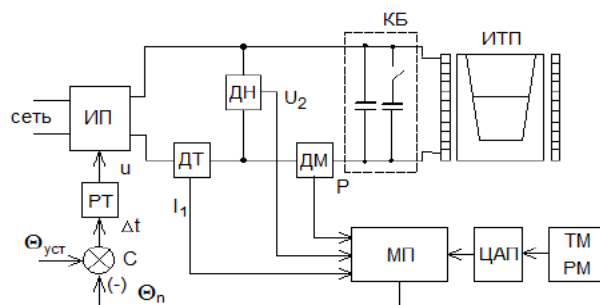


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического управления режимом работы ИТП с помощью тепловой модели расплавляемого металла: ИП – источник питания, ДТ, ДН и ДМ – датчики тока, напряжения и мощности, КБ – конденсаторные батареи, ИТП – индукционная тигельная печь, С – сумматор, МП – микропроцессор, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, ТМ РМ – тепловая модель расплавляемого металла

Изменение температуры расплава можно оценить по значению активной мощности, потребляемой установкой (или тока и напряжения индуктора и $\cos \varphi$), если известны мощность потерь в индукторе (или электрический КПД установки) и мощность тепловых потерь. В этом случае температура расплава рассчитывается микропроцессорным контроллером, на основании зависимости температуры от полного электрического сопротивления печи и уровня расплава. Полное сопротивление печи определяется как соотношение измеренных значений напряжения и тока индуктора, а уровень (массу) расплава измеряет тензодатчик [3].

Задача синтеза системы управления тепловым режимом ИТП сводится к разработке и аппаратной реализации алгоритма, обеспечивающего управления расплавления металла, на основе средней температуры расплавляемого металла.

Функциональная схема системы автоматического управления режимом работы ИТП работает следующим образом. В задающем устройстве ЗУ формируется сигнал управления пропорциональный значению температуры расплавлению металла $\Theta_{уст}$ и этот сигнал подается на первый вход сумматора С. На второй вход сумматора С подается сигнал пропорциональный температуре расплавляемого металла по интервале времени начиная с периода от холодного состояния до температуры расплавления металла Θ_n (для времени Δt_n , см.рис.3), сформулированный в микропроцессоре МП.

Таким образом, отличительной особенностью предлагаемой системы управления является относительная простота алгоритмов управления, не предъявляющих высоких требований к производительности электронно-

вычислительного устройства. Система реализуется на базе программируемого промышленного контроллера, который также может осуществлять регулирование коэффициента мощности и режима симметрирования, и связан средствами вычислительных сетей с ЭВМ верхнего уровня.

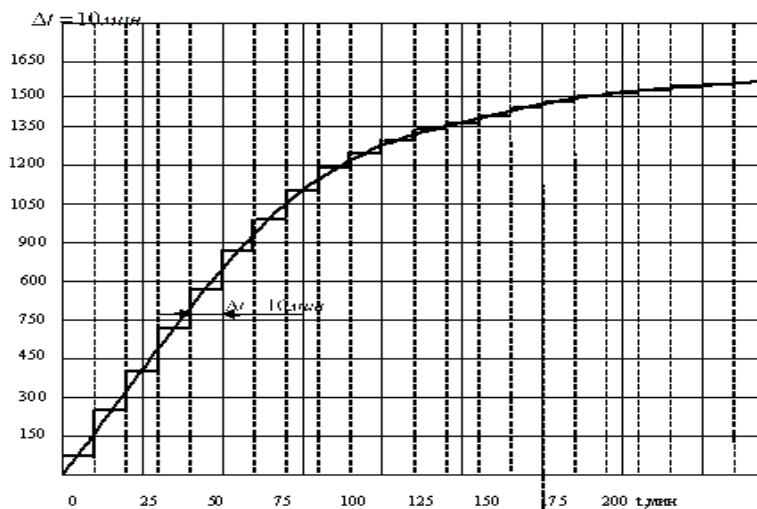


Рис. 3. Кривые изменения средней температуры расплавляемого металла от холодного состояния до состояния расплавления на выходе математической модели для значений загрузки тигля на 100%

Непрерывное автоматическое регулирование температуры расплава улучшает энергетические показатели установки, в частности, снижает удельный расход электроэнергии на проведение технологического процесса.

Литература

1. Ю.И.Блинов и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учеб. пособие для вузов. С-Петербург, 2000. 564 с.
2. Автоматическое управление электротермическими установками. Учеб. для вузов. Под ред. А.Д. Свенчанского. М.: «Э», 1990 г.
3. Сарапулов, В.Э. Фризен, В.И. Лузгин, А.М. Шемякин. Динамическая тепловая модель индукционной тигельной печи // Сборник докладов НПК "Энергосберегающие техника и технологии" Екатеринбург, 2003.
4. Кувалдин А.Б., Федин М.А. Расчет формы поверхности расплава и её влияние на энергетические и электрические характеристики индукционной тигельной печи. Электричество, 2009, №4.
5. А.А.Хашимов, А.Т.Имамназаров, А.А.Пулатов. Математическая модель процесса плавки металла в ИТП на основе линейных графов // Сборник трудов 6-Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Прикладные аспекты энергетики» // Российская Федерация, Благовещенск: АГУ, 2011г. 6 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ У ТРАНСФОРМАТОРОВ
6-10/0,4 КВ**

Э.Г. Усманов, Б.М. Хусанов

Ushbu maqolada 0,4 kV qishloq elektr tarmoqlarida elektr energiyasi sifatini oshirish masalalari muhokama qilinadi. 0,4 kV asosiy tarmoqning kuchlanish qiymatiga qarab, 6-10 / 0,4 kV transformatorning yuqori tomonidagi anzafalarni bosqichma-bosqich almashtirish imkonini beradigan oddiy qurilma taklif etiladi. Bunday qurilmalarni transformatorlarning yuqori tomoniga o'rnatish iste'molchilardagi kuchlanishni mavsumiy emas, balki 0,4 kV magistral tarmoqdagi haqiqiy kuchlanish qiymatiga qarab tartibga solish imkonini beradi, bu esa yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytirishga olib keladi.

В данной статье рассматриваются вопросы улучшения качества электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ. Предлагается простое устройство позволяющая, автоматически в зависимости от величины напряжения магистральной сети 0,4 кВ ступенчато переключать анцапфы на высокой стороне трансформатора 6-10/0,4 кВ. Установка таких устройств на высокой стороне трансформаторов позволяет регулировать напряжение у потребителей не сезонно, а в зависимости от действительного значения напряжения в магистральной сети 0,4 кВ, что приводит к значительным уменьшениям потерь.

This article discusses the issues of improving the quality of electricity in rural 0.4 kV networks. Depending on the voltage value of the 0.4 kV mains, a simple device is proposed that allows the step-by-step replacement of the anzaps at the top of the 6-10 / 0.4 kV transformer. Installation of such devices on the upper side of transformers allows to regulate the voltage at consumers not seasonally, but according to the actual voltage value in the 0.4 kV main network, which leads to a significant reduction in losses.

Потребность в стабилизации, регулировании, улучшении качества переменного напряжения актуальна для всех сетей переменного тока и особенно для "умных" сетей, что требует создания соответствующих стабилизаторов напряжения, рассчитанных на большие мощности. Но известные стабилизаторы напряжения нуждаются в применении громоздких, дорогих реактивных элементов в виде электролитических конденсаторов и ферромагнитных элементов или использование полупроводников приборов с сложной схемой включения.

Проблема улучшения качества электрической энергии остро стоит в разработке устройств, повышающих качества электрической энергии, к которым можно отнести компенсаторы реактивной мощности, активные фильтры, компенсаторы провалов напряжения, несимметрии, фликкера и устройства мягкого пуска асинхронных и синхронных двигателей, особенно высоковольт-

ных. Что актуально из-за больших пусковых токов двигателей, приводящих к глубоким провалам напряжения питающей сети. Распространенные тиристорные устройства плавного пуска двигателей переменного напряжения хотя и уменьшают в 2-3 раза пусковой ток двигателей, но существенно портят его форму и создают дополнительную реактивную составляющую тока, обусловленную фазовым регулированием напряжения посредством угла задержки включения тиристоров. Это обстоятельство снижает входной коэффициент мощности пускового устройства и увеличивает потери активной мощности в двигателях.

Потери электроэнергии, как неизбежные, сопутствующие передаче по проводникам сети активной мощности, необходимой для полезной работы в нагрузках потребителей, так и дополнительные, связанные с передачей по проводникам сети реактивной мощности, являются специфическим для цепей переменного тока объектом периодического, с удвоенной частотой действия источника энергетического обмена между источником и нагрузкой, естественно включаются в величину тарифа электроэнергии. Причём в первом приближении эти потери пропорциональны длине проводников тока между источником и нагрузкой. Отсюда понятно, насколько тяжело приходится именно электропотребителям в сельской местности, поскольку потери энергии в их удалённых от подстанций и широко распределённых по территории сетях оказываются в 2-3 раза выше, чем в городских сетях. В настоящее время сельские потребители снабжаются электроэнергией главным образом по радиальным электрическим сетям от районных трансформаторных подстанций, питаемых от мощных энергосистем. При этом линии высокого, а также низкого напряжения, как правило, оказываются протяжёнными и разветвленными.

Чтобы обеспечить качество напряжения, значение которого для сельских электроустановок не должно отличаться от номинального значения более чем на $\pm 7,5\%$, рекомендуется проводить мероприятия по улучшению напряжения. В качестве основного средства применяют встречное регулирование напряжения на районной распределительной подстанции в сочетании с подбором соответствующих ответвлений на потребительских трансформаторных подстанциях.

Под встречным регулированием напряжения понимают принудительное повышение напряжения в сетях в период наибольших нагрузок и его снижение в период наименьших нагрузок. В тех случаях, когда при помощи встречного регулирования напряжения на районных подстанциях и подбора ответвлений на трансформаторах потребительских подстанций все же не удастся получить допустимые уровни напряжения, используют групповое или местное регулирование напряжения другими способами.

В качестве средств группового регулирования напряжения применяют вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) или устройства продольной емкостной компенсации. В качестве средств местного регулирования используют трансформаторы с изменением коэффициента трансформации под нагрузкой (с РПН). В настоящее время наиболее распространены трансформаторы 10/0,4 кВ с ручным переключением выводов ответвлений при снятой нагрузке и выключенном напряжении (с ПБВ). При этом на обмотке высшего напряжения трансформаторов предусмотрены ответвления, обеспечивающие следующие ступени регулирования: $\pm 2 \times 2,5\%$.

При холостом ходе понижающих трансформаторов номинальной ступени регулирования (0%) соответствует постоянная надбавка напряжения на вторичной стороне, равная +5%. Суммарно на каждой из пяти ступеней регулирования будут соответственно следующие надбавки напряжения: $\pm 4 \times 2,5\%$. Выбор соответствующих ответвлений на трансформаторах осуществляют как в процессе проектирования, так и при эксплуатации сельских электрических сетей. Нужно ответвление, а значит, и соответствующую надбавку выбирают, исходя из уровня напряжения на шинах высшего напряжения подстанции в режиме минимальных и максимальных нагрузок.

При проектировании сельских распределительных сетей, когда действительные графики нагрузки установить трудно, для выбора ответвлений задаются двумя условными расчетными режимами: максимальным - 100% нагрузки и минимальным - 25% нагрузки. Для каждого из режимов находят уровни напряжения на шинах трансформатора и подбирают соответствующую надбавку (ступень регулирования), удовлетворяющую условию допустимых отклонений напряжения (+7,5 ... -7,5%). В процессе эксплуатации трансформаторных подстанций ответвления трансформаторов нужно выбирать с учетом того, что уровень напряжения у потребителей не должен отличаться от номинального значения более чем на $\pm 7,5\%$.

Отклонения напряжения у потребителей от номинального значения определяют по формуле:

$$\Delta U_{\text{п}} = ((U_{\text{п}} - U_{\text{ном}}) / U_{\text{ном}}) \cdot 100\%$$

Ручное управление ответвлений понижающих трансформаторов в основном проводится сезонно, что не всегда соответствует требованиям к качеству электроэнергии предъявляемую со стороны потребителей.

Рассмотрим вопросы автоматического бесконтактного управления переключения ответвлений обмоток трансформатора с ПБВ. На рис.1 показана однофазная однолинейная схема бесконтактного изменения коэффициента трансформатора в функции напряжения вторичной обмотки.

Предлагаемое устройство состоит из трех бесконтактных реле напряжения 1,2,3 трех силовых диодных мостов в диагонали, которых включены силовые тиристоры [1,2,3], при этом бесконтактные реле 2 и 3 дополнительно снабжены оптореле с нормально замкнутыми контактами 4,5.

Работу устройства рассмотрим на примере регулирования напряжения на одной фазе. При напряжении равное 220 В запускается реле 1 и подключает нулевую анцапфу трансформатора, при уменьшении напряжения до 215 В запускается реле 2, включая анцапфу добавляющую напряжение +5% от $U_{\text{н}}$, одновременно подавая сигнал на работу оптореле 4, который размыкает свой нормально замкнутый контакт и обесточивает цепь бесконтактного реле 1. При увеличении напряжения работает бесконтактное реле 3, подавая сигнал на включение анцапфы уменьшающую напряжение на -5% от $U_{\text{н}}$, это реле одновременно подает сигнал на работу оптореле 5, который размыкает свой нормально замкнутый контакт в цепи бесконтактных реле напряжения 1,2.

Таким образом, данное устройство можно использовать вместо устройства ПБВ, что позволяет регулировать напряжение у потребителей не сезонно, а в зависимости от действительного значения напряжения в магистральной сети 0,4 кВ.

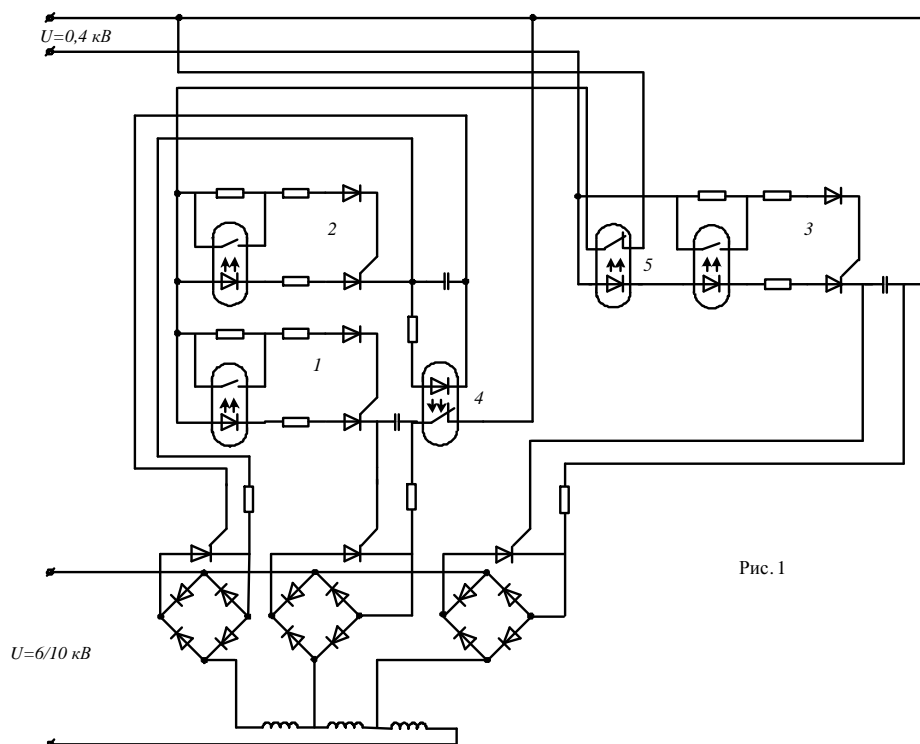


Рис. 1

Литература

1. Usmanov, E.G. Stability in a parallel resonant circuit with active load. E3S Web of Conference [this link is disabled](#), 2020, 216, 01160.
2. Usmanov, E.G., Khusanov, B.M. Phase relations in resonant circuits with a wide falling section on the amplitude characteristic. E3S Web of Conference [this link is disabled](#), 2020, 216, 01161
3. Э.Г.Усманов, Б.М.Хусанов. Исследование устойчивости в параллельном резонансном контуре с индуктивной нагрузкой. “Энергия ва ресурс тежаш муаммолари”. ISSN 2091-5985. 2020, №3-4, - С.305-308.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. - М.: Гарларики, 2002. – 638 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ГАРМОНИК В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ****Л.И. Коверникова**

Ҳозирги вақтда электр энергиясининг сифати билан боғлиқ бўлган кучланишининг несинусоидаллиги муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Электр тармоқларда несинусоидал режимлар тез-тез содир бўлади, бунинг натижасида ток ва кучланишининг гармоник таркиблари пайдо бўлади. Мақолада гармоника режимларининг маълум хусусиятлари келтирилган: электр тармоқларда тўлқинли жараён, конденсатор батареялар мавжуд бўлганда ва улар ёқиб-ўчирилганда бўладиган резонанс режимлар ва гармоникаларнинг актив кувватлари келтирилган.

В настоящее время одной из серьезных проблем, связанных с качеством электрической энергии, является несинусоидальность напряжения. В электрических сетях очень часто возникают несинусоидальные режимы, в результате которых появляются гармонические составляющие токов и напряжений. В статье представлены некоторые особенности режимов гармоник: волновой эффект в протяженных электрических сетях, резонансные режимы при наличии и коммутации конденсаторных батарей, активные мощности гармоник.

Currently, one of the serious problems associated with the quality of electrical energy is the non-sinusoidal voltage. In electrical networks, non-sinusoidal modes very often occur, as a result of which harmonic components of currents and voltages appear. The article presents some features of harmonic modes: ripple effect in extended electrical networks, resonant modes in the presence and switching of capacitor banks, active powers of harmonics.

Введение. Параметры режимов электроэнергетических систем должны обеспечивать экономичность и надежность функционирования, как электрических сетей, так и потребителей, что определяется и качеством электрической энергии [1]. При ее низком качестве увеличиваются потери энергии в электрических сетях, сокращается срок службы электрооборудования, снижается производительность технологического оборудования промышленных предприятий. В настоящее время самой актуальной и наиболее острой проблемой в области качества электрической энергии является несинусоидальность напряжения. Причиной несинусоидальности напряжения является электрооборудование с нелинейными вольтамперными характеристиками. Оно потребляет из электрической сети несинусоидальный ток, который течет по элементам сети и создает несинусоидальные падения напряжения. Напряжения в узлах сети становятся несинусоидальными. При анализе несинусоидальных режимов напряжения и токи представляют спектром гармонических составляющих напряжений и токов с частотами, кратными основной частоте (гармоник) [2, 3].

Параметры режимов гармоник в электрических сетях в значительной степени определяются особенностями сетей. Сети высокого напряжения имеют большую протяженность. К ним присоединено много нелинейных нагрузок большой мощности. Каждая из нагрузок, как правило, является промышленным предприятием с электрической сетью более низкого напряжения. От сети предприятия электрическую энергию получает не только основное технологическое электрооборудование с нелинейными вольтамперными характеристиками, но и вспомогательное электрооборудование меньшей мощности, в том числе, с нелинейными вольтамперными характеристиками. В электрической системе токи гармоник текут из сетей высокого напряжения в сети низкого напряжения и наоборот. Нелинейное электрооборудование имеет различные вольтамперные характеристики, и, следовательно, является источником различных гармоник. Результаты анализа измеренных параметров режима и показателей качества электрической энергии подтвердили, что они определяются множеством факторов: волновым эффектом на частотах гармоник, поверхностным эффектом, резонансными контурами на частотах гармоник в сети, размещением нелинейных нагрузок, структурой и параметрами элементов сети, током нагрузок и характером его изменения, параметрами питающего напряжения и другими. В сетях всех напряжений происходят коммутации элементов сети, изменения ее топологии [4]. В результате большого числа факторов режимы гармоник приобретают вероятностный характер [5–7].

Разработка мероприятий для снижения величин напряжений гармоник в электрических сетях невозможна без знаний особенностей режимов гармоник. Некоторые из них, полученные в результате анализа измеренной информации и расчета с помощью программно-вычислительного комплекса «Гармоники» (ПВК ГАРМОНИКИ) [8] представлены ниже.

Волновой эффект. При распространении гармоник в протяженных сетях, когда длина волны становится соизмеримой с длиной пути, по которому она распространяется, величины гармоник напряжения зависят от волновых свойств сети. Длина волны импульса энергии определяется выражением

$$\lambda_n = CT/n, \quad (1)$$

где λ_n – длина волны n -ой гармоники; C – скорость распространения электромагнитной волны, приблизительно 3×10^8 м/с; T – период одного колебания волны, равный 0.02 секунды; n – номер гармоники.

В таблице 1 представлены длины и частоты электромагнитных волн для 1-ой гармоники (n) и для гармоник ($n > 1$), величины напряжений которых чаще всего превышают нормы, установленные в [3].

Таблица 1.

Длины электромагнитных волн для различных гармоник

n	1	3	5	7	9	11	13	23	25
f_n , Гц	50	150	250	350	450	550	650	1150	1250
λ , км	6000	2000	1200	857.1	666.7	545.5	461.5	260.9	240.0

На рис. 1 приведены кривые коэффициентов гармонических составляющих 3, 5, 7-ой гармоник напряжения. Они характеризуют изменение величин

гармоник напряжения и определяются по выражению $K_{U(n)} = 100U_n / U_1$ % [3]. Из приведенных графиков видно, что чем больше номер гармоники, тем больше максимумов и минимумов имеют кривые. Нормативные значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ равны 1.5%, $K_{U(7)}$ – 1.0% [3]. На приведенных графиках в точках максимумов нормы $K_{U(5)}$ и $K_{U(7)}$ превышены.

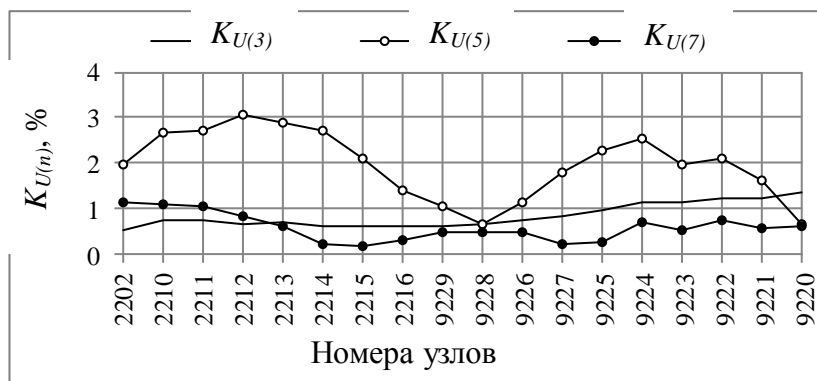


Рис.1. Волновой эффект в сети 220 кВ протяженностью 905 км на 3, 5, 7-ой гармониках

Резонансные режимы. Резонансные режимы на частотах гармоник в электрических сетях были [9] и остаются проблемой [10-12]. Они опасны тем, что если в электрической сети протекает несинусоидальный ток, в котором присутствуют гармонические составляющие, на которых в сети возник резонансный контур, то на этих гармониках возможно резкое увеличение токов и напряжений.

Из теоретических основ электротехники [13] известно, что в электрической цепи возможны два вида резонансов: последовательный (резонанс напряжений) при последовательном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений и параллельный (резонанс токов) при параллельном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Напряжения на емкостном и индуктивном сопротивлениях при резонансе напряжений по величине будут превышать напряжение на входе цепи. При резонансе токов в параллельных ветвях с индуктивным и емкостным сопротивлениями токи по величине могут превосходить ток в неразветвленной части цепи.

В формировании резонансных контуров в электрических сетях участвуют конденсаторные батареи (КБ) [12]. На рис. 2а) приведен фрагмент сети, в которой в узле 1980 установлена КБ мощностью 50 Мвар. В узле 1981 присоединен трансформатор тяговой подстанции. На рис. 2б) представлены графики величин показателя $K_{U(5)}$, построенные по замерам в трех фазах. Включение КБ произошло после 19-ой минуты. Из графиков видно, что именно после включения КБ значения показателей увеличились. Анализ измеренной информации показал, что на 3-ей гармонике значения показателей также возросли. На 7, 9, 11, 13, 17, 19, 23 и 25-ой гармониках значения показателей уменьшились и стали меньше нормативных в [3] более чем в 2 раза.

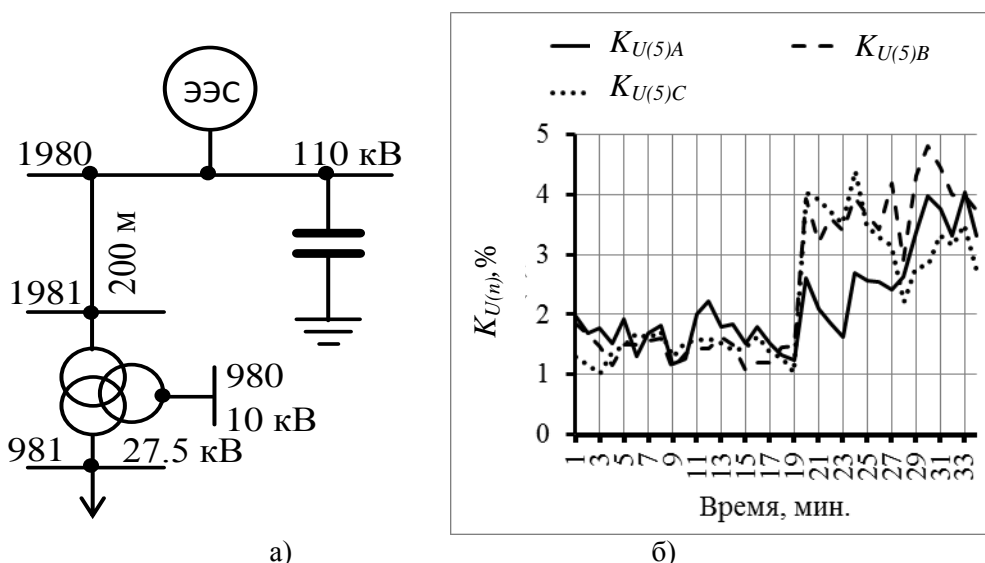


Рис. 2. а) Фрагмент сети 110 кВ с КБ; б) графики $K_{U(5)}$ в фазах А, В, С.

С помощью ПВК гармоник выполнен расчет параметров режима для 3 и 5-ой гармоник в узле 1981 с включенной КБ и без нее. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры режима и сети в узле 1981

Параметр	Гармоника	
	3	5
$g_{nУЗ}$, См	0.0046	0.0092
$g_{nКБ}$, См	0.0	0.0
$g_{nУЗ+КБ}$, См	0.0046	0.0092
$b_{nУЗ}$, См	-0.0116	-0.0125
$b_{nКБ}$, См	0.0076	0.0127
$b_{nУЗ+КБ}$, См	-0.0039	0.0003
$K_{U(n)}$, %	1.14	1.75
$K_{U(n)КБ}$, %	2.36	2.96

В таблице обозначено: $g_{nКБ}$, $g_{nУЗ}$, $g_{nУЗ+КБ}$ – активные проводимости КБ, узла сети, их сумма; $b_{nКБ}$, $b_{nУЗ}$, $b_{nУЗ+КБ}$ – реактивные проводимости КБ, узла сети, их сумма; $K_{U(n)}$ – величина показателя до включения КБ; $K_{U(n)КБ}$ – величина показателя после включения КБ. Из таблицы следует, что реактивная проводимость узла сети до включения КБ ($b_{nУЗ}$) на 3 и 5-ой гармониках имела знак «минус». После включения КБ реактивная проводимость ($b_{nУЗ+КБ}$) 5-ой гармоники изменила знак на «плюс». Смена знака свидетельствует о резонансе напряжений на интервале гармоник от 3 до 5-ой. В результате, значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(5)}$ увеличились и превысили нормы [3].

Активные мощности гармоник. Электрооборудование с нелинейной вольтамперной характеристикой получает активную мощность на основной

частоте ($n=1$). Часть этой мощности электрооборудование потребляет, совершая работу, а часть преобразует в активные мощности на других гармониках ($n>1$). Активные мощности гармоник текут в питающую сеть, где рассеиваются в сопротивлениях электрооборудования сети и нагрузок. Для анализа направлений активных мощностей гармоник по результатам измерений параметров режимов были вычислены активные мощности от 2 до 40-ой гармоники в узле присоединения целлюлозно-бумажного комбината к питающей сети. Измерения проводились в течение 24 часов с интервалом измерения 1 минута.

Активные мощности на n -ой гармонике определяются как

$$P_{nt} = U_{nt} I_{nt} \cos \varphi_{nt}, \quad (2)$$

где t – номер интервала измерения; U_{nt} , I_{nt} – действующие значения напряжения и тока n -ой гармоники; φ_{nt} – фазовый угол между векторами напряжения и тока n -ой гармоники.

Величины углов φ_{nt} позволяют сделать вывод о направлениях потоков активных мощностей гармоник. На рис. 3 приведены диаграммы распределения углов φ_{nt} для 3 и 11-ой гармоник.

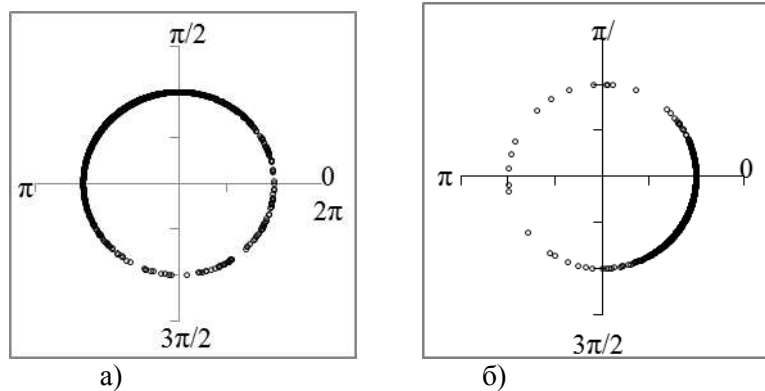


Рис. 3. Распределение углов φ_{nt} : а) 3-ей гармоники; б) 11-ой гармоники

Если углы φ_{nt} лежат в интервале от 0 до $\pi/2$ или от $3\pi/2$ до 2π , то активные мощности гармоник текут из сети в нагрузку узла. Если углы φ_{nt} лежат в интервале от $\pi/2$ до $3\pi/2$, то активные мощности направлены из нагрузки узла в сеть. Из диаграмм видно, что часть времени активные мощности гармоник были направлены из сети в нагрузку комбината, а другую часть времени из нагрузки комбината в сеть.

На рис. 4 приведена диаграмма, показывающая количество времени, которое активные мощности гармоник от 2 до 40-ой протекали через узел присоединения комбината к питающей сети из сети в нагрузку и наоборот. Активные мощности гармоник со знаком “минус” ($P_{n(-)}$) направлены из нагрузки в сеть, а со знаком “плюс” ($P_{n(+)}$) – из сети в нагрузку. Из диаграммы следует, что преобладают направления мощностей гармоник из сети в нагрузку.

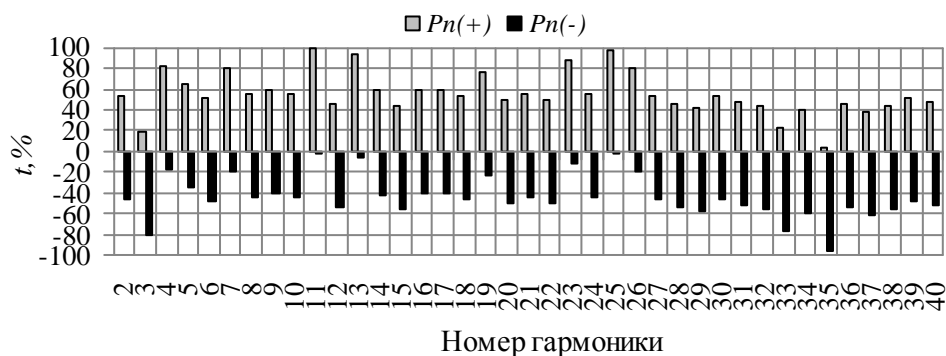


Рис. 4. Диаграмма времен протекания активных мощностей гармоник

Заключение: При эксплуатации электрических сетей с несинусоидальными режимами в них возникают дополнительные потери энергии, поэтому необходимо принимать меры для снижения несинусоидальности напряжений и токов. При разработке технических мероприятий для снижения уровней гармоник напряжений и токов необходимо учитывать особенности режимов гармоник. В настоящее время цифровой трансформации в электроэнергетике и экономике резко увеличивается количество источников гармоник и количество проблем, создаваемых ими.

Литература

1. Маркович И.М. Режимы энергетических систем. М.: Энергия, 1969. 352с.
2. ГОСТ 30804.4.7-2013 (МЭК 61000-4-7: 2009) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
4. Смирнов С.С., Коверникова Л.И. Влияние коммутаций элементов сети на режим высших гармоник // Промышленная энергетика. 2000, №8, с.45–48.
5. Kovernikova L.I. Some results of research into harmonics in the high voltage networks with distributed nonlinear loads. *Przeglad Elektrotechniczny*, 2013, № 11, pp. 239–243.
6. Коверникова Л.И. Активные мощности гармоник в узлах присоединения нелинейных нагрузок к сети высокого напряжения // *Электричество*. 2017, № 3, с.12–20.
7. Kovernikova L.I. Research into harmonic power in the high-voltage networks, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(14), с. 696–701. Режим доступа: <http://www.icrepq.com/icrepq'16/432-16-kovernikova.pdf>.
8. Коверникова Л.И. Комплекс программ «Гармоники» для анализа и нормализации режимов гармоник в сетях высокого напряжения // В сборнике:

Управление качеством электрической энергии. Сборник трудов Международной научно-практической конференции, 2016. С.155–163.

9. РД 153-34.0-15.501-00."Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии". Москва. 2002 г.

10. T.Vinnal, T.Sakkos, K.Janson, M.Jarkovoi, "Resonances in LV industrial networks when using shunt capacitors for power factor correction", Proceedings of 23-th International Conference on Electricity Distribution – CIRED 2015, Lyon, 1–18 June 2015.

11. Eggenschwiler L., Galland O., D. Chollet, F. Decorvet, D. Roggo, P. Favre-Perrod, "Frequency Scans and resonance mode analysis for resonance problems identification in power networks in presence of harmonic pollution", Proceedings of 24-th International Conference on Electricity Distribution – CIRED 2017, Glasgow, 12–15 June 2017.

12. Единая техническая политика в электросетевом комплексе ПАО «Россети». Проект-2019. Москва.

13. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. –7-е издание., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1978. 528 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311.721

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
РЕЖИМАМИ И КАЧЕСТВОМ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Э.Х. Абдураимов

Мақолада юқори ишончилиги ва тезлиги билан ажралиб турувчи, сезгир тизими ва кучли қувватни бошқарувчи ижро органини бирлаштирган контактсиз тиристорли кучланиш релеси ёрдамида электр таъминоти иш режимларини ва сифатини автоматик бошқариш учун универсал контактсиз коммутация мосламасини яратиш ва тадқиқи масалалари муҳокома қилинади. Қурилманинг схемаси ишлаш принципи ва экспериментал тавсифи билан келтирилган. Қурилмадан электр энергияси истемолчиларида номинал кучланишини ушлаб туриш учун кириш кучланиши ўзгарганда вольт қўшувчи трансформатор чулгамини автоматик равишда қўйиши ёки ажратиши, шунингдек, реактив қувватни компенсация қилувчи конденсатор батареяларини ёқиши ёки ўчиришида реактив қувват энергиясини автоматик ростловчи қурилма сифатида фойдаланиш таклиф этилади.

В статье рассматриваются вопросы исследования и создания универсального бесконтактного переключающего устройства для автоматического управления режимами работы и качеством электроснабжения, с применением разработанных бесконтактных тиристорных реле напряжения, отличающийся высокой надёжностью и быстродействием, совмещающих в себе чувствительную систему и мощный исполнительный орган. Приводятся схема с описаниями принципа работы и экспериментальные характеристики. Предлагаются применить для автоматического включения или отключения обмотки вольтдобавочного трансформатора при изменениях входного напряжения для поддержания номинального напряжения у потребителей электроэнергии, а также для автоматического переключающего устройства для создания регулятора мощности конденсаторных батарей, компенсирующих устройств реактивной энергии.

The article discusses the issues of research and creation of a universal contactless switching device for automatic control of operating modes and the quality of power supply, using the developed contactless thyristor voltage relays, characterized by high reliability and speed, combining a sensitive system and a powerful executive body. A diagram with descriptions of the principle of operation and experimental characteristics are given. It is proposed to use it for automatic switching on or off of the booster transformer winding when the input voltage changes to maintain the rated voltage for electricity consumers, as well as for an automatic switching device to create a power regulator for capacitor banks, compensating reactive energy devices.

Электроэнергия как особый вид продукции, обладает различными показателями качества, по которым судят о ее пригодности в производственных

условиях. Одним из важных показателей качества является стабильность действующего значения напряжения. Используя специальные технические средства регулирования, трансформаторов с регулированием под нагрузкой или вольтодобавочных трансформаторов, можно добиться улучшения качества напряжения у потребителей. При этом возникает необходимость изменения числа витков первичных обмоток трансформаторов. Нами для этой цели рекомендуется использовать силовые бесконтактные устройства, которые управляются с помощью бесконтактных реле напряжения. Схемы бесконтактных реле позволяют осуществить коммутацию силового тиристора при улучшенных пусковых режимах, а именно при прохождении синусоидального тока через нуль.

Достижения силовой полупроводниковой электроники в настоящее время позволили освоить новый класс электротехнических аппаратов - бесконтактную коммутационную полупроводниковую аппаратуру БКПА.

Для систем электроснабжения (СЭС) промышленных объектов особо важное значение имеет создание высоковольтной БКПА переменного напряжения 6-10 кВ, т.к. на этой ступени напряжения включены многочисленные ответственные потребители и, прежде всего, мощная двигательная нагрузка. Указанная аппаратура в сочетании с аппаратурой традиционного электро-механического исполнения позволяет решить многочисленные проблемы электроснабжения промышленных объектов, поднять технический уровень современных систем электроснабжения на качественно новую ступень. Безтоковая коммутация, синхронное управление, высокое быстродействие и практически неограниченный ресурс открывают принципиально новые возможности в технике электроснабжения.

При этом высоковольтная БКПА позволяет решить проблему быстродействующего токоограничения, создать, в частности безреакторные сети 6-10 кВ с мощностью короткого замыкания до 1500 МВА; ограничить ударные аварийные токи, уменьшить термические и динамические воздействия на элементы СЭС; упростить подключение электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой; обеспечить самозапуск крупных электрических машин и перевод синхронных двигателей без гашения их поля на резервный источник; управлять реактивными элементами сети - реакторами, конденсаторными батареями; создать кольцевые сети напряжением 0,4; 6; 10 кВ и рационально использовать трансформаторную мощность; повысить качество электроэнергии в распределительных сетях; сократить капитальные затраты на сооружение СЭС.

Проблема создания надежных и экономичных регулирующих и коммутирующих устройств и аппаратов как элементов электрооборудования для цепей переменного тока имеет весьма важное значение для обеспечения бесперебойности, четкости и быстродействия работы энергетических устройств.

В широко применяемых для данных целей контактных устройствах и аппаратах имеются следующие недостатки:

- дугообразование на контактах в момент коммутации и необходимость соответствующих объемов для дугогашения;
- малая электрическая и механическая износостойкость контактов, особенно при загрязненном воздухе и повышенной влажности;

- большая инерционность системы при включении и выключении;
- вибрация и подгорание контактов от пусковых токов;
- ограниченная частота включений из-за ионизации воздуха в районе разрыва контактов и их нагрева;
- ограниченный срок службы и относительно низкая надежность;
- недостаточная вибро - и ударостойкость;
- трудность выполнения при повышенных напряжениях, токах и частоте сети;
- значительные мощности, потребляемые цепями управления;
- наличие эксплуатационных расходов по обслуживанию;
- перенапряжения в момент включения;
- неодновременность включения по всем фазам;
- определенное положение аппарата, определяемое его конструкцией;
- невозможность сверхбыстрого отключения при попадании человека под напряжение;
- наличие шума.

Указанные недостатки являются сдерживающими факторами в повышении производительности объектов, укомплектованных контактным коммутационным и регулирующим электрооборудованием.

В настоящее время промышленностью выпускаются тиристоры многих типов. Они используются и в электронике, и в силовой электротехнике. Благодаря их замечательным характеристикам область применения тиристоров весьма обширна. Тиристоры присущи все преимущества полупроводниковых приборов.

В бесконтактном полупроводниковом электрооборудовании на тиристорах исключены отмеченные недостатки контактного электрооборудования и имеется ряд существенных преимуществ:

- быстроедействие системы и хорошая управляемость;
- практическая безинерционность;
- возможность ограничения динамической перегрузки исполнительных механизмов в момент включения (безударный пуск);
- большая избирательность в защитах;
- повышенные срок службы и надежность;
- технологичность конструкции, отсутствие требований точной сборки;
- практически неограниченная частота включений;
- возможность использования при частотах до 1000 Гц;
- возможность ограничения тока короткого замыкания при применении принудительной коммутации;
- возможность снижения перенапряжений в момент коммутации нагрузки;
- возможность использования однотипных устройств в сетях различного напряжения путем замены тиристоров на тиристоры другого класса [1,2,3,4].

Рассмотрим схему бесконтактного переключающего устройства на базе трансформаторного бесконтактного реле напряжения. Выполнение бесконтактного тиристорного устройства для включения и отключения обмотки вольтодобавочного трансформатора по указанной схеме обеспечивает лучшие весогабаритные показатели и высокую надежность (рис.1).

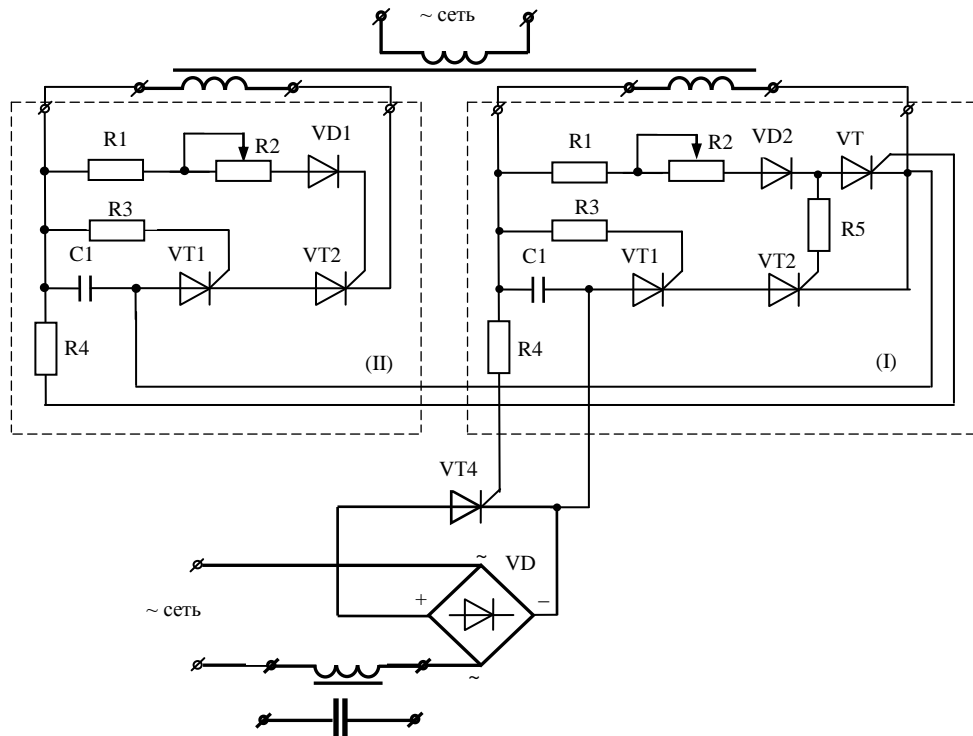


Рис. 1. Схема автоматического бесконтактного переключающего устройства

Включение обмотки вольтодобавочного трансформатора в сеть осуществляется посредством диодного моста VD , в диагональ диодного моста включен управляемый силовой тиристор $VT4$. К управляющему электроду силового тиристора сигналы управления подаются через резистор $R4$ с обкладок конденсатора $C1$ (I-реле), который в свою очередь подключается к вторичной обмотке маломощного трансформатора через два маломощных управляемых тиристора $VT1, VT2$.

Сигнал управления для тиристора $VT1$ подается из вторичной обмотки маломощного трансформатора через последовательно соединенный $R3$. Сигнал управления для тиристора $VT2$ подается из вторичной обмотки маломощного трансформатора через последовательно соединенный $R1, R2$ и диод $VD2$, а также через резистор $R5$, так как тиристор $VT3$ закрыт. Отключение обмотки вольтодобавочного трансформатора от сети осуществляется за счет действия второго реле напряжения (II), содержащий ограничительный резистор $R4$ через которого подается сигнал к управляющему электроду тиристора $VT3$. Открытие тиристора $VT3$ приведет к отключению сигнала управления тиристора $VT2$ (I-реле), тем самым закрывается $VT2$ и это приведет к отключению управляющего сигнала силового тиристора $VT4$. Остальная часть схемы реле (II) выполняется аналогично, как и для реле (I). Переменные резисторы $R2$ в обоих реле служат для регулирования уставки срабатывания реле.

На рис.2. приведена характеристика “вход-выход” бесконтактного автоматического переключающего устройства.

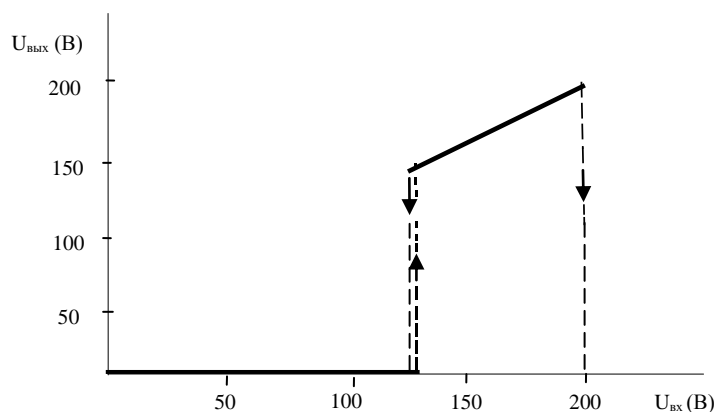


Рис.2. Характеристика «вход-выход»

Ранее описанное переключающее устройство можно использовать для включения и отключения конденсаторной батареи то есть при создании автоматического регулятора мощности конденсаторных батарей.

Для искусственной компенсации реактивной мощности, называемой иногда «поперечной» компенсацией, применяются специальные компенсирующие устройства, являющиеся источниками реактивной энергии ёмкостного характера.

Основным нормативным показателем, характеризующим потребляемую промышленным предприятием реактивную мощность, был средневзвешенный коэффициент мощности.

Средневзвешенный коэффициент мощности за время t

$$\cos \varphi = \frac{W_{at}}{\sqrt{W_{at}^2 + W_{pt}^2}}$$

где W_{at} и W_{pt} - соответственно расход активной и реактивной электроэнергии за рассматриваемый промежуток времени.

Требования электроснабжающей организации были таковы, что на вводах предприятия значение $\cos \varphi_{ср.взв}$ должно было, находится в пределах 0,92-0,95.

Однако по компенсации реактивной мощности предприятия не были заинтересованы в отключении установленных КУ в часы минимальных нагрузок. В связи с этим в питающей энергосистеме часто наблюдалась перекомпенсация реактивной мощности. Перекомпенсация - это избыточная реактивная мощность, вырабатываемая компенсирующей установкой в периоды понижения нагрузок (ночью, в обеденные перерывы, в нерабочие и праздничные дни и т.п.) и передаваемая в сеть энергосистемы. Результатом перекомпенсации являлось увеличение суммарных потерь мощности и энергии в электрических сетях и усложнение, и удорожание устройств регулирования напряжения.

Выполнение бесконтактного тиристорного устройства для включения и отключения конденсаторных батарей по указанной схеме показанной на рис.1 обеспечивает лучшие весогабаритные показатели и высокую надежность.

Экспериментальные испытания показали что данное бесконтактное тиристорное устройство можно использовать и для включения и отключения конденсаторных батарей.

Таким образом, нами предлагаются бесконтактные тиристорные устройства для автоматического управления режимами работы и качеством электроэнергии в СЭС в частности, бесконтактные переключатели ответвлений силовых и вольтодобавочных трансформаторов, а также бесконтактная коммутация и регулирование параметров реактивных элементов в СЭС (емкости, реакторы), источники реактивной мощности.

Литература

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий // - М.: «Энергоатомиздат», 1995, 416 с.
2. Поскробко А.А., Братолобов В.Б. Бесконтактные коммутирующие и регулирующие полупроводниковые устройства на переменном токе // Москва. Энергия, 1978, 192 с.
3. Кадиров Т.М., Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х. Бесконтактное тиристорное устройство для включения и отключения обмотки вольтодобавочного трансформатора. Патент № IAP 03975. УзР. давлат патент идораси, - Тошкент, 2009, - № 7 – С.41-42.
4. Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х. Силовые бесконтактные коммутирующие устройства. Международная конференция «INNOVATION–2017», Сборник научных статей. - Т.: 2017, -Стр.219-220.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.313.322

АНАЛИЗ РАССЕЙНИЯ ИНДУКТИВНОСТЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Г.Н. Мустафакулова, М.Х. Таниев, Э.П. Аскарлов

Мақолада ўзгарувчан ток машинасининг статор чулгами ҳосил қилган, иккиламчи контурдаги юқори фаза гармоника майдонларида статор ва ротор ўзақлари оралигида ҳаво бўшлиғи бир текис эмаслиги ва демпфер тоқлар таъсиридан ташиқари, индуктивликка таъсир қиладиган барча факторларни ҳисобга оладиган асосий ва дифференциал сочма индуктивликни ҳисоблаш усули келтирилган. Таклиф қилинаётган ҳисоблаш усули ўзгарувчан ток электр машинаси ҳаво бўшлиғи магнит майдони модели асосида яратилган.

В статье приведены методика расчета главной и дифференциального рассеяния индуктивностей, которая позволяет учесть все факторы, влияющие на индуктивности, кроме влияния неравномерности воздушного зазора между сердечниками статора и ротора и демпфирующего влияния токов, наведенных во вторичных контурах полями высших пространственных гармонических, создаваемых обмоткой статора машины переменного тока. Предлагаемая методика расчета основывается на модели поля воздушного зазора электрической машины переменного тока.

In article are brought methods of the calculation main and differential dissipation of the inductances, which allows to take into account all factors, influencing upon inductances, except influences of unevenness of the air clearance between steel still part and rotor and демпфирующего influences current, directed in secondary sidebar by fields high spatial harmonic, created by winding статора machines of alternating current. The Proposed methods of the calculation is founded on models of the field of the air clearance of the electric machine of alternating current.

Главная и дифференциального рассеяния индуктивности обмотки статора являются основными параметрами, обусловленными полем основного воздушного зазора современных электрических машин переменного тока. Они являются сложными функциями радиальной величины воздушного зазора между сердечниками статора и ротора, числа пазов на полюс и фазу, шага, числа фаз и зон обмотки, ширины шлица паза, зубцового шага, магнитного состояния стальных участков магнитопроводов статора и ротора и демпфирующего влияния токов во вторичных контурах машины [1].

Приводим методику расчета главной и дифференциального рассеяния индуктивностей, которая позволяет учесть все вышеприведенные факторы, влияющие на эти индуктивности, кроме влияния неравномерности воздушного зазора между сердечниками статора и ротора и демпфирующего влияния токов, наведенных во вторичных контурах полями высших пространственных гармонических, создаваемых обмоткой статора машины переменного тока.

Предлагаемая методика расчета основывается на модели поля воздушного зазора электрической машины переменного тока. В модели принимается, что полный ток паза статора сосредоточен в тонком слое, расположенным по дуге окружности гладкой поверхности расточки статора и шириной равной ширине шлица паза, которой соответствует внутренний пространственный угол 2α . Радиальная величина воздушного зазора δ между ферромагнитными сердечниками статора и ротора машины принимается равномерной.

Как известно, индуктивность дифференциального рассеяния представляет собой разность между индуктивностью обмотки, обусловленной действительным полем в воздушном зазоре и его основной волной. Основная волна поля определяет главную индуктивность обмотки. Индуктивности могут быть определены для случая питания отдельно каждой фазы многофазной обмотки, для случая многофазного питания, а также для токов нулевой последовательности. Рассматривается вопрос расчетного определения главной и дифференциального рассеяния индуктивностей для однофазной обмотки и для токов прямой последовательности трехфазных обмоток. Обычно при расчете реактивностей, обусловленных магнитным полем основного воздушного зазора машин переменного тока применяются энергетический и гармонического анализа методы. Применим первый из этих методов, основанный на энергетическом методе определения индуктивностей. При применении метода для одной фазы многофазных обмоток статора могут быть использованы выражения (двухслойные обмотки с целым q), (однослойные обмотки с целым q), (двухслойные обмотки с дробным q при основании дробности равном двум) и выражения подобные (при любых дробностях величины q) [2].

Выражение для напряженности магнитного поля в воздушном зазоре машины, создаваемой трехфазной обмоткой статора составляется для одного из мгновенных значений ее тока. В частности для момента времени, когда ток в одной из фаз трехфазной двухслойной обмотки равен нулю, а в двух других фазах токи равны по величине и противоположны по знаку, выражение напряженности поля имеет вид

$$H_m = \sqrt{3} w_1 a_1 \sum_{n=1}^{\infty} K_n K_{o\sigma n} K_{pqn} \left\{ \sin n \left[\varphi - \frac{(2p-1)\pi}{p} \frac{\pi}{2} \right] - \sin n \left[\varphi - \frac{(2p-1)\pi}{p} \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3p} \right] \right\} \quad (1)$$

где a_1 - число параллельных ветвей обмотки статора; w_1 - число эффективных витков одной фазы обмотки: $w_1 = \frac{2pqw_k}{a_1}$.

После некоторых преобразований из (1) получим

$$H_m = 2\sqrt{3} w_1 a_1 \sum_{n=1}^{\infty} K_n K_{o\sigma n} K_{pqn} \cos n \left[\varphi - \frac{(6p+5)\pi}{6p} \right] \sin n \frac{\pi}{3p} \quad (2)$$

Индуктивность дифференциального рассеяния

$$L_c = L - L_g \quad (3)$$

где L - индуктивность обмотки, обусловленная действительным полем в зазоре, L_g - главная индуктивность.

Как известно индуктивность обмотки связана электромагнитной энергией действительного поля выражением

$$L = \frac{2}{i^2} W \quad (4)$$

где W - электромагнитная энергия действительного поля в зазоре машины.

Подобно (4) главная индуктивность обмотки

$$L_2 = \frac{2}{i^2} W_2 \quad (5)$$

где W_2 - электромагнитная энергия основного рабочего поля в зазоре машины.

Учитывая (4) и (5) из (3) получим выражение индуктивности дифференциального рассеяния однофазной обмотки:

$$L_{\sigma o} = L_o - L_{2o} = \frac{2}{i^2} (W_o - W_{2o}) \quad (6)$$

где W_o - электромагнитная энергия действительного поля однофазной обмотки в зазоре машины, W_{2o} - электромагнитная энергия основного рабочего поля однофазной обмотки.

Аналогично (6) индуктивность дифференциального рассеяния одной фазы трехфазной обмотки при питании ее трехфазным током

$$L_{\sigma m} = L_m - L_{2m} = \frac{4}{3i^2} (W_m - W_{2m}), \quad (7)$$

где W_m - электромагнитная энергия действительного поля трехфазной обмотки; W_{2m} - электромагнитная энергия основного рабочего поля трехфазной обмотки.

В (6) и (7) обозначения «о» и «т» в индексах соответствуют однофазной и трехфазной обмоткам. С другой стороны электромагнитная энергия поля в воздушном зазоре.

$$W = \sum_v \mu_0 \frac{H^2}{2} dV, \quad (8)$$

где H - действующее значение напряженности магнитного поля, V - объем воздушного пространства между сердечниками статора и ротора машины.

$$V = \int_0^{2\pi} l_\delta \delta \frac{b+c}{2} d\varphi, \quad (9)$$

где l_δ - расчетная длина воздушного зазора.

Применительно к однофазной и трехфазной обмоткам выражение (8) с учетом (9) можно писать

$$W_o = \frac{\mu_0 l_\delta \delta (b+c)}{4} \int_0^{2\pi} H_o^2 d\varphi, \quad (10)$$

$$W_{2o} = \frac{\mu_0 l_\delta \delta (b+c)}{4} \int_0^{2\pi} H_{op}^2 d\varphi, \quad (11)$$

$$W_m = \frac{\mu_0 l_\delta \delta (b+c)}{4} \int_0^{2\pi} H_m^2 d\varphi, \quad (12)$$

$$W_{2m} = \frac{\mu_0 l_\delta \delta (b+c)}{4} \int_0^{2\pi} H_{mp}^2 d\varphi, \quad (13)$$

где H_{op} , H_{mp} - основные гармонические напряженностей магнитных полей однофазной и трехфазной обмоток.

Значения H_{op} и H_{mp} получаются путем подстановки $n=p$ в (1) и (2), соответственно, т.е.

$$H_{op} = 2w_1 a_1 K_p \sin p \left[\varphi - \frac{(2p-1)\pi}{2} \right], \quad (14)$$

$$H_{mp} = 3w_1 a_1 K_p \cos p \left[\varphi - \frac{(6p+5)\pi}{6p} \right], \quad (15)$$

$$K_p = \left[C_{\delta n} \rho^{(p-1)} - D_{\delta n} \rho^{-(p+1)} \right] \frac{\sin p \alpha}{\alpha} \sin p \frac{\beta}{2} \frac{\sin pq \frac{\alpha_z}{2}}{q \sin p \frac{\alpha_z}{2}} \cos p \pi.$$

Подставив (14) и (15), соответственно, в (11) и (13) и произведя интегрирование получим

$$W_{co} = \pi \mu_0 w_1^2 l_\delta \delta(b+c) K_p^2, \quad W_{cm} = \frac{9\pi}{4} \mu_0 w_1^2 l_\delta \delta(b+c) K_p^2.$$

Интегрирование в (10) и (12) при большом числе гармоник в составе H_o и H_m трудно, а в ряде случаев практически невозможно [3]. Поэтому величины H_o и H_m можно заменить эквивалентными величинами H_{os} и H_{ms} , которые находятся графически, путем разделения соответствующей кривой поля на s равноотстоящих друг от друга ординат h_1, h_2, h_3 и т.д. по выражениям

$$H_{os} = \sqrt{\frac{1}{s} (h_{o1}^2 + h_{o2}^2 + h_{o3}^2 + \dots + h_{os}^2)}, \quad (16)$$

$$H_{ms} = \sqrt{\frac{1}{s} (h_{m1}^2 + h_{m2}^2 + h_{m3}^2 + \dots + h_{ms}^2)}. \quad (17)$$

Подставив H_{os} и H_{ms} вместо H_o и H_m , соответственно, (10) и (12) и производя интегрирование имеем

$$W_o = \frac{\pi}{2} \mu_0 l_\delta \delta(b+c) H_{os}^2, \quad W_m = \frac{\pi}{2} \mu_0 l_\delta \delta(b+c) H_{ms}^2.$$

Отметим что при разделении кривой поля, для нахождения H_{os} и H_{ms} по (16) и (17), на равноотстоящие друг от друга ординаты, для обмоток якорей с целым q , достаточно ограничиться одним полюсным делением, а для обмоток с дробным q нужно использовать кривую поля в пределах повторяющейся по своей структуре части обмотки статора. При четном основании дробности повторяющаяся часть обмотки занимает число полюсных делений равное основанию дробности, а при нечетном – два раза больше основания дробности.

Как отмечалось ранее, вышеприведенные выражения для расчета главной и дифференциального рассеяния индуктивностей справедливы для двухслойных обмоток с целым q .

Расчеты главной и дифференциального рассеяния индуктивностей проводится на ЭВМ для четырех полюсной машины переменного тока с двухслойной обмоткой якоря при $a=0$; $b=0,1241$ м; $\rho=c=0,125$; $d=0,184$ м;

$\alpha=0,028$ рад; $\alpha_z =0,1496$ рад; $\beta=1,3464$ рад; $q=3\frac{1}{2}$; $W_1 =56$. Эти величины

в основном соответствуют трехфазному явнополюсному синхронному генератору типа МСА 72/4, 15 кВА (12кВт), 230 В, схема соединения обмотки статора «звезда», 1500 об/мин. Индуктивность дифференциального рассеяния одной фазы при трехфазном питании в диапазоне изменения относительной величины магнитной проницаемости стальных частей магнитопроводов статора и ротора от 200 до 4000 практически остается без изменения и уменьшается лишь при тех значениях μ которые соответствуют глубокому насыщению магнитопровода. В то же время главные индуктивности обмоток, как при однофазном, так и при трехфазном питании в зависимости от величины μ изменяются в довольно широких пределах. Индуктивность дифференциального рассеяния при однофазном питании изменяется в более широком диапазоне, чем при трехфазном питании.

Литература

1. Г.Одилов Эквивалентные магнитные проницаемости статора и ротора машины переменного тока // Межвуз. сб. науч. тр. «Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук», ТашГТУ. -Т.: - 2001. Вып. 1.- С. 75-79.
2. Абрамов Б.И. Частотно – регулируемый электропривод буровой установки БУ– 4200/250 // Электротехника, 2009. – №1. – С. 8–13.
3. Боченков Б.М. Управление электроприводом переменного тока при наилучшем сочетании энергетических свойств и эффективности использования напряжения // Электротехника. 2009. – №7. – С. 8–14.
4. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с. - ISBN 978-5-7695- 5739-2
5. Полищук В.И., Новожилов А.Н., Горюнов В.Н., Новожилов Т.А. Способ защиты обмотки ротора синхронного генератора от витковых замыканий на двух индукционных преобразователях // Электричество. 2010. №8, – С. 64-67.
6. Wang Xiao-hua, Li Yong-gang, Wu Yu-cai, Fan Ling. Method of Fault Diagnosis on Inter Turn Short-circuit In Turbine Generator Windings Based on Shaft Voltage // IWISA. – Qing+dao, China, 2009. – P. 295–298.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.317.39

**ТОРТУВЧИ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА ЗАМОНАВИЙ ТОК
ЎЗГАРТИРГИЧЛАРНИНГ ҚИЁСИЙ ТАҲЛИЛИ ВА РИВОЖЛАНИШ
КЕЛАЖАГИ****А.М. Сафаров, Д.Ш. Рустамов**

Ушбу мақолада тортувчи электр таъминоти тизимида кенг қўлланилаётган, ишлаш принциплари турли физикавий эффектларга асосланган ток ўзгартиргичларининг қиёсий таҳлили амалга оширилди. Ток ўзгартиргичларининг саноатда кенг тарқалган кучланиш қийматларига қараб қўлланилишига алоҳида аҳамият берилган. Мавжуд ток ўзгартиргичларнинг афзаллиги ва камчиликлари баён қилинди. Калит сўзлар: ток кучи ва кучланиш қийматлари, контактли ва контактсиз ток ўзгартиргичлар, қаришиқда кучланиш тушуви эффектига асосланган резистив ток ўзгартиргичлар, Холл эффектига асосланган гальваномагнит ток ўзгартиргичлар, магнитмодуляция эффектига асосланган ток ўзгартиргичлар, Фарадей эффектига асосланган оптик толали ток ўзгартиргичлар, Электромагнит индукция эффектига асосланган ток трансформаторлари.

В данной работе проведен сравнительный анализ различных типов преобразователей тока, получивших наиболее широкое применение в системе тягового электроснабжения. Рассмотрено применение преобразователей тока на все классы напряжения. Описаны достоинства и недостатки современных преобразователей тока. Ключевые слова: сила тока, классы напряжения, гальваномагнитные преобразователи тока, основанные на эффекте Холла, преобразователи тока, основанные на магнитомодуляционном эффекте, оптоволоконные преобразователи тока, основанные на эффекте Фарадея, трансформаторы тока, основанные на эффекте электромагнитной индукции, резистивные преобразователи тока, основанные на эффекте падения напряжения на сопротивлении.

In this work, a comparative analysis of various types of current converters, which have received the most widespread use in the traction power supply system, is carried out. The application of current converters for all voltage classes is considered. The advantages and disadvantages of modern current converters are described. Keywords: current strength, voltage classes, galvanomagnetic current converters based on the Hall effect, current converters based on the magnetomodulation effect, fiber-optic current converters based on the Faraday effect, current transformers based on the effect of electromagnetic induction, resistive current converters based on the effect of voltage drop across the resistance.

Электр энергетика ривожланишининг такомиллашган электр жиҳозлар ва янги-янги автоматлаштирилган тизимлар кенг қўлланилаётган замонавий босқичида электр таъминоти тизимларининг, жумладан электрлашган темир йўлнинг тортувчи электр таъминоти электр қурилмаларининг юқори ишончли-

лигини ва ҳавфсизлигини таъминлаш учун ток кучини юқори аниқликда ўлчаш, назорат қилиш, ростлаш ва бошқариш ниҳоятда долзарб муаммолардан ҳисобланади. Электр занжирлар мониторингини ва ташҳислашини амалга оширишда, ҳимоя схемаларини ишга туширишда, электр қурилмаларнинг ишдан чиқиши сабабларини ва турли типдаги юкларнинг ҳалокатли ҳолатларини аниқлашда маълум физик эффектларга асосланган ҳар хил ток ўзгартиргичлар қўлланилади. Электр занжирлардан ўтувчи бу тоқлар бир ва уч фазали ўзгарувчан, ўзгармас (пулсацияланувчи) тоқлар бўлиб, улар жуда кенг (тахминан 10мкА-100кА) диапазондаги қийматларга эга.

Мазкур ишда нисбатан катта (50А ва ундан юқори бўлган) тоқларни ўлчашда қўлланилувчи воситалар - ток ўзгартиргичларнинг мавжуд турлари ва уларнинг ишлаш асослари, техник тавсифлари таҳлил қилинди ва қиёслаб кўрилди.

Ҳозирги вақтда катта ток ўзгартиргич (КТЎ)ларнинг жуда кўплаб сони маълум ва бу эса уларнинг зарур тури, аниқ бир конструкциясини танлашда муайян қийинчиликларни келтириб чиқаради. Бу эса ўз навбатида, КТЎларни синфлаш заруратини тоқозо этади, ҳамда уларнинг принципиал ва маълум даражада конструктив ўзига хос хусусиятларини очиб беради. Бу соҳада амалга оширилган илмий-тадқиқот ишларнинг сезиларли сони [6,7,8,9,10,11,14,15,16,17] маълум. Бу ишларнинг айримлари катта ўзгарувчан ток ўзгартиргичларини синфланишига бағишланган [6,12,13,16], бошқалари эса катта ўзгармас ток ўзгартиргичларининг синфланишига бағишланган [9,10,13,15]. Ҳозирги вақтда катта ўзгарувчан ва ўзгармас ток ўзгартиргичларининг умумлаштирилган синфланиши мавжуд эмас.

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида КТЎларнинг 1-расмда келтирилган умумлаштирилган синфланиши жадвал кўринишида ишлаб чиқилди. Бу синфланишга мувофиқ, ҳозирги вақтда мавжуд бўлган КТЎлар бирламчи ўзгартиргич (турли сезгир элемент)лар ўлчанадиган занжирга киритилиши усули ҳамда бунда юзага келувчи турли электр ва магнит табиатдаги физикавий эффектлар бўйича иккита катта синфларга бўлинади:

- 1) Ўлчанадиган занжирга киритилган маълум қаршилиқларга эга бўлган резистив, индуктив ва сиғимли элементларда кучланишнинг пасайиши эффекти ва уни аниқлашга асосланган КТЎлар, яъни контактли КТЎлар [11,12];
- 2) Ўзгартириладиган ток ва у ҳосил қиладиган магнит майдон орасида юзага келувчи электр ҳамда магнит табиатдаги физикавий эффектлардан фойдаланишга асосланган КТЎлар, яъни контактсиз КТЎлар [108].

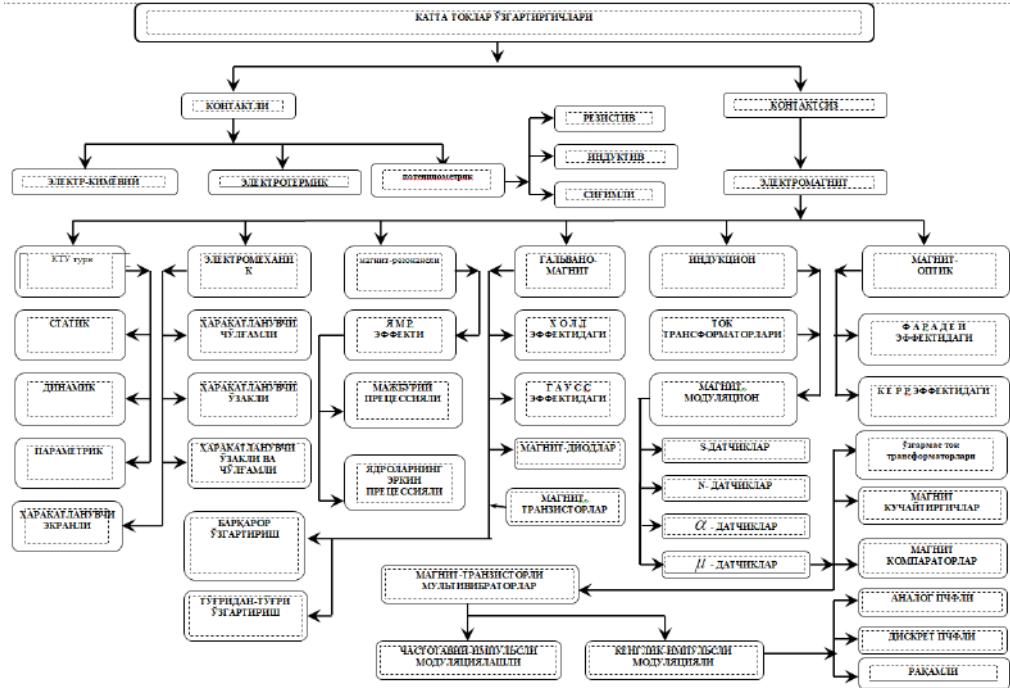
Принципиал жиҳатдан КТларни ўлчаш учун электр-термик ва электр-кимёвий эффектлардан фойдаланиш мумкин, аммо уларни амалга оширишнинг мураккаблиги ва паст метрологик характеристикалари туфайли улар амалда қўлланилмайди [12].

Ишлатиладиган магнит-сезгир элементларнинг турлари бўйича контактсиз КТЎлар электрометрик, электромеханик, индукцион, гальваномагнетик, магнит-резонансли ва магнит-оптик КТЎларга бўлинади [5,9,13]. Ўзгартириш тури бўйича улар тўғридан-тўғри ўзгартириладиган ва барқарор (мувозанатлаштириладиган) КТЎларга бўлинади.

Мавжуд КТЎлар турларининг асосий характеристикаларини қиёсий таҳлил қилиш шуни кўрсатдики (1.1-жадвал), контактли ўзгартиргичлар, ташқи

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

магнит майдонлари ва ферромагнит массаларга кўрсаткичларнинг ўзгармаслигига, ёрдамчи таъминот манбаларига эҳтиёж йўқлигига қарамай, нисбатан катта вазн ва истеъмол қуввати, паст ишончилиikka эга, уларни амалда назорат қилиш ва бошқариш тизимларида, юқори кучланишли занжирларда ишлатилиши мумкин эмас, шунингдек улар катта динамик хатоликларга ҳам эга [12,14].



1-расм. Катта тоқлар ўзгартиргичларининг синфлиниши

1-жадвал
Мавжуд КТЎларнинг асосий характеристикаларини нисбий баҳолаш қиёсий таҳлили

1	2	3	4	5	6	7
Магнит-резонансли	10 гача	0,01-0,03	*	Таъминламайди	Юқори аниқликда ўзгартриш, қурилмани даражалаш амалини бажармасдан ҳам ўлчашни амалга ошириш имконияти мавжудлиги	Электр занжирни узиш зарурати, останвий сезгирлиги юқори, катъий бир текис магнит майдон бўлиши, қўшимча таъминлаш манбалари зарурати, куйи чегара чекланганлиги
Магнито-оптик	200 гача	0,05-0,1	*	Таъминлайди	Юқори кучланишли линияларда қўллаш имкониятининг мавжудлиги, тугунлари ўлчамлари ва вазни катта эмас	Нисбатан сезгирликнинг пастлиги, конструктив мурак--каблиги, токнинг кутубланиш бурчагига боғланишдаги бир кийматликнинг йўқлиги, қўшимча таъминлаш манбаи зарурати
Ток трансформаторлари	200 гача	0,2-0,5	1000 атрофида	Таъминлайди	Метрологик характеристикалари, ишончилиги, ўта юқланиш қобилияти юқори, хизмат кўрсатиш содда, чиқиш қуввати катта	Ташки магнит майдонларнинг салбий таъсири, ўтиш режимларда ишлаганда метрологик характеристикаларнинг пасайиши, фақат ўзгарувчан тоқларни ўзгартриш учун яроқли

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Гальвано-магнит	200 гача	0,1-0,5	1000 агрофида	Таъмин-лайди	Тезкор, доимий, ўзгарувчан ва импульсли тоқларни ўзгартириш имкониятига эга	Конструктив ва технологик жихатдан мурраккаб, характеристикаларининг ностабиллиги, қўшимча таъминлаш манбалари зарурати, температурага берилувчанлиги
Магнит-резонансли	10 гача	0,01-0,03	*	Таъмин-ламайди	Юқори аниқликда ўзгартириш, қурилмани даражалаш амалини бажармасдан ҳам ўлчашни амалга ошириш имконияти мавжудлиги	Электр занжирни узиш зарурати,остановий сезгирлиги юқори, катъий бир текис магнит майдон бўлиши, қўшимча таъминлаш манбалари зарурати, куйи чегара чекланганлиги
Магнито-оптик	200 гача	0,05-0,1	*	Таъмин-лайди	Юқори кучланишли линияларда қўллаш имкониятининг мавжудлиги, тугунлари ўлчамлари ва вазни катта эмас	Нисбатан сезгирликнинг пастлиги, конструктив мураккаблиги, токнинг кутубланиш бурчагига боғланишдаги бир қийматликнинг йўқлиги, қўшимча таъминлаш манбаи зарурати
Ток трансформатор	200 гача	0,2-0,5	1000 агрофида	Таъмин-лайди	Метрологик характеристикалари, ишончилиги, ўта юкланиш қобилияти юқори, хизмат кўрсатиш содда, чиқиш куввати катта	Ташқи магнит майдонларнинг салбий таъсири, ўтиш режимларда ишлаганда метрологик характеристикаларнинг пасайиши, фақат ўзгарувчан тоқларни ўзгартириш учун ярқли
Гальвано-магнит	200 гача	0,1-0,5	1000 агрофида	Таъмин-лайди	Тезкор, доимий, ўзгарувчан ва импульсли тоқларни ўзгартириш имкониятига эга.	Конструктив ва технологик жихатдан мурраккаб, характеристикаларининг ностабиллиги, қўшимча таъминлаш манбалари зарурати, температурага берилувчанлиги.

Изоҳ: * - Техник адабиётларда ишончли маълумотлар топилмаган

Мавжуд КТЎларнинг асосий характеристикаларини нисбий баҳолаш қиёсий таҳлили (1-жадвал)дан кўриниб турибдики, ток ўзгартиргичларнинг куйидаги турлари нисбатан кўпроқ қўлланилар экан: 1. Резистив ток ўзгартиргичлар (қаршилиқларда кучланиш пасайиши эффектига асосланган); 2. Гальваномагнит ток ўзгартиргичлар (Холл эффектига асосланган); 3. Ток трансформаторлари (электромагнит индукция эффектига асосланган); 4. Ток ўзгартиргичлари (магнит модуляция эффектига асосланган); 5. Оптик толали ток ўзгартиргичлар (Фарадей эффектига асосланган); 6. Роговский ғалтаги (нометалл ўзакли трансформатор эффектига асосланган).

Роговский ғалтагининг ишлаш асоси аънавий металл ўзакли трансформаторлардаги каби бўлиб, уларнинг асосий фарқи Роговский ғалтагининг чулғамлари номагнит ўзакда амалга оширилади. Бундай ўзак магнит тўйинишга эга бўлмаганлиги учун характеристика чизиқли кўринишда олинади.

Бироқ, иккиламчи токи бирламчи токига мутаносиб бўлган аънавий металл ўзакли ток трансформаторларидан фарқли ҳолда, Роговский ғалтагининг чиқишидаги кучланиши бирламчи токнинг вақт бўйича масшабли ҳосиласи $di(t)/dt$ га тенг. Бу ўз навбатида саноат частотасида ишлайдиган қурилмалар учун ток ўзгартиргич чиқишидаги сигнални қайта ишлаш ва саноат частотасига айлантириш учун қўшимча жиҳозларни талаб этади.

Роговский ғалтаги асосидаги ток ўзгартиргичи катта қийматдаги ток импульсларини ўлчаш учун мўлжалланган бўлиб, унча юқори бўлмаган аниқликга эга, шунинг учун ундан фойдаланилганда интегралловчи қурилмага

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

зарурат юзага келади. Ушбу камчиликлар ўз навбатида бу турдаги ток ўзгартиргичнинг қўлланилиш соҳасини чеклаб қўяди.

Ўтказилган тадқиқотлар натижаси шуни кўрсатдики, электр таъминоти тизимларида мавжуд ток ўзгартиргичларининг қуйидаги турлари энг кўп қўлланилади [16]. Бу ток ўзгартиргичларнинг характеристикалари таҳлили кучланишларнинг учта (1 кВ гача бўлган паст, 6-35 кВ оралиғидаги ўрта, 110-750 кВ оралиғидаги юқори) синфи учун амалга оширилди. Таҳлил маълумотлари қуйидаги жадвалларга киритилди: 2-жадвал - 1кВ гача бўлган кучланиш, 3-жадвал - 6–35 кВ гача бўлган кучланиш, 4-жадвал - 110–750 кВ гача бўлган кучланиш бўйича.

2 - жадвал

Номинал кучланиш 1 кВ гача

Характеристика	Ток трансформатори	Резистив ток ўзгартиргич	Холл эффектли ток ўзгартиргич	Ток ўзгартиргич
Ишчи температуралар диапазони, С	-45-+50	-40-+60	-40-+150	-40-+60
Номинал кучланиш, кВ	0,66 гача	1 кВ гача	1 кВ гача	1 кВ гача
Номинал тоқлар, А	50; 75; 100; 150;200; 300; 400;600;800; 1000;1500;2000; 3000;4000; 5000; 6000;15000; 25000	50;100;150;200;300; 500;600; 1000;1500; 2500; 4000; 6000;7500; 10000; 15000	Очик турдаги: ±57...±950 А Компенсацияли турдаги: ±5... ±1200 А Мантикий чиқиш билан: 0,5, 3,5, 5,0, 7,0, 10,0 ва 54,00 А	100дан 5000 гача
Аниқлик синфи	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1	0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5	0,1 дан 0,8 гача	0,2; 0,2S; 0,5; 0,5S; 1
Вазни, кг	0,5 дан 170 гача	0,1 дан 35гача	1 кг гача	0,5 дан 50 гача
Ишлатилиш вақти, йил	30	15	20	30
Ишчи частота	50, 60 Гц	> 500 кГц	Очик турдаги: < 100 кГц Компенсацияли турдаги: > 1 МГц	50 Гц
Иккиламчи занжирларнинг гальваник ажратилганлиги	Электромагнитли	Йўқ	Абсолют	Электромагнитли
Нархи, сўм	Юқори	Паст	Ўртача/юқори	Ўртача/ паст

Маълум бўлдики, 1 кВ гача бўлган кучланишда асосан қуйидаги тўртта турдаги ток ўзгартиргичлари қўлланилади (1-жадвал): 1. Резистив ток ўзгартиргич (қаршиликларда кучланиш пасайиши эффектига асосланган); 2. Гальваномагнит ток ўзгартиргич (Холл эффектига асосланган); 3. Ток трансформаторлари (электромагнит индукция эффектига асосланган); 4. Ток ўзгартиргичлар (магнитмодуляция эффектига асосланган).

Ток трансформаторлари ва резистив ток ўзгартиргич жуда кенг оралиқдаги тоқларни ўлчаш имкониятига эга. Бироқ, электромагнит индукция эффектига асосланган ток трансформаторлари ўзгармас тоқларни ўлчай олмайди, қаршиликларда кучланиш пасайиши эффектига асосланган резистив

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

ток ўзгартиргичлар ҳам ўзгармас тоқларни ҳам ўзгарувчан тоқларни ўлчай олади, лекин улар электр занжирига бевосита уланишлари керак ва бу занжирда маълум муддатга узилишларни келтириб чиқаради.

3-жадвал

Номинал кучланиш 6–35 кВ

Характеристика	Ток трансформатори	Резистив ток ўзгартиргич	Холл эффектли ток ўзгартиргич	Ток ўзгартиргич
Ишчи температуралар диапазони, С	-45-+50	Қўлланилмайди	Қўлланилмайди	-45-+50
Номинал кучланиш, кВ	10			10
Номинал тоқлар, А	50, 75, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600,750, 800, 1000; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000			100дан 5000 гача
Аниқлик синфи	0,2S; 0,5S; 0,5			0,2S; 0,5S; 0,5
Вазни, кг	20 дан 90гача			30 дан 100гача
Ишчи частота, Гц	50, 60			50
Иккиламчи занжирларнинг гальваник ажратилганлиги	Электромагнитли			Электромагнитли
Иккиламчи занжир чиқиш параметрлари	1А; 5 А			1-5А
Нархи, сўм	Юқори			Ўртача

4-жадвал

Номинал кучланиш 110-750 кВ

Характеристика	Ток трансформатори	Ток ўзгартиргич	Холл эффектли ток ўзгартиргич	Оптик толали ток ўзгартиргич
Ишчи температуралар диапазони, С	-60-+55	Қўлланилмайди	Қўлланилмайди	-50-+60
Номинал кучланиш, кВ	110–750			110–750
Номинал тоқлар, А	100; 150; 200; 250; 300; 400;500; 600; 750; 800; 1000;1200;1 250; 1500; 1600; 2000;2500; 3000; 3500; 4000; 5000;6000; 8000; 9000; 10000			500дан 25000 гача
Аниқлик синфи	0,2; 0,5			0,5;1,0
Вазни, кг	450–7500			500–1500
Ишлатилиш вақти, йил	30			15
Иккиламчи занжирларнинг гальваник ажратилганлиги	Электромагнитли			Контактсиз
Нархи, сўм	Юқори			Юқори

Холл эффектига асосланган гальваномагнит ток ўзгартиргичлар ҳам ўзгармас тоқларни ҳам ўзгарувчан тоқларни ўлчаш имкониятига эга. Лекин уларнинг афзаллиги деярли хусусий кувват истеъмол қилмаслигида ва частоталар оралигининг кенглигида. Камчилиги эса ташқи таъминлаш манбаи заруратлиги ва сезгир элементнинг температурага қаттиқ берилувчанлигидир.

6–35 кВ гача бўлган кучланишда асосан ток трансформаторлари ва магнитмодуляция эффектига асосланган ток ўзгартиргичлари қўлланилади (3-жадвал), Холл эффектига асосланган ток ўзгартиргичлар сезгир элементларининг катта қийматли кучланишларга изоляцияси чидамсиз бўлгани учун улар бу кучланиш оралиғида деярли қўлланилмайди [17].

110–750 кВ гача бўлган кучланишда асосан ток трансформаторлари ва Фарадей эффектига асосланган оптик толали ток ўзгартиргичлари қўлланилади (3-жадвал)

Ток трансформаторининг асосий камчилиги: 1. Иккиламчи ўлчов чулғамни узиш дан юзага келувчи ҳавф; 2. Изоляцияловчи материал (мой), шу билан бирга ёнувчи (портловчи) модда ҳисобига сезиларли даражада вазни катталигидир. Оптик толали ток ўзгартиргичлар бу камчиликлардан ҳоли ҳисобланади. Оптик толали ток ўзгартиргичлар катта тоқларни жуда кенг ўлчаш оралиғида (500 кА гача) юқори аниқлик синфи билан ёнғинга ҳавфсиз ҳолатда ўлчаш имконига эга. Бу ток ўзгартиргичлардан релели ҳимоя ва автоматикада фойдаланиш учун махсус терминаллар зарур бўлади ва бу ўз навбатида уларнинг нархи ошишига олиб келади [18].

Амалга оширилган таҳлиллар натижасида қуйидаги хулосалар олинди:

1. Электр таъминоти тизимида ток кучини ўлчаш учун энг кўп тарқалган восита трансформатор эффектига асосланган ток трансформатори экан. У температуралар ва номинал тоқларнинг кенг оралиқларида ишлай олади, амалда етарлича аниқликга эга ва номинал кучланишларнинг ҳам кенг оралиқларида қўлланилиши мумкин. Ток трансформатори иккиламчи занжирларнинг гальваник ажратилганлигини таъминлайди [19]. Уларнинг асосий камчилиги шундан иборатки, иккиламчи ўлчаш чулғамларини узиш мумкин эмас, чунки бу юқори кучланиш ва ҳосил бўлган иссиқлик келтириб чиқарувчи ҳалокатли ҳолатнинг юзага келишига сабаб бўлади.

2. Паст кучланишли ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида ток кучини ўлчаш мақсадида қаршиликларда кучланиш пасайиши эффектига асосланган резистив ток ўзгартиргич кенг қўлланилади. Резистив ток ўзгартиргич содда тузилишга ва токни юқори аниқликда ўлчаш имкониятига эга, бироқ ўлчаш занжири билан гальваник боғланишнинг мавжудлиги унинг энг катта камчилиги бўлиб, бу уларнинг қўлланилиш соҳаларининг кескин чекланганлигига сабаб ҳисобланади.

3. Ўтказилган тадқиқотлардан маълум бўлдики, ҳам ўзгармас ҳам ўзгарувчан тоқларни ўлчаш учун Холл эффектига асосланган ток ўзгартиргичлари кенг қўлланилмоқда. Бироқ, уларнинг ўзгартириш аниқлигига температура катта салбий таъсир этади, ток трансформаторига нисбатан номинал кучланишлар диапазони юқори эмаслиги уларнинг асосий камчиликлари ҳисобланади.

4. Магнит модуляция эффектига асосланган ток ўзгартиргичлари паст ва юқори кучланишларда электромагнит индукция эффектига асосланган ток трансформаторларидан юқори аниқлиги ва сезгирлиги бўйича қолишмасида, ҳам ўзгармас ҳам ўзгарувчан тоқларни ўзгартириш имкониятининг мавжудлиги уларнинг афзаллиги ҳисобланади.

5. Сўнги вақтларда юқори кучланишларда ўта катта тоқларни ўлчаш учун Фарадей эффектига асосланган оптик толали ток ўзгартиргичлар қўлланила бошланди.

6. Мавжуд тоқ ўзгартиргичларнинг таҳлили шуни кўрсатдики, кучланишларнинг паст ва ўрта қийматларида ўлчаш, назорат қилиш, бошқариш, ростлаш ва автоматика тизимларида улар томонидан кўрсатиладиган талаблар мажмуасига электр ва магнит физикавий табиатдаги эффектларга асосланган (электромагнит) катта тоқ ўзгартиргичлари ҳисобланган Холл эффектига асосланган гальваномагнит тоқ ўзгартиргич; трансформатор эффектига асосланган тоқ трансформаторлари; магнитмодуляция эффектига асосланган тоқ ўзгартиргичлар тўлиқроқ жавоб беради.

7. Шунинг учун электромагнит катта тоқ ўзгартиргичларнинг ҳам ўзгармас ҳам ўзгарувчан тоқларни ўзгартиргичлари ва тоқ трансформаторлари конструкцияларини ва характеристикаларини такомиллаштириш долзарб масала ҳисобланади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Абакумов А.А. Преобразователи магнитных полей для систем управления: автореф. дис. канд. техн. наук. – Уфа: УАИ, 1991. – 19 с.
2. Абраменкова И.А. и др. Оптические датчики тока и напряжения // Компоненты и технологии. – Москва, 2010, № 8. –С. 37-41
3. Аксенов Ю.П., Голубев А.В., Завидей В.И. Предприятие «ДИАКС». Контроль технического состояния трансформаторов тока ТФРМ на рабочем напряжении // Энергетик. – Москва, 2004. - № 3. – С. 29-30.
4. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию (5-е изд., испр.)/ Серия «Справочники». – Ростов н/Д: Феникс, 2004. - 480 с.
5. Бордаев В.В., Гуртовцев А.Л., Чижонков В.И. Испытание, выбор и применение низковольтных однофазных измерительных трансформаторов тока // Электрические станции. – Москва, 2004, №4. – С. 37-45.
6. Новгородцев А.Б. Расчет электрических цепей в MATLAB: Учебный курс. – Санкт-Петербург: Питер, 2004. – 250 с.
7. Сафаров А.М., Рустамов Д.Ш. К выбору математической модели кривой намагничивания магнитных цепей электромагнитных преобразователей тока магнитомодуляционного типа // «Актуальные вопросы современной техники и технологии» Российская федерация, – Липецк, 2011, – С. 111-114.
8. Сиддиқов И.Х. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем дисс. ... д.т.н., Ташкент, ТУИТ, 2014. – 225 с.
9. Современные трансформаторы производства ОАО «Раменский электротехнический завод «Энергия». Измерительные трансформаторы напряжения и тока 110 – 500 кВ высокого класса точности для АИИС (КУЭ) // Энергетик. – Москва, 2005. – №8. – С. 52–55.
10. Ураксеев М.А., Авдони́на А., Математическая модель магнитооптические преобразователя для автоматизированных технологических процессов / Уфа: Вестник УГАТУ, №2 (35), 2009. -С. 69-71.
11. Фигурнов Е.П. Релейная защита сетей тягового электроснабжения. – Москва: Маршрут, 2006. – 272 с.
12. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. Серия: Мир электроники. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.

13. Чуев С.Г. Микропроцессорные средства управления и диагностики // Ж.Д. транспорт. – Москва, 2001. - №10. – С. 46-47.
14. Шишкин С.Л. Моделирование и исследование основных характеристик магнитооптического датчика: автореф. дисс. ... к.т.н., Астрахань, АГТУ, 2002. -19 с.
15. A.M.Safarov., D.Sh.Rustamov The intellectually gauge of a current for control systems duty works of traction engines. Seventh world conference on intelligent systems for industrial automation (WCIS-2012), Tashkent, 2012-p. 129-132.
16. Данилов А. Современные промышленные датчики тока / А. Данилов // Современная электроника. – 2004. – октябрь. С. 26–35.
17. Волович Г. Интегральные датчики Холла [Электронный ресурс] / Г. Волович // НПФ Электропривод. – режим доступа: www.gearmotor.ru/holl.htm. - Загл. с экрана.
18. Окуси Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окуси, К. Окамото, М. Оцу; под ред. Т. Окуси; пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
19. Афанасьев В.В. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев и [др.], Н.М. Адоньев, В.М. Кибель, И.М. Сирота, Б.С. Стогний. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.

*Представлено Ташкентским государственным
транспортного университетом*

УДК 66.077:54.149

ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИДА СУВ ТОЗАЛАШ ЖАРЁНИДА ИҚТИСОДИЙ ТЕЖАМКОР УСУЛЛАРНИ ҚЎЛЛАШ

Р.М. Юсупалиев, Н.М. Курбанова, И.Ч. Каримов

Иссиқлик электр станцияларда буғ олиш учун сув тайёрлаш жараёнларида тозоланган сувга сарфланадиган харажатлар асосан бу соҳада ишлатиладиган қурилмаларнинг схемасига ишлатиладиган ионитли филтларнинг турларигага боғлиқ. Маълумки ҳозирги вақтда сув тозалаш соҳасига сарфланадиган иқтисодий харажатларни камайтиришида, мақолада кўрсатилганидек сув тайёрлаш қурилмаларнинг турлари, уларни танлаш қонуниятларга боғлиқлиги, қурилмаларнинг ишлаш қонуниятлари қандай сабабларга боғлиқлиги, тежамкорлик имкониятлари, ҳамда қарама қарши оқимли филтларнинг афзаллик томонлари ва уларни иссиқлик энергетикаси соҳасида сувни юмшатиш ва юқори даражада тузсизлантиришида қўллаш имкониятлари ёритилган.

Ионообменная технология умягчения и обессоливания воды является наиболее распространенной из используемого оборудования, в основном предназначено для параллельноточных процессов т.е. обрабатываемая вода и регенерационный раствор подаются в одном направлении сверху вниз, в результате чего для полной регенерации нижних слоев требуется значительный избыток регенеранта. Эта особенность ионного обмена является основным недостатком прямоточной технологии. Учитывая эти факты в статье рассмотрены основные методы подготовки дабавочной воды на ТЭС и сравнение технико экономических показателей, технология водоподготовки, а также выбор оптимального варианта технологии водоподготовки на ТЭС, и возможности применения противоточных фильтров для умягчения и глубокого обессоливания воды.

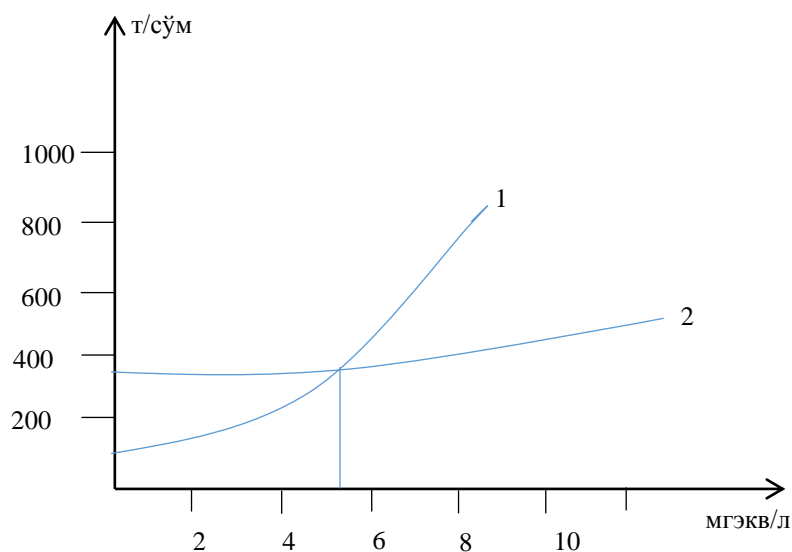
Ion exchange technology for softening and desalting water is the most widespread of the equipment used, mainly intended for parallel-flow processes, i.e. The treated water and the regeneration solution are fed in one direction from top to bottom, as a result of which a significant excess of regenerate is required for the complete regeneration of the lower layers. This feature of ion exchange is the main disadvantage of the direct-flow technology. Taking these facts into account, the article discusses the main methods of preparation of additional water at TPPs and a comparison of technical and economic indicators, water treatment technology, as well as the choice of the optimal version of water treatment technology at TPPs, and the possibility of using counter-flow filters for softening and deep demineralization of water.

Маълумки, иссиқлик энергетикаси соҳасида буғ ҳамда иссиқ сув олиш жараёнларида ишлатиладиган сувларни чўкинди ва занг маҳсулотлари ҳосил

қилувчи барча моддалардан юқори даражада тозалаш махсус сув тозалаш қурилмалари амалга оширилади.

Бу соҳада сарфланадиган иқтисодий харажатлар тозаланаётган сувнинг химиявий таркибига ва сувни қанчалик юқори даражада тозалашга боғлиқ бўлади. Иссиқлик тармоқлари учун сув тайёрлайдиган қозонларга бериладиган сувларни лойиҳалаш меъёрларига кўра 150-180⁰ да таркибидаги чўкинди қатламлар ҳосил қилувчи кальций(Ca) ва магний(Mg) бирикмаларидан тозалаш талаб қилинади. Бу жараён ишлатиладиган сувнинг қаттиқлик даражасига қараб, яъни сув қаттиқлиги ҳар литрида 3-3,5 мгэкв дан юқори бўлса бундай сувлар биринчи босқичда тиндиргич қурилмасида оҳак эритмаси билан қисман юмшатилиб сўнг икки босқичли натрий катионитли фильтрлар ёрдамида қаттиқлик даражаси белгиланган меъёргача камайтиради. Агар сувнинг қаттиқлик даражаси бундан кам бўлса бундай сувлар тўғридан тўғри икки босқичли натрий катионитли қурилмалар ёрдамида юмшатилади.

Юқори қувватли иссиқлик электр станцияларда (ИЭС) буғ олиш учун ишлатиладиган сувларни тозалаш даражаси, буғ қозонлари турига қараб белгиланади, яъни барабанли буғ қозонларига бериладиган сувларни тозалаш, лойиҳалаш меъёрлари бўйича сувнинг туз миқдори бўйича белгиланади. Агарда сувнинг туз миқдори ҳар литрида 5 мгэкв дан катта бўлса бундай сувларни тузсизлантириш буғлатгич қурилмалари ёрдамида амалга оширилади. Агар сувнинг туз миқдори бу даражадан паст бўлса бундай сувларни тузсизлантириш станциянинг химия цехида икки босқичли ионитли фильтрларда амалга оширилади.



1-расм. Тозаланаётган сув нархининг, унинг туз миқдори бўйича ортиб бориши

Бу жараёнларда сарфланаётган иқтисодий харажатларнинг кўп ёки камлиги тозаланаётган сувнинг туз миқдори бўйича қуйидаги расмда кўрсатилганидек содир бўлади.

Бу графикдан кўринадики тажриба натижалари кўрсатишича тозаланаётган сувнинг туз миқдори ҳар литрида 5 мгэкв дан ошиб бориши билан ионитли қурилмаларда сувни тузсизлантиришда сарфланадиган иқтисодий харажатларнинг миқдори (1) кўтарилиб бориши кузатилади. Шу сабабли сувнинг туз миқдори ҳар литрида 5 мгэкв дан юқори бўлганда бундай сувларни тузсизлантириш буғлатгичларда амалга оширилганда иқтисодий харажат (2) бир мунча арзонлашади. Аммо буғлатгичлар ёрдамида тузсизлантирилган сувларни тўғри оқимли буғ қозонларига буғ олиш учун бериладиган бўлса, бундай сувлар ионитли филтрлар ёрдамида янада чуқурроқ, таркибидаги тузлардан тозаланиши талаб қилинади. Қуйидаги жадвалда қозон қурилмаларининг турига ва уларнинг буғ босимига қараб лойиҳалаш меъёрлари бўйича қўлланиладиган сув тозалаш қурилма-ларининг схемаси келтирилган.

1-жадвал

Сув тозалаш соҳасида қўлланиладиган қурилмаларнинг схемаси ва уларнинг ишлатилиши

Сув тозалаш қурилмаларнинг турлари	Ишлатилиш соҳаси
T_k -М-Н ₁ -А ₁ -D-Н ₂ -А ₂ - T_0 -М-Н ₁ -А ₁ -D-Н ₂ -А ₂	Буғ босими 110 атмосферадан юқори бўлган барабанли буғ қозонларига сув тайёрлаш
T_k -М-Н ₁ -А ₁ -D-Н ₂ -А ₂ -АИФ- T_0 -М-Н ₁ -А ₁ -D-Н ₂ -А ₂ -АИФ- T_{k+a} -М-Н ₁ -А ₁ -D-Н ₂ -А ₂ -АИФ	Барча турдаги тўғри оқимли буғ қозонларига сув тайёрлаш
T_k -М-На ₁ -На ₂ - T_0 -М-На ₁ -На ₂ - T_{k+o} -М-На ₁ -На ₂	Буғ босими 110 атмосферадан кам бўлган барабанли буғ қозонлари, буғлатгичлар ҳамда иссиқлик тармоқлари учун сув тайёрлаш

Бу жадвалда Т - тиндиргич қурилмаси, к - сувга коагулянт, о - оҳак эритмалари қўшиб тиниқлигини ошириш ҳамда қаттиқлигини камайтириш. М- сувни механик ифлосликлардан тозаловчи филтр, Н₁ - кальций ва магний катионлари-дан, А₁ - хлор, сульфат анионларидан, Н₂ - натрий катионларидан, А₂ - кремний анионларидан юқори даражада тозаловчи филтрлар. На₁ ва На₂ - ҳам сувни кальций ва магний катионларидан тозаловчи филтрлар, D - сувни таркибидаги СО₂ газидан тозалаш учун қўлланиладиган декорбонизатор.

Келтирилган жадвалдан кўринадики, қозон қурилмаларининг буғ босими ҳамда тозаланадиган сувнинг туз миқдори ортиб бориши билан буғ олиш учун ишлатиладиган сувларни тозалашда қурилмаларининг турлари мураккаблашиб, уларнинг ишлаш жараёнларида иқтисодий харажатлар ортиб боради.

Масалан, барабанли буғ қозонлари учун сув тайёрлаш икки босқичли ионитли қурилмаларда амалга оштриса, тўғри оқимли буғ қозонлари учун эса уч босқичли ионитли қурилмалар ишлатилади сабаби бундай қозонларга бериладиган сувлар юқори даражада тозаланган бўлиши талаб қилинади.

Иссиқлик электр станцияларида сув тайёрлаш қурилмаларининг асосий ва ёрдамчи ускуналарини лойиҳалаш меъёрлари асосида тўғри танлаш, сарфланадиган техник ҳамда иқтисодий харажатларнинг камайишини, ИЭСларнинг

сув ва буғ билан мулоқотда бўладиган барча қурилмаларининг узок муддат ишончли ва самарадорли ишлашини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга.

Шуни таъкидлаш лозимки, ҳозирги вақтда тараққий этган АҚШ, Германия, Япония каби мамлакатларнинг иссиқлик электр станцияларида сув тайёрлаш жараёнларида иқтисодий харажатларни камайтириш мақсадида тўғри оқимли фильтрлар ўрнига янги турдаги қарама-қарши оқимли ионитли фильтрларни қўллаш кенг йўлга қўйилмоқда. Бундай турдаги фильтрлар тўғри оқимли фильтрларга қараганда қуйидаги афзалликларга эга:

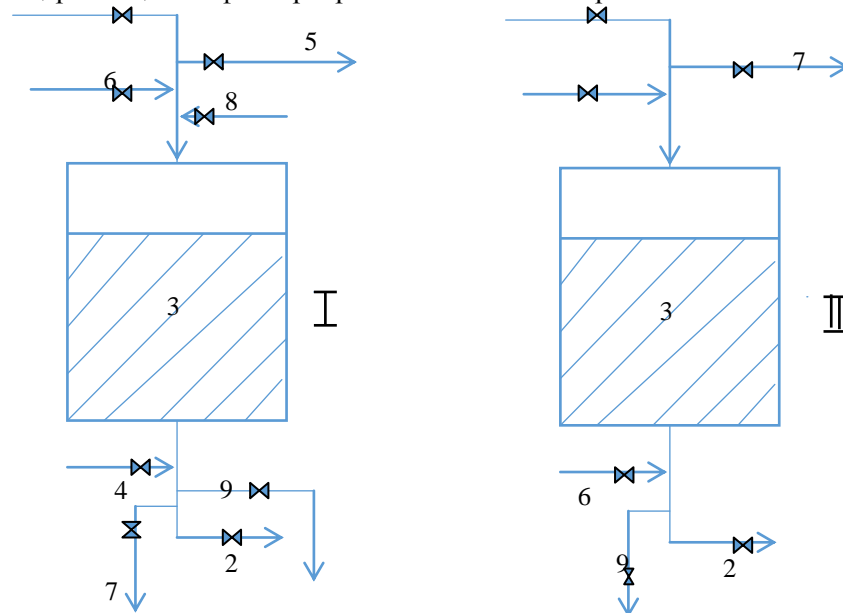
Барча турдаги тўғри оқимли фильтрларни регенерация қилишда эҳтиёжи учун сарфланадиган сувнинг умумий миқдори ($Q_{ум}$) учта, яъни фильтрловчи материалларни яратиш ($Q_я$) регенерация эритмасини тайёрлаш ($Q_р$) ҳамда ювиш ($Q_{ю}$) жараёнларни амалга ошириш натижасидан иборат бўлиб қуйидагича ифодаланади:

$$Q_{ум} = Q_я + Q_р + Q_{ю}, м^3$$

Қарама-қарши оқимли фильтрларда регенерация эритмаси фильтрнинг пастки қувиридан юборилиб юқори қувиридан чиқарилиши сабабли бундай фильтрларда яратиш жараёни амалга оширилмайди. Бу ҳолда уларнинг эҳтиёжи учун сарфланадиган сув миқдори эса қуйидагича ифодаланади.

$$Q_{ум} = Q_р + Q_{ю}, м^3$$

Фильтрлардан регенерация эритмаси қарама қарши оқимда ўтиши натижасида ионит қатламларининг пастки қисми юқори қисмига нисбатан юқори даражада регенерацияланади. Яъни пастки ионит қатламларининг регенерацияланиш даражаси ($P_п$) юқори қатламларга ($P_{ю}$) нисбатан катта ($P_п > P_{ю}$) бўлади. Тозаланаётган сув бундай фильтрлардан чиқиши жараёнида регенерацияланиш даражаси юқори бўлган қатламлардан ўтиши сабабли унинг ионлардан тозаланиши ҳам юқори даражада бўлади. Қуйидаги расмда (2) тўғри ва қарама қарши оқимли фильтрларнинг схемаси келтирилган.



2-расм. Тўғри (1) ва қарама-қарши (2) оқимли фильтрларнинг схемаси

Бу расмда 1 - фильтрларга тозаланадиган сувни бериш, 2 - тозаланган сувнинг чиқиши, 3 - фильтрловчи материаллар, 4 - фильтрга яратувчи сувнинг берилиши, 5 - шу сувнинг филтрдан чиқиши, 6 - фильтрларга регенерация эритмасини юбориш, 7 - шу эритманинг филтрдан чиқиши, 8 - фильтрларга ювувчи сувни юбориш, 9 - ювувчи сувнинг филтрдан чиқиши.

Шуни таъкидлаш лозимки, бундай янги турдаги ионитли филтларни республикамиздаги барча иссиқлик электр станциялар ҳамда иссиқлик марказларида қўллаш сув тозалаш жараёнларидаги иқтисодий харажатларни камайтиради ва сувнинг юқори даражада тозаланишини таъминлайди.

Адабиётлар

1. В.Ф. Очков “Водоподготовка в энергетике” М. Изд. МЭИ 2003 г.
2. А.И. Абрамов и др. “Повышение экологической безопасности ТЭС” М. Изд. МЭИ 2002 г.
3. Р.М. Юсупалиев “Иссиқлик энергетикасида сув тозалаш технологияси ва техникаси” ўқув қўлланма. Т. Чўлпон наширёти 2006.
4. Р.М. Юсупалиев “Иссиқлик энергетикасида сув тайёрлаш ва химиявий назорат” дарслик Т. “Янги нашр” наширёти 2013.
5. Мартынова О.И., Никитин А.В., Очков В.Ф. Водоподготовка: Расчёты на персональном компьютере. М: Энергоатомиздат, 1990.
6. Развития теплоэнергетики. Сборник науч. Статей М. ВТИ. 1996 г.
7. Юсупалиев Р.М. Энергосбережение Энергетика Энергоаудит., Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал, №10 (153) октябрь 2016. 8 с.
8. N.K.Shamsieva, K.S.Shamsiyev. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol.6, Issue 4, April 2019, pp.8893-8897, (2019).
9. R.M.Yusupaliev, N.A.Musashaykhova. International VII scientific and technical conference. Saratov, (2018).
10. Кишневский В.А. Современные методы обработки воды в энергетике: Учебное пособие для вузов. Одесса: ООГНУ, 1999.
11. R.M.Yusupaliev, N.O.Usmonov. International Journal of Energy Safety and Energy Saving, Scientific-analytical and educational-methodical journal. Moscow, (2017).
12. K.S.Shamsiyev, N.K.Shamsiyeva. Journal "Problems of energy and resource savings", 3-4, Tashkent, (2019).
13. R.M.Yusupaliev, N.O.Usmonov. International Journal of Energy Saving Energy Energy Audit, Kharkov, (2016).
14. B.S.Beloselsky "Technology of fuel and energy oils", - М.: ed. MEI, (2003).
15. B.S.Beloselsky, V.K.Solyakov. Energetic fuel. - М.: Energiya, (1998).
16. Кишневский В.А. Современные методы обработки воды в энергетике: Учебное пособие для вузов. Одесса: ОГНУ, 1999.

*Тошкент давлат техника университети
томлидан тақдим этилган.*

УДК 628.164

**ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ
ПОВЕРХНОСТЯХ**

Б.Х. Юнусов, Н.А. Юнусова, Х.Ж. Гофуров

Issiqlik texnikasi qurilmalarining ishlash jarayonida issiqlik almashinuv apparatlari isitish yuzalarida qattiq suvdan foydalanganda nakip deb ataluvchi cho'kmalar hosil bo'ladi. Ushbu maqolada issiqlik almashinuv apparatlarida nakiplarning hosil bo'lish sabablari keltirilgan.

В процессе работы теплотехнического оборудования при использовании жесткой воды на поверхностях нагрева теплообменных аппаратов образуются твердые отложения, которые называется накипь. В данной работе даны причины образования накипи в теплообменных аппаратах.

In the progress of operation of heating equipment when using hard water, solid deposits are formed on the heating surfaces of heating exchangers, which are called scale. In this publication gives the reasons for formation of scale in heat exchangers.

В любой отрасли промышленности имеют место мероприятия, направленные на экономию тепла и улучшение работы теплообменного оборудования. Именно к ним относятся мероприятия, связанные с уменьшением и предотвращением образования накипи. На сколько мы знаем, при наличии накипи повышается гидравлическое сопротивление теплообменника и возрастают энергозатраты на перекачку продукта. Это приводит к снижению производительности и увеличению расхода топлива. Чистка теплообменной поверхности связана с необходимостью отключения аппарата и материальным затратам. Процесс образования накипи на поверхности теплообменников, происходит достаточно интенсивно и имеет ряд особенностей, определяемых составом исходных продуктов и технологией обработки. Ярким примером интенсивного образования накипи на теплообменном оборудовании происходящим в системах с оборотным водоснабжением, является предприятие Мубаракского газоперерабатывающего завода Республики Узбекистан. Здесь, система оборотного водоснабжения и теплообменные аппараты предназначены для охлаждения газа. Сырая вода берется из двух точек источника. Первая - поверхностные воды из Куй-Мазорского водохранилища на территории Бухарской, Навоийской области, где суточный объем воды 7-8 тыс. м³/сут, а протяженность водопровода 130 км, диаметр трубы 820 мм. Вторая - подземные воды (артезианская вода) из водопровода Шахрисабз-Яккабаг с протяженностью 170 км и диаметром трубы 820 мм для питьевых целей, а суточная потребность в артезианской воде составляет 2,5-3 тыс. м³ /сутки [1].

Жесткость пресной воды является одним из определяющих качеств, используемой в промышленности, т.е. растворенные в воде ионы кальция и магния. В процессе контакта с породами, природная вода с растворенными веществами, обогащается слагающими земной коры. Известно, что породы,

содержащие карбонаты кальция и магния, встречаются часто, бикарбонаты кальция и магния неизменно присутствуют почти во всех природных водах. Образование отложений обусловлено различными гетерогенными процессами, сопровождающимися фазовыми переходами, химическими, электрохимическими и топохимическими реакциями, которые могут одновременно протекать при контакте растворов с теплопередающей поверхностью [2]. По преимущественному содержанию в отложениях неорганических солей определенного вида выделяется три группы солей: хлоридные (NaCl), карбонатные (CaCO₃, MgCO₃) и сульфатные (CaSO₄) [3]. В таблице 1. представлен ионный состав примесей воды.

Таблица 1.

Ионный состав примесей воды характеризуется присутствием в ней соответствующих катионов и анионов

Группа	Катионы	Анионы	Концентрация, мг/кг
1	Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	От единиц до десятков тысяч
2	NH ₄ ⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺	HSiO ₃ ⁻ , F ⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	От десятых долей до единиц
3	Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Ni ²⁺ , Al ³⁺	HS ⁻ , J ⁻ , NO ₂ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	Меньше десятых долей

Ионы Ca²⁺ и Mg²⁺ способствуют образованию труднорастворимых веществ, что относит их к группе непостоянных примесей. Эти катионы относятся к числу важнейших, так как они во многом определяют пригодность воды для использования в различных технологических процессах.

Свойство некоторых солей уменьшать свою растворимость в воде с повышением температуры, т.е. обладающих так называемой отрицательной растворимостью, является одной из причин, способствующих кристаллизации веществ непосредственно на поверхности нагрева. К солям с обратной растворимостью относятся карбонаты кальция и магния, поэтому при повышении температуры среды происходит их интенсивное выпадение. Баланс разных форм угольной кислоты в воде можно представить уравнением:



Из уравнения (1) следует, что равновесное состояние такой системы зависит от концентрации в воде свободной CO₂, которая в свою очередь зависит от температуры и парциального давления CO₂ над водой [5].

Если в воде содержится избыточное количество CO₂, то равновесие смещается влево. Карбонат кальция CaCO₃ при этом переходит в гидрокарбонат Ca(HCO₃)₂- Это выражается в растворении при контакте с водой доломитовых и известковых пород, бетонных сооружений. Такую воду принято называть агрессивной, где изменение содержания диоксида углерода в водной фазе сдвигает равновесие химического превращения в сторону либо образования, либо растворения кальцита. Поверхностные воды, находящиеся в контакте с атмосферным воздухом, содержат малые количества CO₂. В этом случае наблюдается равновесное состояние, вода неагрессивна в отношении карбонатов.

Причиной нарушения углекислотного равновесия является нагрев воды в теплообменных аппаратах с последующим ее охлаждением в градирнях. Чем

больше содержится в воде бикарбонатных ионов (карбонатная жесткость) и чем выше степень нагрева воды, и тем интенсивнее идет процесс распада HCO_3^- и образования карбонатного иона CO_3^{2-} , так как при этом требуется большая концентрация в воде свободной равновесной уголекислоты, необходимой для поддержания в растворе определенного количества бикарбонатного кальция [4].

Таким образом, интенсивное отложение солей жесткости на теплопередающих поверхностях теплообменных аппаратов и в трубопроводах происходит вследствие нарушения уголекислотного равновесия в нестабильной оборотной воде (нагрев воды в теплообменных аппаратах, а затем ее охлаждение в градирнях), при распаде бикарбонатного иона с потерей свободной уголекислоты.

Список использованной литературы:

1. З.Ш.Назиров. Очистка загрязненных вод на предприятии ооо «Мубарекский» ГПЗ с использованием ионообменных полимеров // Халқаро илмий-техник on-line анжуман илмий ишлар тўплами. - Тошкент. ТошДТУ, 2020. - 66 бет
2. М.А.Булатов. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. Теория и техника управления образованием осадков. М.: Мир, 2004. 304 с.
3. М.М.Асадов, М.М.Талыбов. О кинетических условиях солеобразования в системе водный раствор соли - ингибитор // Вода и экология: проблемы и решения. 2008. №4. С. 63-69.
4. Ф.И.Белан. Водоподготовка, изд. 2-ое переработанное. М.: Государственное Энергетическое Издательство, 1963. 318 с.
5. Л.С.Стерман, В.Н.Покровский. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС: Учебное пособие для вузов. М.: Энергия, 1981. 232 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 66.077:54.149

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРОБОТКА ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ВИХРЕВЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

К.С. Шамсиев, Р.Ч. Каримов

Ушбу мақолада полимер материаллар орасида пахта целлюлозаси табиатда керакли ва кенг таркалган юкори молекуляр бирикмалардир. Уюрмали юкори самарали куришии камераси пахта целлюлозасини куришиига мулжалланган. Куп усимликлар таркибида целлюлоза мавжуд. У хеч качон тоза целлюлоза куришиида булмайти. Химия саноатида ишлатиладиган куп усимлик материаллар ичида целлюлоза микдори куп булган пахта линти хисобланади. Линтдан пахта целлюлозаситни олиши, ёгочдан олинадиган целлюлозага нисбатан анча осон ва линтда 96% целлюлоза мавжуд. Пахта целлюлозасини сорбцион хусусиятини аниклаш улкан назарий ва амалий кизикишидан иборат булиб, у толани хусусиятини узгариишии характерлаб колмай, суюкликнинг таъсирини ифодалайди, хамда сувни кимевий таъсирини, механик хусусиятини, целлюлозани электрик характеристикасини курсатади. Куришии объекти булган пахта целлюлозасини хусусиятидан келиб чикиб, уни куришии учун уюрмали окимни иссиклик ташувчи оркали амалга оширилади. Уюрмали окимнинг абзаллиги, тугри окимга нисбатан бир неча баробар нисбий фазани харакатланиши тезлигини куплиги ва курилмада каттик материалнинг концентрациясини ошириши мумкин. Бу дискали уюрмали курилмада каттик ва газсимон фазанинг харакат траекторияси куриб чикилган. Газнинг тангенциал ва радиал тезлиги уюрмали радиусга боглик булиб, олдин уюрмали радиус максимал ошади, сунг нолгача тушади. Иссиклик ва масса алмашинув жараёнлари газ ва материалнинг харакатланиши тенгламасига асосланган холда ёритилган. Иссиклик алмашинув жараёни каттик материал билан газ окимини фазалар орасидаги ташики иссиклик алмашинувига ва курилма девори билан хама икки фазали окимларни фазалар орасидаги ички иссиклик алмашинувига ажратилган. Иссиклик ва масса алмашинув жараёни харакатланишининг дифференциал тенгламасига, аралашма компонентидан олинган харорат концентрациясига, каттик булакчалар билан газ орасидаги интенсив масса бериши тенгламасини билиши имконияти, конвектив иссиклик алмашинувига ухшашилиги курсатилган.

В данной статье среди полимерных материалов хлопковая целлюлоза – важнейшее и наиболее распространенное в природе высокомолекулярное соединение. Данная высокоэффективная вихревая сушильная камера предназначена для сушки хлопковой целлюлозы. Целлюлоза содержится во многих растительных материалах. Однако она никогда не находится в них в чистом виде. Из большого числа растительных материалов, нашедших применение в химической промышленности, наибольшим содержанием целлюлозы характеризуется хлопковый линт. Выделение хлопковой целлюлозы из линта намного легче выделения целлюлозы из древесины, так как линт содержит до 96% целлюлозы. Изучение сорбционных свойств хлопковой целлюлозы представляет

большой теоретический и практический интерес, так как дает возможность не только характеризовать структурные изменения волокна, но и выяснить влияние сортированных жидкостей, в частности воды, на химическое поведение, механические свойства и электрические характеристики целлюлозы. Исходя из свойств хлопковой целлюлозы как объекта сушки можно предложить метод её сушки в одном из вариантов закрученного потока теплоносителя. Преимущество закрученного потока по сравнению с прямым заключается в том, что он позволяет в несколько раз увеличить среднюю относительную скорость движения фаз и повысить концентрацию твердого материала в аппарате. В работе рассмотрены траектории движения системы газовой и твердой фазы в дисковой вихревой камере. Тангенциальной и радиальной скорости газа зависит от вихревого радиуса, вихревой радиус сначала возрастает до максимума, а затем убывает до нуля. В статье изложено процессы тепло – массообмена основано к совместному решению системы дифференциальных уравнений движения газа и материала. Единый процесс теплообмена разделена на внутренний межфазный теплообмен твердого материала с потоком газа и на внешний межфазный теплообмен всего двухфазного потока со стенками аппарата. Аналогия процессов тепло- и массообмена основана на близком следствии дифференциальных уравнений движения, температурного получения концентрации одного из компонентов смеси, что позволит узнать интенсивность массоотдачи от твердых частиц к газу уравнениями, схожими для конвективного теплообмена.

In this article, among polymeric materials, cotton cellulose is the most important and most widespread high-molecular compound in nature. This highly efficient vortex drying chamber is designed for drying cotton pulp. Many plants contain cellulose. Its never in the form of pure cellulose. Among the many plant materials used in the chemical industry is cotton lint, which has a high content of cellulose. It is much easier to get cotton cellulose from lint than from cellulose from wood and lint contains 96% cellulose. The determination of the sorption properties of great theoretical and practical interest, it represents the effect of a liquid without characterizing the change in the properties of the fiber and chemical properties of water, mechanical properties, electrical characteristics of cellulose. Due to the nature of the cotton cellulose, which is the object of drying, the heat carrier is used to dry it is done through. The advantage of the alternating current is the multiplicity of the velocity of the phase, which is several times relative to the direct current and possible to increase the concentration of solid material in the device. The paper considers the trajectories of motion of a system of gas and solid phases in a disk vortex chamber. The tangential and radial velocity of the gas depends on the vortex radius, the vortex radius first increases to a maximum and then decreases to zero. The article describes the processes of heat - mass transfer based on the joint solution of the system of differential equations of gas and material motion. The heat exchange process is divided into the external heat exchange between the phases of the solid material and the gas flow and the internal heat exchange between the phases of the device wall and the two-phases flows. The process of heat and mass transfer is shown in the differential equation of motion, the temperature concentration obtained from the

mixture component , the ability to know the equation of intensive mass transfer between solid particles and gas, similarity to convective heat transfer.

Введение. Среди полимерных материалов хлопковая целлюлоза – важнейшее и наиболее распространенное в природе высокомолекулярное соединение. Неограниченная сырьевая база, низкая стоимость материалов, вырабатываемых из целлюлозы и ее разнообразных производных, ценные специфические свойства изделий – таковы особенности, определяющие целесообразность и необходимость широкого использования, а следовательно, и исследования этого материала [1-3].

Исходя из свойств хлопковой целлюлозы как объекта сушки можно предложить метод её сушки в одном из вариантов закрученного потока теплоносителя. В вихревых сушилках большое значение имеет учёт взаимодействия газовой и твердой фазы. Такое взаимодействие выражается тем, что частицы материала отнимают у газа часть количества движения, что приводит к уменьшению по угловой координате крутки газового потока. В процессе сушки плотность материала уменьшается по двум причинам: уменьшается количества влаги в частице материала; изменяется в процессе сушки диаметра частицы материала.

В вихревом аппарате должна соблюдаться достаточно высокая степень активности гидродинамической обстановки и достаточное время пребывания в нем материала [1-3, 5].

Описание. Исходя из свойств хлопковой целлюлозы как объекта сушки можно предложить метод её сушки в одном из вариантов закрученного потока теплоносителя. Преимущество закрученного потока по сравнению с прямым заключается в том, что он позволяет в несколько раз увеличить среднюю относительную скорость движения фаз и повысить концентрацию твердого материала в аппарате. Частицы твердого материала благодаря крутке постоянно соударяются со стенкой, в результате средняя скорость их движения не превышает нескольких метров в секунду. При скорости газа несколько десятков метров в секунду, относительная скорость газа и материала достигает больших значений и близка к скоростям газа [3-4, 6-7].

Принятая схема движения газозвеси в вихревой камере следующая: частицы материала потока теплоносителя тангенциально подаются в при стеночную зону камеры и начинают, находясь в при стеночной зоне, вращение вокруг оси камеры; по мере вращения частицы подсыхают и уменьшаются в размере - центробежная сила, поддерживающая частицы в пристеночной зоне, вследствие уменьшения массы частицы, уменьшается, и частицы увлекается рациональным током газа и уносится газом через центральное выходное отверстие (рис.1). Вследствие центробежного эффекта основная масса материала находится (вращается) в пристеночной зоне камеры и только незначительная часть материала находится в центральной зоне камеры, на пути к выходному отверстию; время пребывания материала пристеночной зоне много больше времени движения материала на пути к выходному отверстию. В процессе сушки плотность материала уменьшается по двум причинам: уменьшается количества влаги в частице материала; изменяется в процессе сушки диаметра частицы материала [11].

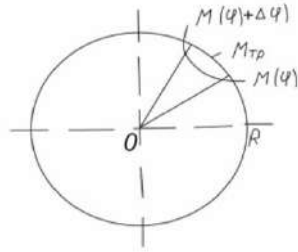


Рис. 1. К моделированию движения частиц материала в вихревой камере

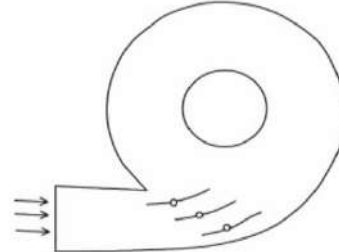


Рис. 2. К выводу в зависимости тангенциальной составляющей скорости от угловой координаты $V_t = V_t(\varphi)$

Рассмотрим сначала выражение для массы частицы m дисперсного материала при переменной плотности P_m и диаметра d частицы и выражение для производной $d_m/d_t = m$.

Плотность влажного материала P_m связано с плотностью сухого материала P_c и влагосодержанием материала "U" согласно уравнению материального баланса: плотность сухого материала уменьшается вследствие роста диаметра цилиндра частицы по известному закону $d = d(U)$.

$$P_c = \frac{M_D}{V} = \frac{M_c V_H}{V_H V} P_{c,h} \frac{V_H}{V} = P_{c,h} \frac{D^2_{H}}{D^2(U)}$$

где: M_c – масса сухого материала частицы. V - текущий объём частицы. V_H - её начальный объём. $P_{c,h}$ - начальная плотность сухого материала частицы.

Текущая масса частицы:

$$m = \frac{\pi^2}{4} h p_M = \frac{\pi d^2}{4} h(1+U) p_{c,h} \frac{d_H^2}{d^2} = \frac{\pi d_H^2 p_{c,h} h(1+U)}{4} = m_{c,h}(1+U)$$

Масса сухого материала частицы:

$$m_{c,h} = \frac{\pi d_H^2 P_{c,h}}{4}$$

Соответственно производная масса частицы по времени

$$m = m_{c,h} U$$

Таким образом, уменьшение массы частицы во времени в процессе сушки полностью определяется кинетикой сушки частицы материала [5-7, 11-12].

У газового потока отнимают количества движения сила лобового сопротивления (суммарная сила трения газа о частицы) и сила трения газа о стенку камеры. Последнюю можно не учитывать, так как между стенкой камеры и газовым потоком образуется ламинарный подслои, который существенно уменьшает трение газа о стенку.

Момент сил трения газа о частицы равен:

$$M_{тр} = -\xi \frac{\pi d_3}{8} f_d p_r |v-w| [V_\omega(r_3) - \omega(r_3)r_3] r_3 n \frac{R^2 \Delta \varphi}{2} H$$

где: ξ - коэффициент лобового сопротивления. d_3 - эквивалентный по объему диаметр сферической частицы, легко показывается, что в нашем случае:

$$d_3 = \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{3}} * h^{\frac{1}{3}} d^{\frac{2}{3}}(U)$$

где: f_d - динамический коэффициент формы несферической частицы. Этот коэффициент определяется как отношение коэффициента лобового сопротивле-

ния несферической частицы и коэффициенту лобового сопротивления эквивалентной ей по объему сферической частицы.

Коэффициент f_d является функцией геометрического коэффициента формы f и числа Рейнольдса для частицы $R_e = \frac{|V-W|}{d_3}$, W - скорость частицы:

$$f_d = \begin{cases} f^{0,9} R_e^{0,15 \sqrt{f-1}} \text{ при } 0,2 \leq R_e < 2 \cdot 10^3 \\ 1 + 11,6(\sqrt{f-1}) \text{ при } R_e > 2 \cdot 10^3 \\ (0,843 \lg \frac{1}{0,0651})^{-1} \text{ при } R_e < 0,2 \end{cases}$$

В соответствии с тем, что речь идёт о движении мелких частиц, примем режим обтекания стоксовый [11-12, 14]:

$$\xi = \frac{24 * V}{|V - W| * d_3}$$

Тогда выражение примет вид:

$$M_{тр} = a_3 d_3 [V_\varphi(r_3) - \varphi(r_3) r_3] r_3 n \Delta \varphi$$

где: $a_3 = \frac{3}{2} \pi f_d \rho_r V R^2 H$

Счётную концентрацию частиц по пределим из уравнения с плосности, записанной для твердой фракции.

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(nw) &= 0 \\ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (nr r) + \frac{1}{r} \frac{d}{d\varphi} (nr^\varphi) &= 0 \end{aligned}$$

Согласно принятой модели движения пока частицы вращается в кольце в пристеночной зоне, их рациональная скорость W r равна нулю.

Тогда выражение примет вид:

$$n = \frac{G_1 C_1}{\varphi(r_3)}$$

В результате экспериментов было установлено, что радиальная составляющая v_r , направлена к центру аппарата, а величина ее в самом простом случае определяется по радиальному закону.

$$v_r = \frac{L}{2\pi R h}$$

Изменение радиальной и осевой скорости (v_r и v_z) по радиусу аппарата также имеет сложный профиль и может иметь несколько максимумов и минимумов, что указывает на существования токов вдоль оси и по радиусу циклонных аппаратов [1]. Существует ряд зависимостей для определения составляющих вектора скорости потока основанных на тех или иных представлениях механизма движения потока [2] и включающих в себя ряд коэффициентов, определяемых опытным путем.

Радиальные скорости газа возрастает постепенно от периферии к центру камеры, где показано на рис.3.

Уровень составляющих скоростей в аппаратах с закрученными потоками зависит не только от расходов газа, но и от геометрических характеристик камер: радиуса аппарата и выхлопной трубы, суммарной площади входных патрубков, конусности стенок.

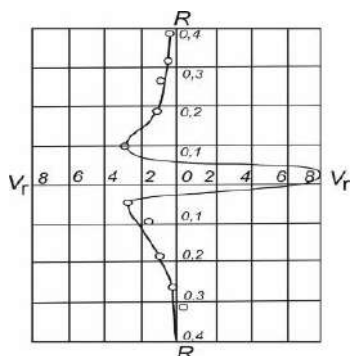


Рис.3. Радиальные скорости за по сечению камеры

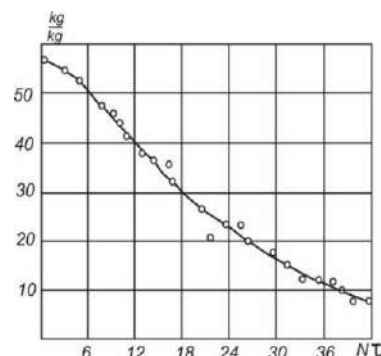


Рис. 4. Обобщенная кривая сушки хлопковой целлюлозы $U=f(Nt)$

Таким образом, кинетику сушки можно считать известной. Если известна кинетическая кривая сушки, снятая для какого-то одного режима. Величина максимальной скорости сушки N определится как параметрами режима сушки, так и параметрами материала [19-20].

Экспериментальная обобщенная кривая сушки $U=f(Nt)$ приведена на рис.4. Она соответствует кривым сушки, снятым при разных температурах теплоносителя. Как видно из рис.4 обобщенная кривая сушки от режима зависит весьма слабо и этой зависимостью практически можно пренебречь.

Заключение. Испытания экспериментальных образцов вихревой камеры для предварительной обработки хлопковой целлюлозы полупромышленной производительности показали, что у обработанного материала возрастает сыпучесть и в несколько раз возрастает период хранения без самовозгорания. По сравнению с другими сушилками закрученного потока вихревые камеры обладают рядом преимуществ. Так, у них в несколько раз выше тепловая мощность и производительность, режим сушки мягкий, что позволяет высушивать в них тонкопористые материалы с высокой энергией связи влаги до низкого остаточного влагосодержания, а материал быстро удаляется из зоны сушки, что гарантирует отсутствие пересушки, перегрева материала и изменения его физико-химических свойств.

Проведенный анализ позволил рекомендовать для сушки хлопковой целлюлозы вихревую камеру, характеризующуюся как высокой интенсивностью тепло-массообменных процессов, так и достаточным временем пребывания в ней частиц материала. Достоинствами дисковой вихревой камеры также является простота изготовления, компактность, высокая экономичность.

Литература

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. - М.: Химия, 1986. -С.320.
2. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. -М.: Химия, 1981. -С.337.
3. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии. - Л.: Химия, 1990. -С.388.
4. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки. - М.: Наука, 1997. -С.448
5. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. - М.: Энергия, 2000. -С.499.

6. Сажин В.Б. Сушка в закрученных потоках. – М.: Химия, 2001. – С.336.
7. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 2000. – С.470.
8. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 2006. – С.407.
9. Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов. – Москва: “Химия”, 1998, – С.352.
10. Шамсиев К. Разработка энергосберегающих технологий при решении экологических задач очистки отходящих газов в высокотемпературных установках. «Современное состояние и перспективы развития энергетики» сборник трудов. Ташкент, 2011.
11. Шамсиев К.С., Шамсиева Н.К. Аналитическое исследование движения газа и твердых фаз в вихревой сушильной камере. Проблемы энерго- и ресурсосбережения, Ташкент, 2016. №3-4. С.166-168.
12. Шамсиев К.С., Шамсиева Н.К. Исследования тепло- и массообмена при обработке дисперсных материалов в вихревой сушильной камере. “Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения” материалы VIII Национальной конференции с международным участием. Саратов, 2018 г.
13. Shamsiyeva N.K., Shamsiyev K.S. Intensification of the Process of Hydrodynamics and Kinetics of Drying Dispersed Materials in Vortex Dry Camera. Inter. Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2019 г.
14. К.Шамсиев, М.Абдирова, Н.Шамсиева, Р.Умирзаков. Интенсификация процесса гидродинамики и кинетики сушки дисперсных материалов в вихревой сушильной камере. III Международной научно-практической конференции “Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века» Нур-Султан 2019.
15. Шамсиев К., Шамсиева Н. Анализ сорбционно-структурных свойств хлопковой целлюлозы, как объекта сушки. Проблемы энерго-и ресурсосбережения. Журнал № 3-4, Тошкент, 2019 г.
16. Karimov R. Ch., Shamsiyev K., and others. IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engineering, 2020, 883(1), 012142, [doi:10.1088/1757-899X/883/1/012142](https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012142)
17. Karimov R. Ch., Shamsiyeva N., and others. IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engineering, 2020, 883(1), 012120, [doi:10.1088/1757-899X/883/1/012120](https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012120)
18. Шамсиев К., Шамсиева Н. Сушки дисперсных материалов в вихревой сушильной камере. Материалы республиканской 17-междисциплинарной дистанционной онлайн конференции на тему «Научно-практические исследования в Узбекистане». Часть-16, Тошкент, 2020г. Стр.74-76.
19. Шамсиев К.С. Технологическая обработка целлюлозы и её свойства как объекта сушки в закрученных потоках теплоносителя. “Электр энергиясини ишлаб чикариш, узатиш ва таксимлаш хамда ундан окилана фойдаланишнинг долзарб муоммалари” мавзусида республика илмий-техникавий анжуман. Тошкент. 2020 й. Стр.28-30.
20. Shamsiyev K.S. Issues of cotton cellulose and its properties as an object of technological processing. E3S Web of Conferences. Vol. 216, 2020.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом.*

УДК 662.998.001.24

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ**

А.И. Анарбаев, М.А. Короли, А. Бабобеков

Ushbu maqolada Markaziy Osiyo mintaqasidagi kontinental iqlimi bo'lgan hududlar uchun kun va mavsum davomida sezilarli darajada o'zgarishi mumkin bo'lgan qurilish elementlarining issiqlik inertsiasini va shunga mos ravishda harorat va issiqlik oqimlarining o'zgarish dinamikasini hisobga oladigan usul keltirilgan. Ko'rsatilgandek, bu holda elementlarning statsionar rejimlarga erishish vaqti quyosh nurlanishining kelishi davomligi bilan bir xil darajada bo'lishi mumkin.

В данной статье приведен метод, учитывающий тепловую инерционность элементов зданий и соответственно динамику изменения температур и тепловых потоков, которые для районов с континентальным климатом региона Центральной Азии могут заметно изменяться в течение дня и суток. Показано, что при этом время выхода элементов на стационарные режимы может быть одного порядка с периодичностью поступления солнечного излучения.

This article presents a method taking into account the thermal inertia of building elements and, accordingly, the dynamics of changes in temperatures and heat flows. For regions with a continental climate in the Central Asian region weather can change significantly during the day and season. There is shown that, in this case, the time for the elements to reach stationary modes can be of the same order of magnitude as the frequency of solar radiation arrival.

Одной из основных задач теплоизоляции зданий является обеспечение минимальных тепловых потерь в зимнее время и защита внутренних помещений от наружного теплового потока в летнее время. Для конкретных климатических условий необходимо проведение расчетов параметров теплоизолирующих элементов зданий с учетом их тепловой инерционности, которая определяет динамику изменения в них температур, а следовательно, и их тепловые потери. Процессы низкотемпературного теплообмена имеют место во многих природных процессах, а также являются определяющими при установлении температурного режима в жилых зданиях и сооружениях, а также в солнечных низкотемпературных установках. Задача исследования процессов низкотемпературного теплообмена приобрела в настоящее время особую важность в связи с проблемами энергосбережения, в частности с задачами уменьшения тепловых потерь в жилых и производственных зданиях – в основном через стены.

В настоящее время тепловые характеристики зданий и сооружений проектируются по опытным данным, полученным за большой период их эксплуатации [1÷8].

В последнее время в связи с задачами энергосбережения возникли новые конструкции зданий, включающих теплозащитные элементы. Это требует

развития методик нормирования таких зданий. В связи с этим возникает задача теплового анализа зданий. Это требует развития методик их теплового расчета. Так наряду с развитием стационарных моделей особенно важно развитие и разработки нестационарных моделей таких сооружений. Эти стационарные и нестационарные задачи относятся к фундаментальным проблемам теплотехники и требуют развития существующих методов. В первую очередь это развитие численных моделей стационарных и нестационарных малоинтенсивных тепловых процессов.

Исследования должны включать решение следующих задач [9]:

- i) Составление методики учета нестационарности процессов климатических факторов на температурные режимы в здании;
- ii) Анализ температурных режимов зданий в условиях нестационарности процессов климатических факторов (наружной температуры, солнечной радиации);
- iii) Оптимизация теплотехнических параметров теплоизолирующих элементов зданий.

Для оценки температурных режимов теплоизолирующих элементов зданий (стены) рассмотрим вначале их тепловую схему. С теплотехнической точки зрения любое здание можно характеризовать следующими параметрами (см. рис. 1).

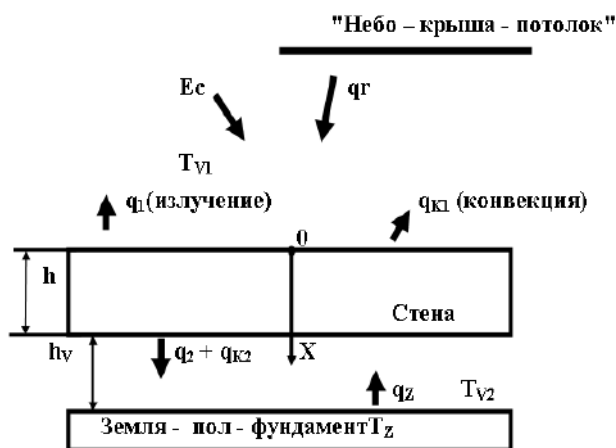


Рис.1. Тепловая схема здания (этажа)

К общим параметрам, характеризующим теплотехнические характеристики зданий можно отнести: габариты здания – длина A , ширина – B и высота – H ; внутренний объем – $V = A' \times B' \times H'$ (длина A' , ширина – B' и высота – H'); наружная площадь стен – $S_C = 2 \times (A+B) \times H$; наружная площадь крыши в пределах габарита здания $S_K = A \times B$; площадь фундамента – $S_\Phi = A \times B$; толщина стен – h_C ; толщина потолка – h_D ; толщина фундамента – h_Φ .

Учитывая, что толщина стен много меньше габаритов здания рассмотрим вначале одномерную нестационарную модель (см. рис.1). Отметим, что, как было указано выше необходимо рассматривать сопряженную задачу (переменной является температура воздуха в помещении), а в [10] для открытой модели рассматривалась задача с постоянными граничными условиями.

Схема решения задачи таким образом формально отличается только граничными условиями, поэтому рассмотрим более детально схему сопряжения

В общем случае уравнения модели включают:

Условия однозначности задачи: - *начальные условия*

В начальный момент времени, при $\tau=0$

$$T(0, x) = T_0 \quad (1)$$

T_0 - начальная температура стены: - *граничные условия*

при $x=0$

$$\alpha_1 \cdot E_c + \lambda \cdot (\partial T / \partial x) = \alpha_{K1} \cdot (T_{Cx=0} - T_{V0}) + \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_{Cx=0}^4 - T_R^4) \quad (2)$$

где $T_{x=0}$ – температура поверхности элемента при $x = 0$.

при $x=H$

$$-\lambda (\partial T / \partial x) = \alpha_{K2} \cdot (T_{Cx=H} - T_V) + \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot (T_{Cx=H}^4 - T_Z^4) \quad (3)$$

где E_c – плотность падающего на стенку солнечного излучения; α_1, ε_2 – коэффициенты поглощения стены; α_{K1}, α_{K2} – коэффициенты конвективной теплоотдачи на лицевой и тыльной поверхностях элемента; T_{V0}, T_V – температуры воздуха снаружи и внутри здания; σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); T_R – температура "неба", T_C – температура стенки; T_Z – температура поверхности "Земли". Как было указано выше, в общем случае имеем сопряженную задачу, т.е. неизвестной является также температура воздуха внутри здания T_V . Один из известных в теплопередаче способов её исключения из системы уравнений это предположение о том, что передача тепла между стенкой и полом, другими стенками происходит не конвекцией, а теплопроводностью. При этом, как известно, вводится понятие эквивалентной теплопроводности воздушного слоя внутри здания. Второй способ, определение T_V из уравнения баланса

$$T_V = Q / (m_V c_V) + t_0 \quad (4)$$

где Q – количество тепла, переданное стенкой и полом воздуху внутри здания за время τ ; m_V, c_V – масса и теплоемкость воздуха.

Для одномерного случая (4) можно записать в виде

$$T_V = \int (q_{K2} + q_{KZ}) d\tau / (h_V c_V \rho_V) + t_0 \quad (5)$$

Решается численно, методом конечных разностей, используя неявную схему. Эта система уравнений (1÷5), включающая теплообмен излучением и сопряженные граничные условия не поддается аналитическому решению. Её сложность заключается так же в том, что для всех элементов приемного устройства, кроме теплоприемника, число подобия Био Bi находится в пределах $0.1 < Bi < 100$, т.е. распределение температур в этих элементах зависит от времени. В связи с указанным будем решать её численно, методом конечных разностей, используя неявную схему [11]. Эта схема для нагрева пластины, без учета членов, характеризующих излучение и сопряженность температур достаточно подробно рассмотрена в [12]. В общем случае для определения членов, характеризующих излучение с поверхностей элемента и температур в воздушном промежутке необходимо на каждом шаге по времени итерации однако, как показали расчетные оценки при соответствующем выборе шага по времени $\Delta\tau$ различие между потоками излучения при температурах T_i^j, T_i^{j-1} незначительны. Эта модель и алгоритм расчета были реализованы в программной среде Mathcad.

На первом этапе работы модель была реализована для одномерного случая с сопряжением по температуре воздуха внутри здания. Характерные результаты исследования приведены на рис.2, где t_1 , t_2 – наружная и внутренняя температура стенки толщиной H , t_B , t_H - температуры воздуха внутри и снаружи здания, E_c - плотность падающего солнечного излучения, расстояние между полом и потолком $h_v=1$ м; t_r , t_z – температуры "неба" и пола; E_1 и E_2 поглотательная (излучательная) способность стены.

О достоверности нестационарной модели говорит то, что, как и приведено в учебниках по теплопередаче, должна изменяться фаза температурных волн по толщине, как видно это действительно имеет место (см. рис. 2 ход температур наружной t_1 и внутренней t_2 поверхностей стенки).

В учебниках по теплопередаче [4] считается, что кривые нагрева и охлаждения стенки идентичны, однако на самом деле (см. рис.2, например для t_1) они имеют различный характер, так скорость охлаждения в начале более высока, чем скорость нагрева, а далее она резко уменьшается.

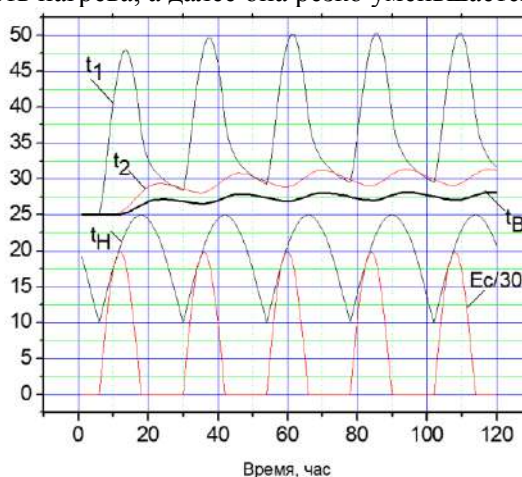


Рис.2 Динамика изменения температур стенки и воздуха в помещении при переменных температурах и солнечной радиации снаружи при $E_{cmax}=600$ Вт/м², $t_0=25$ °С, $t_{Hmin}=10$ °С, $t_{Hmax}=25$ °С, $t_r=25$ °С, $t_z=25$ °С, $E_1=E_2=0,8$, $h_v=1$ м, $H=0,3$ м, бетон ($\rho=3000$ кг/м³, $\lambda=1,28$ Вт/м·К, $c=1130$ Дж/кг·К).

Как видно максимумы температур элементов довольно существенно различаются от максимумов E_c и t_H . Причем установившийся режим наступает практически только к концу вторых суток.

Аналогичные исследования были проведены и для "зимнего" периода - $E_{cmax}=300$ Вт/м², $t_0=25$ °С, $t_{Hmin}=-10$ °С, $t_{Hmax}=0$, $t_r=0$, $t_z=10$ °С. Причем оказалось, что в этих условиях стационарная температура воздуха в помещении для стены с лучшими в два раза теплоизоляционными свойствами $\lambda=0,64$ Вт/м·К оказывается примерно на 2,5 °С меньше, чем для стены с $\lambda=1,28$ Вт/м·К, т.е. даже такая первичная модель показывает, что при выборе теплоизоляции необходимо учитывать необходимые температурные условия работы, особенно это важно для проектирования низкотемпературных солнечных установок.

Отметим, что одна из основных задач теплоизоляции зданий это обеспечение минимальных теплопотерь в зимнее время и защита внутренних

помещений от наружного теплового потока в летнее время. При этом за основную обобщенную характеристику теплоизоляции можно считать баланс тепла на наружной поверхности стен зданий. Результаты этих исследований приведены для двух сезонов Зима и Лето на рис.3.

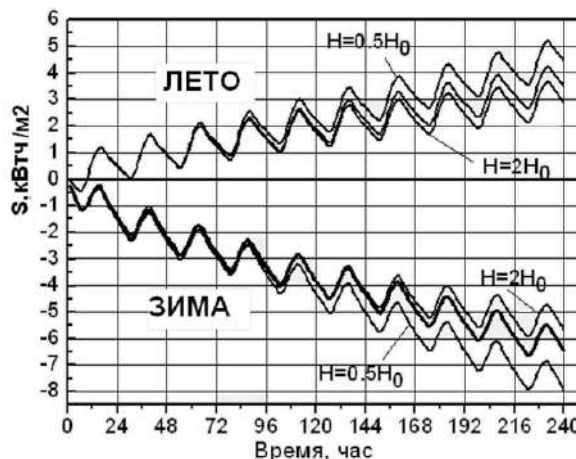


Рис.3. Динамика теплового баланса здания в летнее и зимнее время при различных толщинах стенки

Результаты численного моделирования показывают, что, в общем, тепловой баланс зданий имеет существенные особенности, которые необходимо учитывать при разработке норм на теплоизоляцию зданий.

В учебниках по теплопередаче [13-14] считается, что кривые нагрева и охлаждения стенки идентичны, однако на самом деле имеют различный характер, так скорость охлаждения в начале более высока, чем скорость нагрева, а далее она уменьшается. Это обусловлено тем, что известные данные по нагреву (охлаждению) [15] не учитывают роли теплообмена излучением.

Литература

1. Y.H. Zhao, H.Y. Wang, et al, Heat transfer characteristics of flat micro-heat pipe array, Journal of Chemical Industry and Engineering (China). (2011) 336-343.
2. S. Kratter, Development of an integrated solar home system, Solar Energy Materials & Solar Cells. 82 (2004) 119-130.
3. Y.J. Wang, X.S. Zhang, Characteristic research and development of solar assisted heat pump water heating system, Refrigeration and airconditioning. 7 (2007) 13-17.
4. J.P. Chyng, C.P. Lee, B.J. Huang Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater, Solar Energy. 74(2003) 33-44.
5. H.D. Fu, G. Pei, J. Ji, Long H, Zhang T and Chow T.T. Experimental study of a photovoltaic solar-assisted heat-pump/heat-pipe system, Thermal Engineering. 40 (2012) 343-350.
6. B.J. Huang, J.P. Chyng. Performance characteristics of integral type solar-assisted heat pump, Solar Energy. 71 (2001) 403-414.
7. R.A.Zakhidov, A.I.Anarbaev. Prospects for the further development of solar air-conditioning systems in building. Applied Solar Energy.49 (2013) 251-256.

8. G. Wang, Z.H. Quan, Y.H. Zhao, et al, Solar-air composite heat source heat pump hot water system, Journal of Chemical Industry and Engineering (China). 65 (2014) 1033-1039.

9. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Короли М.А. Анализ теплоэффективности зданий с учетом солнечной радиации с использованием метода конечных дифференциалов. Доклад на научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики». ТГТУ. 18-20.12.2006.

10. Клычев Ш.И., Эркинбаева Г.Г., Алдашева Н.Т., Саткулов Т.Т., Захидов Р.А., Бахрамов С., Исманжанов А. Теплотехнические характеристики солнечных установок типа “горячий ящик”. Гелиотехника, 2003, №1, сс.45-49.

11. Теплоэнергетика и теплотехника, кн.2, Справочник под ред. Григорьева В.А. и Зорина В.М., М. Энергоатомиздат 1988, 557 с.

12. Леонтьев А.И. Теория теплообмена. М. Выс. школа. 1979, 250 с.

13. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. 2012

14. Шихов А.Н., Шихов Д.А. Архитектурная и строительная физика. Учебное пособие. Пермь. ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА 2013. 375 с.

15. Хижняков С.В. Практические расчеты тепловой изоляции (для промышленного оборудования и трубопроводов). М. Энергия. 1976. 200 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

UDK 621.314

KABLO YOĞUN RADYAL DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KAPASİTİF AKIM TEMELLİ HATALI AÇMALARIN İNCELENMESİ

Mert Bekir ATSEVER, Mehmet Hakan HOCAOĞLU

Hızla artan enerji talebinin karşılanması ve arz güvenliğinin sağlanması için özellikle metropol şehirlerde havai hatlar yerine sıklıkla ve yoğunlukla yeraltı kablosu kullanılmaktadır. Bu durum getirdiği yararların yanı sıra koruma felsefesinin güncellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada kablo yoğun radyal şebekelerdeki kapasitif akım temelli hatalı açma problemi 62-baralı dağıtım şebekesinde yönlü ve yönsüz koruma pratiği için incelenmiş sonuçlar havai hat kullanılması durumu ile kıyaslanmıştır.

Для удовлетворения быстро растущего спроса на электроэнергию и обеспечения безопасности её поставок, особенно в столичных городах, вместо воздушных линий часто и интенсивно используются подземные кабели. Это требует обновления философии защиты сетей, а также преимуществ, которые она приносит. В этой статье приведены результаты исследований проблем аварийного отключения из-за емкостного тока в кабельных радиальных сетях, которая была изучена для применения направленной и неориентированной защиты в распределительной сети с 62 шинами. Результаты исследований сравнивались с состоянием использования воздушных линий.

In this study, a 62-bus sample distribution system is modelled in accordance with its parameters with the help of EMTP (Electro Magnetic Transient Program). The performances of non-directional and directional earth fault relays during SPEF were investigated in the time domain. Two different scenarios are determined for the 62-bus system. In the first scenario, the system is fully equipped with overhead lines. In the second scenario, the system is fully equipped with underground cables. Thus, the protection settings for the sample network are detailed according to the non-directional and directional earth fault relays situation of the sympathetic tripping problem, which is inevitable in the cable-dense network.

GİRİŞ

Radyal dağıtım şebeke topolojisi; işletme, bakım ve koruma açısından ring şebeke yapılarına göre daha avantajlıdır. Bu nedenle dağıtım şebeke operatörleri sistemlerini mümkün mertebe radyal olarak işletmeyi tercih etmektedir. Dağıtım şebekesinin etkin bir şekilde korunması ve arz güvenliğinin en üst seviyede tutulması için dağıtım şebeke operatörlerinin bazı kriterleri sağlaması elzemdir. Bunlar; seçicilik, güvenlik, güvenilirlik ve hız şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte dağıtım şebekesinin işletilmesi sırasında tahmin edilemeyen ve oluşumu önlenemeyen arızalar gerçekleşmektedir. Tek Faz Toprak (TFT) arızası diğer arıza tipleri ile kıyaslandığında en çok gerçekleşen arıza tipidir.

TFT arızası toprakla direkt temaslı olduğundan dolayı; nötr topraklama tipi toprak arızasına karşı korumada oldukça önem taşımaktadır. Dünya genelinde pek çok

farklı nötr topraklama uygulaması bulunmaktadır. Bu durum, üniversal bir koruma yönteminin geliştirilmesini veya bir röle ayarının tüm durumlarda koruma yapabilmesini imkânsız kılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan nötr topraklama tipleri; nötr noktası izole sistemler, Peterson bobini üzerinden topraklı sistemler, nötr noktası direnç veya reaktör üzerinde topraklı sistemler ve nötr noktası direkt topraklı sistemler olarak sıralanabilir [1]. Nötr noktası izole sistemler ve Peterson bobini üzerinden topraklı sistemler TFT arızası sırasında oldukça düşük akıma neden olması ve arıza altında çalışmaya devam etmesinden dolayı Kıta Avrupası'nda tercih edilmektedir [2]. Bununla birlikte arıza esnasında sağlıklı fazlarda aşırı gerilimler görülmektedir. Bu durum sistemin izolasyon seviyesinin zayıf olduğu bir noktada ikinci bir TFT arızasını tetikleyebilir. Bu sebeple arıza sistemden hızlı ve seçici bir şekilde temizlenmelidir. Arıza anında TFT akımı oldukça düşük olduğundan dolayı bu topraklama tipleri için geçici rejim temelli (İng: Transient-Based) algoritmalar geliştirilmiştir [3]. Geçici rejim temelli algoritmaların haberleşmeye ihtiyaç duyması, yüksek örnekleme gerektirmesi, arıza oluş anına bağlı olması ve gerçek şebekede uygulama zorluğu gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Enerji talebinin hızla artması ve şehirleşme ile birlikte özellikle metropol şehirlerde havai hat yerine yeraltı kablosu kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu durum sistemin sahip olduğu kapasitif akım seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Her ne kadar kapasitif akımlar gerilim düşümüne pozitif etki yapsa da sistemin korunmasını zorlaştırmaktadır. Kapasitif akımların arıza noktası algoritmalarına etkisi [4] numaralı çalışmada, aşırı akım röle koordinasyonu çalışmalarına etkisi [5] numaralı çalışmada incelenmiştir. TFT arızası sırasında sistemde dolaşan kapasitif akımlar, arızanın olmadığı bölgede bulunan toprak rölesinin arıza algılamasına ve ilgili kesicinin açma yapmasına neden olmaktadır. Bu olgu litaretürde hatalı açma (İng: Sympathetic trip) olarak isimlendirilmiştir [6] Hatalı açma ile arızanın olmadığı bölge sistemden izole edilmekte ve bazı durumlarda arıza sistemde kalabilmektedir. Böylece şebeke işletmecisinin Satılmayan Enerji (İng: Energy Not Sold, ENS), Sistem Ortalama Kesinti Frekansı (İng: System Average Interruption Frequency, SAIFI), Sistem Ortalama Kesinti Süresi (İng: System Average Interruption Duration, SAIDI) gibi kalite endekslerini olumsuz etkilemektedir.

Sistemin seçici şekilde korunabilmesi noktasında, havai hatların yoğun kullanıldığı dönemlerden gelen bir alışkanlık olarak, yönsüz aşırı akım röleleri kullanılması seçici koruma sağlayamamaktadır. Sağlıklı fiderlerde yaşanan hatalı açma problemin ana kaynağının kaynağa doğru akmakta olan kapasitif akımlar olması yönlü toprak aşırı akım koruma rölesi kullanımının bir çözüm önerisi olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır. Konvansiyonel yönlü toprak aşırı akım koruma röleleri arızanın yönünü tayin edebilmek için gerilimin açısına, dolayısıyla gerilim trafosuna ihtiyaç duymaktadırlar [7]. Bu durum yönlü koruma pratiğini pahalı hale getirmektedir. Son zamanlarda akım temelli koruma algoritmalarının da geliştirildiği bilinmektedir [8]. Ancak hangi algoritma kullanılırsa kullanılsın uygun açma ayarının belirlenmesi ve röleye tanıtılması gerekmektedir. Kullanılan koruma algoritmalarının ve röle açma ayarlarının dağıtım şebekesinin topolojik yapısına uygunluğu senaryo bazlı değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada 62-baralı örnek dağıtım sistemi EMTP (Electro Magnetic Transient Program) yardımıyla parametrelerine uygun olarak modellenmiştir. TFT arızası sırasında yönsüz ve yönlü aşırı akım rölelerin performansları zaman

domeyninde incelenmiştir. 62-baralı sistem için iki farklı senaryo belirlenmiştir. Birinci senaryoda sistem tamamen havai hatlarla donatılmıştır. İkinci senaryoda ise sistem tamamen yeraltı kablolarıyla donatılmıştır. Böylece kablo yoğun şebekede kaçınılmaz olan hatalı açma probleminin yönsüz ve yönlü aşırı akım röle durumuna göre koruma ayarları örnek şebeke için detaylandırılmıştır. Makale şu sıra ile kurgulanmıştır. İkinci kısımda kapasitif akım temelli hatalı açmalar detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü kısımda 62-baralı örnek dağıtım sisteminin TFT arıza durumu incelenmiştir. Sonuçlar ise en son kısımda tartışılmıştır.

KAPASITIF AKIM TEMELLI HATALI AÇMA PROBLEMİ

Radyal dağıtım en basit sistem olmasının yanı sıra Türkiye'de ve dünyanın pek çok ülkesinde en yaygın kullanılan dağıtım sistemidir. Yük akışı kaynaktan yüke olmak üzere tek yönlüdür. Tek yönlülük sayesinde radyal dağıtım sistemleri uzun süre yönsüz aşırı akım röleleri ile seçici bir şekilde korunabilmiştir [7]. Dağıtım sistemlerine dağıtık üretim eklenmesi, havai hat yerine yeraltı kablolarının kullanılması, sistemde beslenen büyük güçlü motorların artması radyal dağıtım sistemlerinde kullanılan rölelerin tiplerinin ve/veya ayarlarının güncellenmesini zorunluluk haline getirmektedir [9]-[11]. Radyal dağıtım sistemlerinde arıza olmayan bölgede bulunan rölelerin de arıza sinyali üretmesi ve ilgili kesicinin açma yapmasına neden olmaktadır. Taranan literatürde hatalı açma probleminin üç farklı tanımı bulunmaktadır.

Tanım 1: Destek koruma rölesinin primer röleden önce açma sinyali üretmesi [12].

Tanım 2: Herhangi bir rölenin destek koruma rölesinden önce açma sinyali üretmesi [12].

Tanım 3: Sağlıklı fiderde bulunan rölenin arızalı fiderde bulunan röle ile aynı anda veya daha önce açma sinyali üretmesi [13].

Tanımlardan ilk ikisi faz arızalarını kapsarken üçüncü tanım toprak kısa devresini kapsamaktadır. İki fiderli örnek bir kablo sisteminin faz toprak kapasiteleri ile birlikte eş değer devresi Şekil 1'de verilmiştir. Hat başında iki adet toprak aşırı akım rölesi kullanılan örnek sistemde seçici korumanın sağlanması durumunda birinci fiderde meydana gelecek herhangi bir TFT arızası durumunda sadece birinci fiderde bulunan toprak aşırı akım rölesinin çalışması beklenmektedir.

Fakat bazı durumlarda birinci fidere ek olarak ikinci fiderde bulunan toprak aşırı akım rölesi de arızayı algılayabilmekte ve hatalı olarak açma sinyali üretebilmektedir. Dağıtım şebekesinde hatalı açmaların sebepleri; kesici anahtarlaması, gerilim yükselmeleri, yüksek oranda dağıtık üretim kullanılması, motorların başlatma akımları, aynı trenşadan giden kabloların ortak kublaj etkisi ve kabloların kapasitif akımları şeklinde sıralanabilir. Bu sebeplerin ayrı ayrı analiz edildiği çalışmalar literatürde bulunabilmektedir [11].

Bu çalışma kapsamında yeraltı kablolarının kapasitif akımı kaynaklı hatalı açmalar üzerine odaklanılmış olup diğer parametreler incelenmemiştir. Dengeli bir sistemde; faz akımlarının vektörel toplamı sıfırdır. TFT arızası sırasında fazlarda dengesizlik oluştuğu için toprak röleleri tarafından sıfır bileşen akım I_0 ölçülür [14]. Ölçülen akım değeri rölenin eşik değerinden yüksek ise röle başlatma sinyalini alır ve ayarlandığı zaman sonrasında açma sinyalini üretir. Kapasitif akım temelli açma probleminin denklemleri Denklem (1)-Denklem (4) ile ifade edilebilir [15].

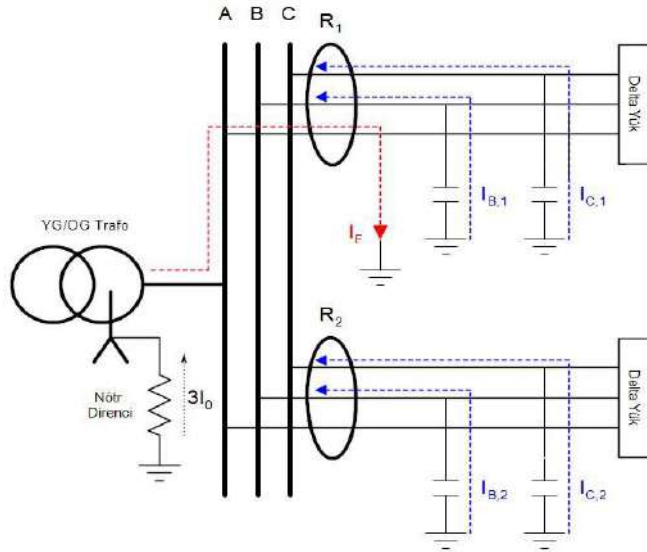
$$\bar{I}_F = 3\bar{I}_0 + \bar{I}_{B,1} + \bar{I}_{B,2} + \bar{I}_{C,1} + \bar{I}_{C,2} \quad (1)$$

$$3\bar{I}_{0,R_1} = \bar{I}_F - \bar{I}_{B,1} - \bar{I}_{C,1} \quad (2)$$

$$3\bar{I}_{0,R_2} = -(\bar{I}_{B,2} + \bar{I}_{C,2}) \quad (3)$$

$$3\bar{I}_0 = 3\bar{I}_{0,R_1} + 3\bar{I}_{0,R_2} \quad (4)$$

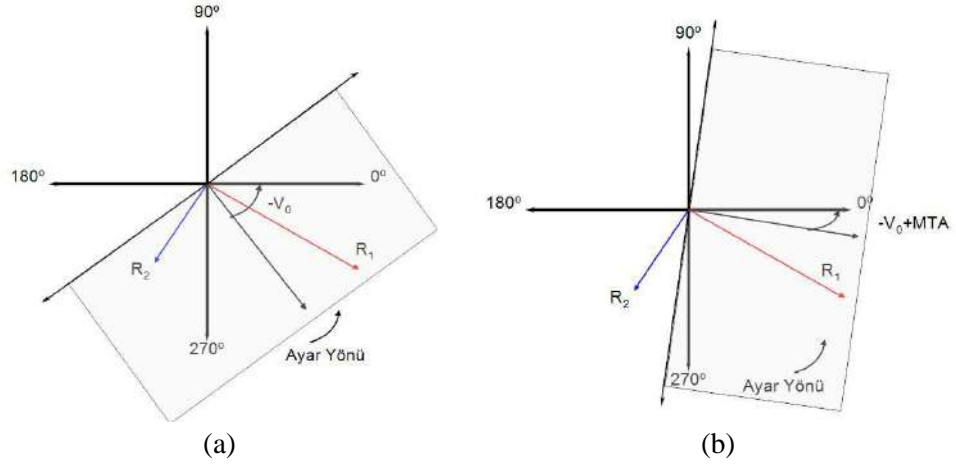
Şekil 1'de arıza akımının genliği \bar{I}_F ; $3\bar{I}_0$ nötr akımı, $I_{B,n}$ ve $I_{C,n}$ n. fiderdeki kapasitif akımlar olmak üzere Denklem (1) ile hesaplanabilmektedir. Arıza fider başında bulunan rölenin gördüğü akım genliği $3\bar{I}_{0,R_1}$ Denklem (2) ile, sağlıklı fiderde görülen akımın genliği $3\bar{I}_{0,R_2}$, Denklem (3) ile hesaplanmaktadır. Arızalı fider, sağlıklı fider ve nötr noktası ilişkisi Denklem (4) ile gösterilmiştir.



Şekil 1. TFT arızası sırasında akım dağılımları ve rölelerde okunan akımlar

Sistemin nötr topraklama direnci, kullanılan kablonun tipi ve metrajı ikinci fiderde görülen $3\bar{I}_{0,R_2}$ akımının genliğinin artmasına, buna bağlı olarak toprak aşırı akım rölesinin eşik değerini aşılmasına ve R_2 rölesinin açma sinyali üretmesine sebep olabilir. Problemin giderilmesi için uygulanan ilk yöntemlerden birisi hatalı açmaya sebebiyet veren rölelerin eşik değerlerinin arttırılmasıdır. Bu yöntem basitliğine rağmen sistemi körleştirdiği için efektif değildir. Diğer yöntem ise yönlü toprak aşırı akım rölesi kullanılmasıdır. Bu yöntem ile akım genlik bilgisinin yanı sıra açılı bilgisi de kontrol edilerek hatalı açmalar engellenmektedir.

Konvansiyonel olarak kullanılan yönlü koruma algoritması bir akım-gerilim kıyaslaması olan ortak baranın sıfır sıra gerilimi V_0 ile her bir fidere ait I_0 akımlarının vektörel kıyaslamasıdır. Bu yöntem literatürde Gerilim Polarizasyonlu Yönlü Eleman (GPYE) yöntemi olarak bilinmektedir. Ayar değerlerinin doğru hesaplanması durumunda GPYE başarılı olarak sahada uygulanmakla birlikte gerilim trafosuna ihtiyaç duyması hem fiziksel yerleşim hem de maliyet yönünden dezavantajdır. Bu dezavantaj dağıtım şebeke işletmecilerini mümkün oldukça yönsüz koruma pratiğinde kalmaya zorlamaktadır. Dağıtım şebekeleri için belli kablo mesafesi ve nötr topraklama direnci için yönsüz korumanın etkili bir şekilde kullanabileceği aralıklar mevcuttur [16].

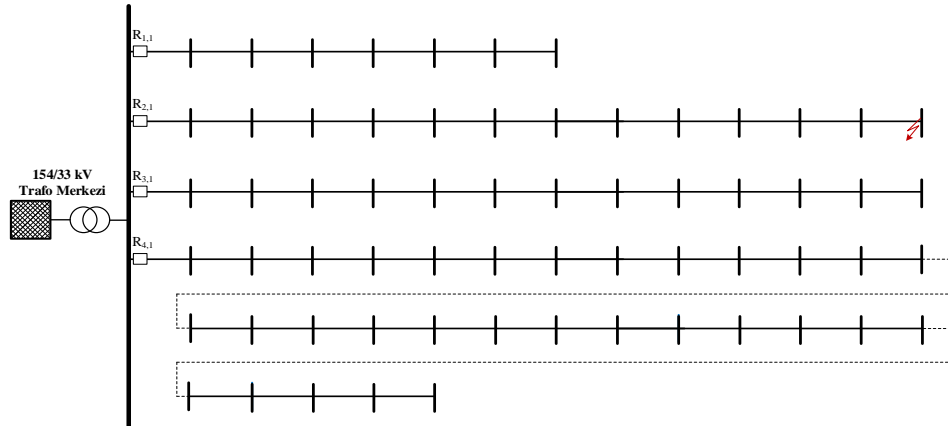


Şekil 2: GPYE yönteminin açI diyagramı a) MTA'sız b) MTA'lı

GPYE yönteminin uygulanması Şekil 2 ile gösterilmiştir. Ortak baradan okunan V_0 geriliminin açısı $+90^\circ$ ile -90° eklenerek kanatları oluşturmaktadır. Rölenin çalışma $\angle -V_0 + 90^\circ$ ile $\angle -V_0 - 90^\circ$ arasındadır. Bu sınırlar MTA (Maximum Torque Angle, Azami Tork açısı) ayarı yapılmadan elde edilen sınırlardır. MTA tabiri mekanik rölelerden kalma isimlendirmedir. Dijital rölelerde MTA'ya Röle Karakteristik Açısı (RKA) da denilmektedir. MTA ayarı yapılmadan elde edilen çalışma bölgesinde hem arızalı fiderin I_0 vektörü hem de sağlıklı fiderin I_0 vektörü bulunduğu Şekil 2.a'dan görülebilmektedir. Bu durumda yönlü rölenin yön ayırt ediciliği ortadan kalkmış ve seçici koruma sağlanamamıştır.

MTA ayarı sonrasında yeni çalışma bölgesinin $\angle -V_0 + 90^\circ + MTA^\circ$ ile $\angle -V_0 - 90^\circ + MTA^\circ$ arasında değiştiği ve bu durumda arızalı fiderin I_0 vektörünün çalışma bölgesi içerisinde, sağlıklı fiderin I_0 vektörünün ise çalışma bölgesi dışında kaldığı Şekil 2.b'den görülebilmektedir. Seçici koruma noktasında uygun MTA ayarının önemi Şekil 2'den net olarak görülebilmektedir. Örnek bir test şebekesi için eğri temelli açI ayar önerisi [17] numaralı çalışmada yayınlanmıştır. Ayrıca son zamanlarda MTA ayarının optimize edilerek minimum açI değerinin bulunması çalışmaları literatürde bulunmaktadır [18].

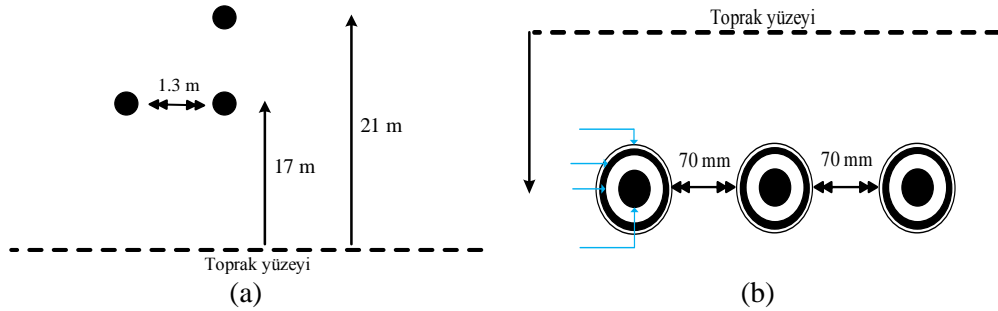
TRAF0 MERKEZİ UYGULAMASI



Şekil 3: 62 baralı radyal dağıtım şebekesi

Bu bölümde 62-baralı örnek trafo merkezinin yönlü ve yönsüz toprak koruma performansı incelenecektir. Örnek TM'de 154/33 kV gerilim seviyesinde Yn/Yn bağlantı grubuna sahip, yüksek gerilim tarafı direkt topraklı orta gerilim tarafı ise 20 Ω direnç üzerinden topraklanmıştır. Trafo merkezinin 4 adet fider çıkışı bulunmaktadır. Fider çıkışlarında 240 mm² tek damarlı XLPE yeraltı kablosu kullanılmıştır.

Kapasitif açma probleminin daha da anlaşılır olması adına trafo merkezi öncelikli olarak tamamen havai hat şeklinde modellenmiştir. Kullanılan hat yapılarının geometrik verisi Şekil 4 ile gösterilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi kablolar yerden bir metre derine aralında 70 mm mesafe olacak şekilde gömülmüştür.

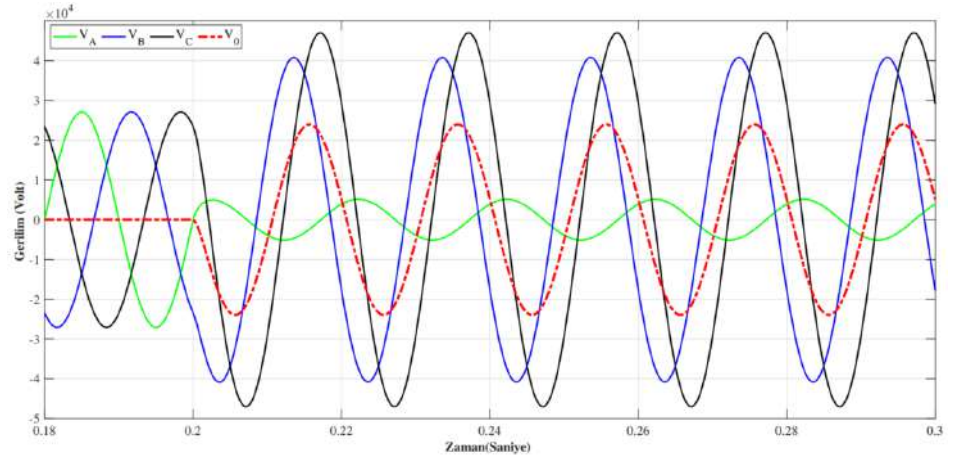


Şekil 4: Hat yapısının geometrik verisi a) havai hat b) yeraltı kablosu.

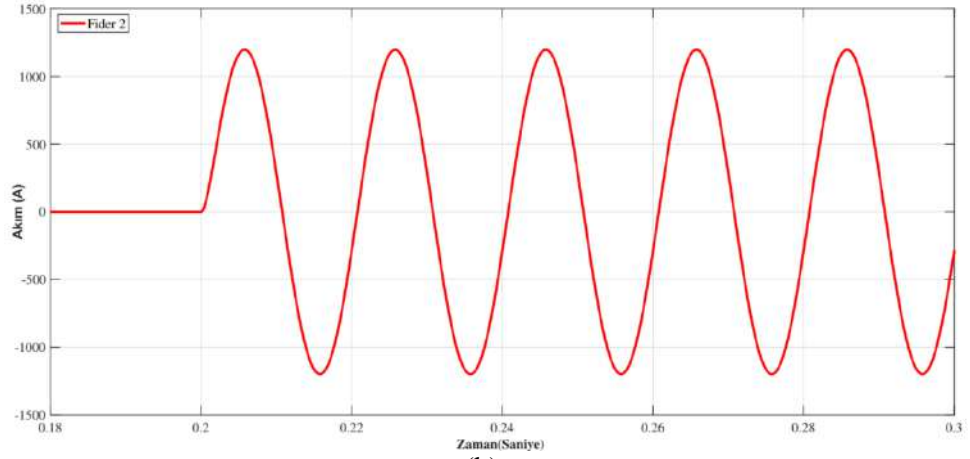
İkinci fiderin sonunda TFT arızası oluşturulmuş ve tüm röle noktalarından akım ve gerilim değerleri okunmuştur. Şebekenin tamamen havai hattan oluştuğu senaryo için hat başlarında bulunan dört röleye ait ortak baradaki gerilim değişimleri ve fider başlarında görülen sıfır sıra akımların değişimleri zaman domeyninde gösterilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü gibi $t=0.2$ saniyede TFT arızası gerçekleşmiştir. TFT arızası ile birlikte arızalı fazın gerilimi düşerken sağlıklı fazların gerilim değerleri artmaktadır. Bu durum TFT arızasının en önemli tehlikelerinden birini oluşturmaktadır. Sağlıklı fazlarda artan bu gerilim sistemin izolasyon seviyesine bağlı olarak, izolasyonun yıprandığı bir noktada ikinci bir fazda TFT arızası oluşmasına sebebiyet verebilir. TFT arızasının gerçekleşmesi ile birlikte ortak barada V_0 gerilimi oluştuğu açıkça görülmektedir. V_0 gerilimi sistemde TFT arızası oluştuğu yönünde oldukça faydalı bir indikatör olmak ile birlikte arızanın hangi fiderde olduğu bilgisini vermemektedir. Sadece V_0 gerilim temelli bir koruma felsefesi uygulandığında tüm fiderlerde arıza tespit edilerek selektif olmadan tüm fiderler sistemden izole edilecektir.

Selektif koruma sağlamak için her bir fider başından I_0 akım bilgisi gerekmektedir. İkinci fiderde görülen I_0 akımının zamana göre değişimi Şekil 5.b ile gösterilmiştir. Yaklaşık 1000A peak değerinden yüksek genlikli I_0 akımı görülmüştür. Bu durumda arızalı fider kolayca tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte, sağlıklı fiderlerde (Fider 1, Fider 3 ve Fider 4) TFT sırasında sistemde dolaşan kapasitif akımlardan dolayı I_0 akımı görüldüğü Şekil 5.c'den anlaşılmaktadır.

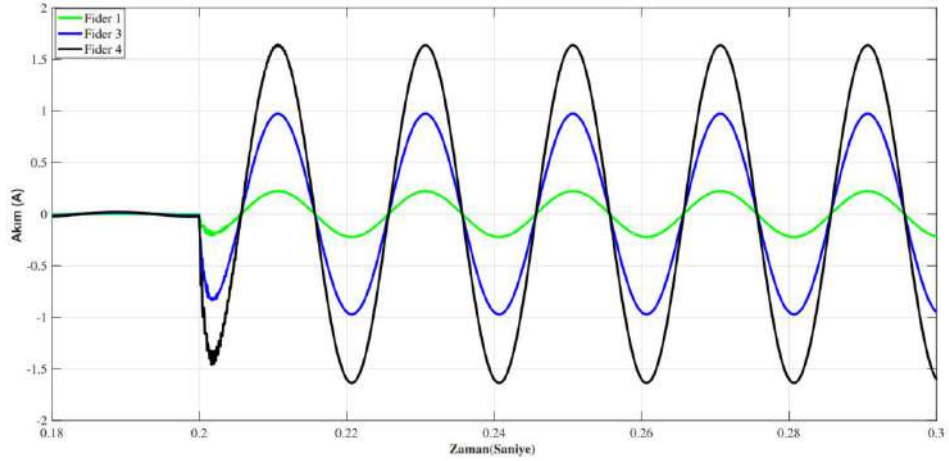
Şekil 5.c incelendiğinde, TFT arızasının oluşmasıyla birlikte tüm fiderlerde I_0 akımı oluşmaktadır. Oluşan I_0 akım değeri yaklaşık olarak 1.5 A-peak olarak elde edilmektedir. Toprak eşik akım değerinin yaklaşık olarak nominal yük akımının %20'sine set edildiği düşünüldüğünde; sağlıklı fiderde hatalı açmaya sebebiyet verecek genlik değeri havai hat senaryosu gözlemlenmemektedir.



(a)

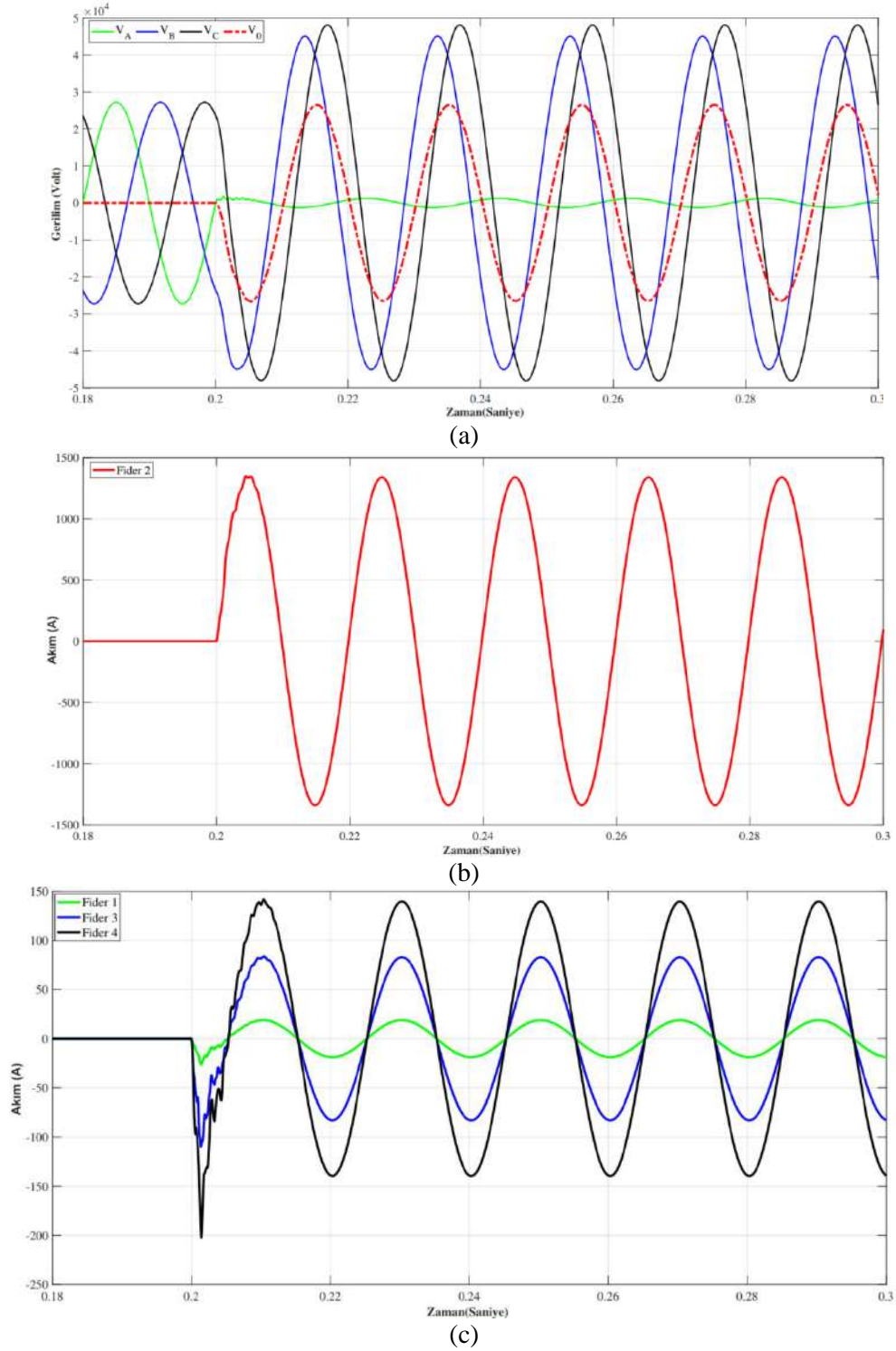


(b)



(c)

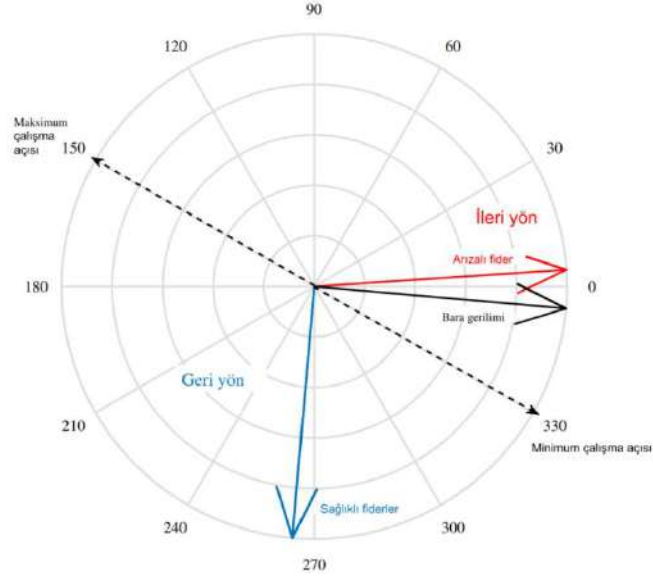
Şekil 5: Tamamen havai hat ile donatılmış şebekede TFT arızası sırasında akım ve gerilim değişimleri a) faz gerilimleri ve sıfır sıra bileşen b) arızalı fiderde görülen sıfır sıra akım c) sağlıklı fiderlerde görülen sıfır sıra akımlar



Şekil 6: Tamamen kablo ile donatılmış şebekede TFT arızası sırasında akım ve gerilim değişimleri a) faz gerilimleri ve sıfır sıra bileşen b) arızalı fiderde görülen sıfır sıra akım c) sağlıklı fiderlerde görülen sıfır sıra akımlar

62-baralı sisteminin tamamen 240 mm² tek damarlı XLPE yeraltı kablosu ile donatıldığı durumda TFT arızası sırasında ortak baradaki gerilim değişimleri ve fider başlarında görülen sıfır sıra akımların değişimleri zaman domeyninde Şekil 6 ile gösterilmiştir. Havai hat senaryosuna benzer olarak arızanın gerçekleştiği fiderde yüksek genlikli sıfır sıra akımı elde edilmiştir. Böylece arızalı fider kolayca tespit edilebilmektedir. Arızanın kolayca tespit edilmesine rağmen, sağlıklı fiderlerde sıfır sıra akım değişimleri incelendiğinde yüksek genlikli I₀ akım değerleri görülmektedir.

Bu durumda Fider 3 ve Fider 4; Fider 2 ile eş zamanlı olarak açma yapacaktır. Sonuç olarak arızalı bölgede olmamasına rağmen Fider 3 ve Fider 4 sistemden izole edilecektir. Kapasitif temelli hatalı açma probleminin çözümü olarak sunulan GPYE yönteminin 62-baralı radyal şebekeye uygulaması Şekil 7 ile gösterilmiştir. Şekil 7'de ikinci fiderde bulunan toprak rölesi çalışma bölgesinin içinde yer almaktadır. Bununla birlikte diğer röleler çalışma bölgesi dışında yer almaktadır. Böylece sağlıklı fiderlerde genlik değeri aşılsa dahi açma ile ikinci bir kontrol sağlanmıştır. Bu durumda sistemde sadece ikinci fider izole edilerek seçici koruma sağlanmıştır. Ayrıca yönlü koruma ile toprak eşik akım değerleri düşürülerek daha hassas koruma sağlanabilir. Fakat unutulmamalıdır ki bu yöntem oldukça maliyetli bir yöntemdir. Maliyetinin yanı sıra uygulamada uzmanlık isteyen bir koruma yöntemidir. Uygun olmayan MTA ayarı ile yönlü koruma yönsüz koruma gibi çalışabilir. Örneğin Şekil 7'de MTA ayarı ile birlikte çalışma bölgesi + 60° ile + 240° arasında olduğu durumda toprak eşik akım değerini aşan tüm röleler açma sinyali gönderecektir. Hat başında bulunan kesiciler aynı anda açma yaparak sistemin seçici korunmamasına neden olacaktır.



Şekil 7: 62-baralı radyal şebekede ikinci fiderde gerçekleşen TFT sonucu GPYE yönteminin sonuçları

SONUÇLAR: Bu çalışmada kabloların yoğun olarak kullanıldığı radyal dağıtım sistemlerinde kapasitif akım temelli hatalı açma problemi incelenmiştir. Problemin daha iyi kavranabilmesi adına 62-baralı radyal dağıtım sistemi tamamen kablolu sistem ve tamamen havai hatlı sistem olarak iki ayrı senaryoda modellenmiştir. TFT arızası sonucunda, açık bir şekilde kablo yoğun şebekede hatalı açma

problemi yaşanmıştır. Havai hat senaryosunda ise oldukça düşük şarj akımları ortaya çıktığı için herhangi bir hatalı açma problemi gözlenmemiştir. Dört fiderli radyal dağıtım sisteminde TFT arızası altında arızalı ve sağlıklı fiderlerlerin vektörel davranışları incelenmiştir. Hatalı açma probleminin giderilmesi noktasında bir çözüm yöntemi olan GPYE yöntemi kablolu sisteme uygulanmıştır. Böylece 62-baralı radyal dağıtım sistemi seçici bir şekilde korunmuştur. Ayrıca yönlü toprak aşırı akım rölelerinin uygun MTA ayarı yapılmaz ise yönsüz toprak aşırı akım rölesi şekilde çalıştığı gösterilmiştir.

Bu çalışma, modern dağıtım sistemlerindeki hatalı açma problemlerinin diğer sebeplerini de göz önüne alacak şekilde genişletilecektir. Özellikle dağıtıma gömülü üretim kaynakları ve paralel besleme hatlarının etkisi ileriki çalışmalarda incelenecektir. Farklı nötür topraklama pratiklerinin etkisi de ayrıca incelenecektir.

KAYNAKLAR

1. N. El-Sherif, "Ground-Fault Protection: All You Need To Know," in IEEE Transactions on Industry Applications, cilt. 53, no. 6, pp. 6047-6056, Nov.-Dec. 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2746558.
2. M. Loos, S. Werben, M. Kereit and J. Maun, "Fault direction method in compensated network using the zero sequence active energy signal," Eurocon 2013, 2013, pp. 717-723, doi: 10.1109/EUROCON.2013.6625062.
3. S.M. Tayebi and A. Kazemi, "A transient based protection scheme for fault direction discrimination in distribution networks," 2011 International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, 2011, pp. 69-73, doi: 10.1109/ASEMD.2011.6145070.
4. Li, M. Gao, B. Liu, F. Gao and J. Chen, "Fault Location Algorithm in Distribution Networks Considering Distributed Capacitive Current," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 36, no. 5, pp. 2785-2793, Oct. 2021, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3026835.
5. M.B. Atsever, O. Karacasu and M. H. Hocaoglu, "Optimal Overcurrent Relay Coordination in Distribution Networks," 2021 56th International Universities Power Eng. Conf.: (UPEC), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC50034.2021.9548185
6. W.M. Strang et al., "Distribution line protection practices industry survey results," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 10, no. 1, pp. 176-186, Jan. 1995, doi: 10.1109/61.368400
7. IEEE Std C37.90-2005 (Revision of IEEE Std C37.90-1989): IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus
8. Hosseini HS, Koochaki A, Hosseinian SH (2019) A novel scheme for current only directional overcurrent protection based on post-fault current phasor estimation. J Electr Eng Tech cilt 14(4):1517–1527.
9. S.M. Brahma and A.A. Girgis, "Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 19, no. 1, pp. 56-63, Jan. 2004
10. A.N. Stefanidi, I.A. Panos, A.N. Milioudis and G.T. Andreou, "Sympathetic Tripping in a Field Case Study," 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, 2018, pp. 1-5
11. H. Sabra, D.K. Ibrahim and M. Gilany, "Field experience with sympathetic tripping in distribution networks: problems and solutions," in The Journal of

Engineering, cilt. 2018, no.15, pp. 1181-1185, 10 2018.

12. D. Birla, R. P. Maheshwari and H. O. Gupta, "An Approach to Tackle the Threat of Sympathy Trips in Directional Overcurrent Relay Coordination," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 22, no. 2, pp. 851-858, April 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.893587

13. Roberts, T. L. Stulo, A. Reyes, Sympathetic tripping problem analysis and solutions, SEL Technical Papers, 2002

14. L. P. S. Working Group D-3: Considerations in Choosing Directional Polarizing Methods for Ground Overcurrent Elements in Line Protection Applications. IEEE, College Station, TX (2014)

15. Atsever MB, Karacasu Ö, Hocaoglu MH. Determination of Proper Angle Settings in Resistance Grounded Distribution Systems for Directional Earth Fault Relays. Turk J Electr Power Energy Syst, 2021; 1(1): 26-32.

16. Atsever M.B., Karacasu Ö., Hocaoglu M.H., (2018), ‘‘Radyal Dağıtım Sistemlerinde Yönlü ve Yönsüz Koruma Performanslarının Tek Faz Toprak Arızası için Karşılaştırılması’’, ELOCO 2018, 20-24, Bursa, Türkiye, 30 Kasım-1 Aralık.

17. M.B. Atsever, Ö. Karacasu and M.H. Hocaoglu, "Determination of Proper Angle Settings for Resistance Grounded Distribution Systems for Directional Earth Fault Relays," 2020 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2020, pp. 113-118, doi: 10.1109/ELECO51834.2020.00034.

18. Vaca, S., Fonseca, A., Chapi, F., Pérez-Yauli, F.: A new methodology for the analysis and optimal setting of directional polarisation methods for overcurrent elements in line protection applications. IET Gener. Transm. Distrib. 1–15 (2021). <https://doi.org/10.1049/gtd2.12334>

*Gebze Teknik Üniversitesi Kocaeli ve
İstanbul Ticaret Üniversitesi tomonidan taqdim etilgan.*

UDK 621.311

POLUMSCHALTBARE ASYNCHRONGENERATOR FÜR WINDKRAFTANLAGEN

M. Bobojanov, P. Schegner, W. Hoffmann

Ушбу мақолада қутблар сони ўзгарувчан чулғамли асинхрон машинани ишлаб чиқиши ҳамда мотор ва генератор режимларида тадқиқ қилиши бўйича илмий тадқиқот натижалари келтирилган. Генератор иш режимиде чиқишидаги кучланиши минимал миқдордаги юқори гармоникаларга эга ва шу сабабдан шамол турбиналарида фойдаланиши учун тавсия этилиши мумкин.

В данной статье приведены результаты исследований по разработке и экспериментальному исследованию полюсопереключаемой асинхронной машины, которая была экспериментирована в двигательном и генераторном режимах. В генераторном режиме работы напряжение на выходе генератора имеет минимальное содержание высших гармонических и по этой причине может быть рекомендовано для использования в ветряных турбинах.

Der vorliegende Artikel befasst sich mit den Forschungsergebnissen zur Entwicklung und experimentellen Untersuchung der polumschaltbaren Asynchronmaschine, die im Motor- und Generatorbetrieben getestet worden sind. Im Generatorbetrieb hat die Spannung am Ausgang des Generators ein Minimum an höheren Harmonischen und kann für den Einsatz in Windkraftanlagen empfohlen werden.

1. Einleitung

Im ersten Quartal 2020 wurden in Deutschland ca. 130 Terawattstunden Ökostrom aus Windkraftanlagen ins Stromnetz eingespeist. Dabei hat bei der Stromerzeugung die Windkraft erstmals den Spitzenplatz als wichtiger Energieträger erklommen. Der Anteil der Windkraft an der gesamten eingespeisten elektrischen Energie betrug 34,9 Prozent, wie das Statistische Bundesamt mitteilte. Grund dafür ist auch, dass die Bedeutung von Kohle und Atomenergie bei der Netzeinspeisung im Vergleich zum Vorjahresquartal deutlich sank [1].

Bei der Windkraft verzeichneten die Statistiker gegenüber dem ersten Quartal 2019 ein Plus von 21,4 Prozent bei der im Inland produzierten und ins Netz eingespeisten elektrischen Energie. Dies sei vor allem auf ein sehr windreiches Quartal zurückzuführen, erklärte das Bundesamt. Bei der Photovoltaik gab es den vorläufigen Ergebnissen zufolge ein Plus von 11,7 Prozent. Gemeinsam haben Windkraft- und Photovoltaikanlagen um Jahr 2020 ca. 35 Prozent der benötigten elektrischen Energie in Deutschland bereitgestellt. Der Hauptteil wurde durch Windkraftanlagen bereitgestellt. Es wird erwartet, dass im Jahr 2025 ca. 45 Prozent der elektrischen Energie in Deutschland aus erneuerbaren Energien stammen.

In Usbekistan gibt es auch eine Reihe von Regionen, in denen die Windgeschwindigkeit ständig innerhalb der für einen Betrieb von Windkraftanlagen notwendigen Bereich liegt, zum Beispiel in der Nähe der Stadt Bekabad oder des

Ustjurt-Plateaus. Die Installation von Windgeneratoren in diesen Gebieten und die Erzeugung von Strom aus Windenergie ist eine sehr sinnvolle und dringende Aufgabe [2].

Außerdem ist zusammen mit den ausländischen Partnern, unter anderen mit der Gesellschaft Inter Gopa (Deutschland) und in Zusammenarbeit mit GEO-NET (Deutschland) die Bewertung des Windenergiepotenzials der Republik Usbekistan ausgeführt worden. Es wurde ein Atlas des Windenergiepotenzials des Landes erstellt.

Wie die Ergebnisse der Untersuchungen gezeigt haben, besteht aus elektrotechnischer Sicht die Herausforderung darin, die Oberschwingungen in den Spannungen und die Entstehung von Oberschwingungsströmen möglichst zu reduzieren. Ziel ist es, eine optimale Aufnahmekapazität des Netzes für elektrische Energie aus Windkraftanlagen zu ermöglichen.

Die Fachleute müssen das Problem lösen, den aktuellen Bedarf an elektrischer Energie des Landes mit Hilfe einer optimalen Kombination aus dezentralen elektrischen Energieanlagen (DEA) und zentralen Großkraftwerken zu decken.

Für die Lösung dieser Aufgabe ist die Kooperation von Forschungsgruppen notwendig, die sich einerseits mit den Fragen der Berechnung von Oberschwingungsverteilung im elektrischen Netz und andererseits mit der Erforschung von Windkraftanlagen mit einer minimalen Emission von Harmonischen befassen.

Am Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik der Technischen Universität Dresden beschäftigt sich die wissenschaftliche Gruppe unter der Leitung von Professor Peter Schegner mit der Entwicklung und Untersuchung von Methoden zur Berechnung und Bewertung der höheren Harmonischen. Hierdurch soll eine möglichst große Anzahl von DEAs [3,4] in das elektrische Netz integrierbar sein. Eine wesentliche Eingangsgröße ist hierbei die Emissionen der Harmonischen am Ausgang der Windenergieanlagen.

Zurzeit leitet den Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebe Prof. Wilfried Hoffman, unter dessen Leitung erfolgreiche wissenschaftliche Forschungsarbeiten durchgeführt werden. Eine wichtige Richtung ist dabei die Entwicklung und Untersuchung des Systems mit doppelspeisenden Asynchronmaschinen.

Gleichzeitig ist die aktuelle Aufgabe auch die Entwicklung eines elektrischen Generators für Windanlagen, der einen minimalen Gehalt an höheren Oberwellen in der Spannungskurve im Ausgang des Generators aufweist [2, 5].

2. Analyse existierender Energieumwandlungssysteme für Windanlagen

Für die Stromerzeugung in Windkraftanlagen für Drehstromnetze werden drehbare Elektromechanische Wandler mit konstanten, stufenweise und stufenlos wechselnden Drehzahlen verwendet [6-9].

Von diesen Energieumwandlungssystemen ist eine der einfachsten Arten von Energieumwandlungssystemen für Windgeneratoren ein System mit einer polumschaltbaren Asynchronmaschine [2, 5-6].

Um diese positiven Eigenschaften besser nutzen zu können, muss die Windanlage in der Nähe der maximalen Leistung betrieben werden. Dies erfordert eine Änderung der Drehzahl der Asynchronmaschine und die einfachste Lösung für dieses Problem ist die Verwendung von polumschaltbaren Asynchronmaschinen [6].

Ein sehr häufiges verwendetes Drehzahlverhältnis ist hierbei 3:4 [2, 5-6].

Dabei beträgt die höhere Drehzahl 1000 U/min, diese wird für hohe Windgeschwindigkeiten genutzt. Die niedrigere Drehzahl von 750 U/min wird bei geringeren Windgeschwindigkeiten verwendet.

Die existierenden polumschaltbaren Asynchrongeneratoren haben am Stator zwei getrennte Wicklungen für jede der beiden Drehzahlen. Dies führt zu einer Reduzierung des aktiven Teils des Ständers der Asynchronmaschine. Als Folge daraus verschlechtern sich alle technischen Parameter der Asynchronmaschine.

Zur Lösung dieses Problems wurde eine polumschaltbare Wicklung entwickelt, bei der keine Reduktion des aktiven Teils im Stator erfolgt. Gleichzeitig soll die neue Wicklung einfach zu produzieren sein und bessere technische Parameter der Asynchrongenerators erreichen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um Asynchronmaschinen auch zukünftig erfolgreich in Windkraftanlagen einsetzen zu können.

3. Entwicklung einer neuen polumschaltbaren Wicklung für den Asynchrongenerator.

Am Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung der TU - Taschkent ist ein neues Schema der polumschaltbaren Wicklung (PUW) für das Polzahlverhältnis von 3: 4 bei einer Anzahl von 36 Nuten des Stators entwickelt worden [5,6,10].

Tabelle 1: Die Ergebnisse der theoretischen Analyse der Harmonischen des Magnetisierungsstromes der neuen polumschaltbaren Wicklung

v	2p ₁ = 6				2p ₂ = 8			
	A _v in Ampere	A _v in %	K _{Wicklung}	A. in % mit K _{Wicklung}	A _{v r-e} in Ampere	A _v in %	K _{Wicklung}	A. in % mit K _{Wicklung}
1	2,52	100,0	0,88	100,0	2,38	100,0	0,83	100,0
2	0,48	18,95	0,33	7,18	0,22	9,24	0,15	1,71
3	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,0
5	0,04	1,43	0,06	0,10	0,11	4,53	0,18	1,0
6	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,03	1,02	0,06	0,07	0,06	2,64	0,15	0,48
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	12,5	0,83	12,5
9	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,09	3,78	0,33	1,43	- 0,24	-10,0	0,83	-10,0
11	0,23	9,09	0,88	9,09	- 0,04	-1,68	0,15	-0,31
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	-0,19	-7,69	0,88	-7,69	- 0,04	-1,74	0,18	0,39
14	-0,07	-2,70	0,33	-1,02	- 0,04	-1,61	0,18	0,36
15	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	- 0,03	-1,11	0,15	0,21
17	-0,01	-0,42	0,06	-0,03	- 0,14	-5,88	0,83	-5,88

Die Wicklung besteht aus gleichförmigen Spulen mit gleichem Schritt und hat das Grundschema „drei Dreiphasiger-Sternen mit zusätzlichen Zweigen“ [6]. Die

polumschaltbare Wicklung ist bei beiden Schaltungsvarianten symmetrisch aufgebaut und ist einfach und kostengünstig herzustellen.

Die theoretische Analyse der emittierten Harmonischen des Magnetisierungsstromes ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Diese wurde mit Hilfe einer Fourier-Transformation der berechneten Ströme ermittelt.

Die Werte der Amplitude sind in Ampere angegeben. Für die prozentuale Angabe der Stromharmonischen wurde deren Amplitude auf die Grundschiwingung bezogen. Im nächsten Schritt erfolgt die Wichtung der Stromharmonischen mit dem Wicklungsfaktor und erneuten prozentualen Bezug auf die Grundschiwingung. Das negative Vorzeichen vor dem Wert der Amplitude bedeutet, dass die jeweilige Harmonische bezogen auf die Grundschiwingung die entgegengesetzte Richtung eingenommen hat.

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, sind für beide Polpaarzahlen jeweils die zweite Stromharmonische (18,95% und 9,24%) am stärksten ausgeprägt. Unter Berücksichtigung des Wicklungsfaktors wird deren Auswirkungen jedoch deutlich reduziert (7,18% und 1,71%).

Bei dem Betrieb mit 6 Polpaaren haben die Stromharmonischen der 11. und 13. Ordnung eine relative Amplitude von 9,09 % bzw. -7.69 %. Dies gilt auch bei Berücksichtigung des Wicklungsfaktors. Für den Betrieb mit 8 Polpaaren haben die Stromharmonischen der 8., 10. und 17. Ordnung eine relative Amplitude von 12,5 %, -10,0 % und 5,88 % mit und ohne Berücksichtigung des Wicklungsfaktors.

Differentialstreuungskoeffizienten, die mit der Nutzung des Görgespolygones berechnet wurde, sind $\sigma_1 = 1,39$ und $\sigma_2 = 3,23$ für $p_1 = 3$ und $p_2 = 4$, was auf einen geringen Gehalt an höheren Harmonischen hinweist.

4. Experimentelle Untersuchungen einer polumschaltbaren Asynchronmaschine mit dem Polzahlverhältnis 3:4.

Für eine experimentelle Untersuchung der Eigenschaften einer polumschaltbaren Asynchronmaschine mit dem Verhältnis 3:4 wurde am Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung der TU Taschkent ein Funktionsmuster einer polumschaltbaren Asynchronmaschine gebaut, die auf dem Gehäuse eines AGM100L6-Motors basiert.

Wie durch die theoretischen Untersuchungen belegt, ist diese polumschaltbare Asynchronmaschine sowohl in den Phasen, als auch in parallelen Zweigen symmetrisch. Um die Übereinstimmung der, durch die theoretischen Untersuchungen ermittelten Emissionswerte, in parallelen Zweigen und Phasen zu bestätigen, wurden entsprechende Messungen der Ströme in diesen Zweigen durchgeführt. Hierbei wurden sowohl der Leerlauf als auch die belastete Asynchronmaschine untersucht. Die Ergebnisse der experimentellen Messungen bestätigten die vollständige Symmetrie der Wicklung. Im Labor wurden an der neuen Maschine der volle Umfang aller industriellen Tests im Motor- und im Generatorbetrieb durchgeführt [5,6].

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen des neuen Motors haben gezeigt, dass bei Betrieb mit 6 Polpaaren die Leistung des neuen Motors $S_n=1200$ VA, ein Wirkungsgrad von $\eta=76,9\%$ und $\cos\varphi=0,722$ erreicht wurden. Der Nennstrom des Stators betrug $I_n=3,7$ A, und der Schlupf hatte einen Wert von $s=3,9\%$.

Bei einem Betrieb mit 8 Polpaaren betrug die Nennleistung $S_n=1000$ VA. Der Wirkungsgrad hatte einen Wert von $\eta=73\%$ und der Schlupf $s=5,6\%$ [5,6].

Die Tests der neuen Asynchronmaschine im Generatorbetrieb wurden mit direktem Anschluss an das Versorgungsnetz und im Inselbetrieb mit dem Anschluss von Kondensatorbatterien durchgeführt. [6].

Die Testergebnisse im Generatorbetrieb zeigen, dass die bereitgestellte Leistung der neuen Asynchronmaschine dem Asynchrongenerator ähnlich sind. Die Formen der erzeugten Spannungen ist nahezu sinusförmig bei beiden Polpaarzahlen.

Auf den Bildern 1 und 2 sind die Kurve der Spannungsverläufe und das Spannungsspektrum am Ausgang der Asynchronmaschine für 6 und 8 Polpaare dargestellt [5,6].

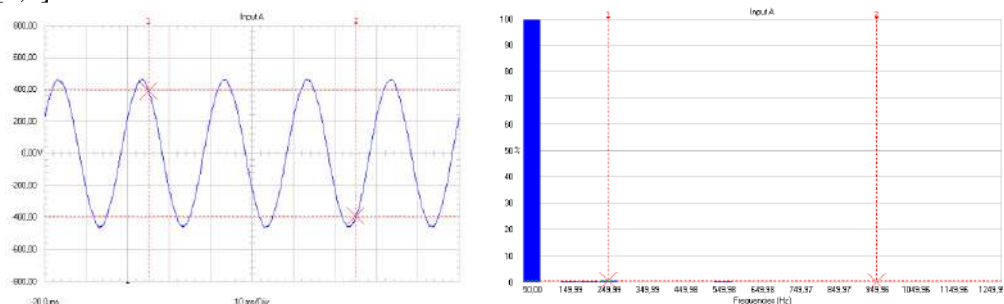


Bild.1: Die Kurve des Spannungsverlaufs und das Frequenzspektrum der Spannung der Asynchronmaschine bei Betrieb mit 6 Polpaaren

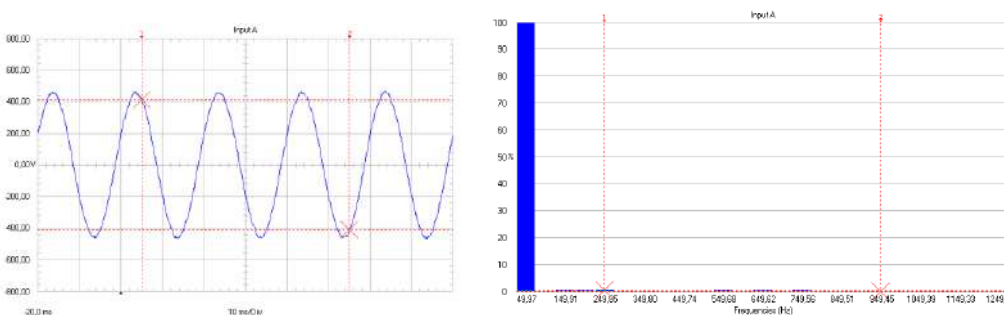


Bild.2 Die Kurve des Spannungsverlaufs und das Frequenzspektrum der Spannung der Asynchronmaschine bei Betrieb mit 8 Polpaaren

Wie aus den obigen Kurven und Diagrammen zu sehen ist, ist der Gehalt der höheren Harmonischen in der Spannung minimal, d.h. die Form der Spannung ist nahezu sinusförmig.

5. Schlussfolgerungen.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur Entwicklung und Untersuchung einer Asynchronmaschine mit einer polumschaltbaren Wicklung können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Der Gehalt der Harmonische im Magnetisierungsstrom der neuen Wicklung ist sehr klein, dadurch sind die Spannung am Ausgang des Asynchrongenerators nahezu sinusförmig. Diese Asynchronmaschinen können als Generatoren in Windkraftanlagen oder in dezentralen autonomen Wasserkraftanlagen eingesetzt werden.

2. Der Betrieb des elektrischen Antriebs mit der neuen polumschaltbaren Asynchronmaschine ist ähnlich wie der Betrieb des elektrischen Antriebs mit

herkömmlichen Asynchronmotoren. Dies ermöglicht die Schaffung einer neuen Art von Elektroantrieb für die rationelle Nutzung von elektrischer Energie und natürlichen dargebotsabhängigen Ressourcen.

Literatur

1. Windkraft ist wichtigste Stromquelle. <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Windkraft-ist-wichtigste-Energiequelle-article21809426.html>
2. Allaev K.R., Karimov Kh, Bolte E., Bobojanov M. About possibility to create of new Asynchrongenerator for wind devices. Journal. Westnik TashGTU. - Tashkent, 2002. - №2 – pp. 43-47.
3. Meyer, Jan; Mühlwitz, Michael; Schegner, Peter; Schulze, Lutz; Winkler, Gert: Efficient method for power quality surveying in distribution networks. 18th International Conference on Electricity Distribution (CRED) Turin/ Italien, 06.-09.06.2005.
4. La Seta, Piergiovanni; Schegner, Peter: Comparison of Stabilizing Methods for Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines. International Conference on Future Power Systems (FPS) 2005, Amsterdam/Niederlande, November 2005
5. Bobojanov M. Pole changing Asynchrongenerator for wind devices. Journal. Elektriika. – Moscow, 2005 - №8 – pp.35-36.
6. Bobojanov M. Electrical machines with pole - changing windings using with aim of energy – and resource saving. Dissertation on the science degree of the Doctor of technical Science, Tashkent,, 2006., pp.
7. Robert Gasch. Windkraftanlagen. B.G.Teubner Stuttgart ,1996.
8. Siegfried Heier. Windkraftanlagen im Netzbetrieb. B.G.Teubner Stuttgart, 1996
9. Dieter Seifert. Elektrische Energiewandler fuer Off –Shore-Windenergieanlagen, Journal Windkraft, 2001.
10. Karimov Kh.G., Bobojanov M.K. New design of pole-changing windings for induction motors for intense operating conditions // Electrical technology, 1996, (United Kingdom) - №1. - P. 19-28.

Präsentiert von der Technische Universität Dresden

УДК 621.316.11

**ОПЕРАТИВНЫЙ РАСЧЁТ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

М.Б. Худаяров, Б.С. Бобоназаров

Электр энергияси исрофларини ҳисоблаш – электр тармоқлари бўйлаб электр энергияни узатиши ва тақсимлашда кузатиладиган муҳим масалалардан биридир. Электр энергияси исрофларини ҳисоблаш учун мавжуд бўлган усуллар ҳолатни итерацион тарзда ҳисоблашга асосланган бўлиб, асосан ретроспектив ҳисоб-китоблар учун қўлланилади. Бироқ автоматлаштирилган тизимлар мавжуд бўлган ҳолатларда, электр энергия исрофларини оператив тарзда ҳисоблаш имконини берувчи усуллардан фоидаланиш талаб этилади. Шуни эътиборга олган ҳолда, мақолада тақсимловчи электр тармоқларида электр энергия исрофларини сунъий нейрон тармоқлар, хусусан перцептрон, ёрдамида баҳолаш усули келтирилган. Ушбу ёндашувдан фоидаланиш электр энергия исрофларини ҳисоблашни тезлаштириши имконини беради. Ўқитишдан сўнг олинган нейрон тармоқларнинг самарадорлиги мавжуд 6-10 кВли тақсимловчи электр тармоқлари мисолида кўриб чиқилган.

Расчет потерь электроэнергии - одна из важных задач в процессе передачи и распределения электроэнергии по электрическим сетям. Существующие методы расчёта потерь электроэнергии, используют результаты итерационных расчётов режима и в основном используются для ретроспективных расчётов. Но при этом, в условиях работы автоматизированных систем требуется использование методов, необходимых для выполнения оперативных расчётов потерь электроэнергии. Учитывая данное, в статье представлена методика оценки потерь электроэнергии в распределительных сетях на основе искусственных нейронных сетей, в частности перцептрона. Использование данного подхода позволяет повысить быстроту выполняемых расчетов потерь электроэнергии. Эффективность обученных нейронных сетей рассмотрена на примере реальных распределительных сетей 6-10 кВ.

Calculation of electricity losses is one of the important tasks in the transmission and distribution of electricity through electrical networks. The existing calculation methods use the results of iterative power flow calculations and are mainly used for retrospective calculations. But at the same time, when using automated systems, it is required to use methods that make it possible to perform operational calculations of electricity losses. Taking this into account, the article presents a methodology for assessing electricity losses in distribution networks based on artificial neural networks, in particular the perceptron. The use of this approach makes it possible to increase the speed of the calculations of electricity losses. The effectiveness of trained neural networks is considered on the example of real 6-10 kV distribution networks.

Величина потерь электроэнергии (ЭЭ) является одним из наиболее важных показателей для оценки эффективности и экономичности эксплуатации

электрических сетей (ЭС). Задача определения и снижения потерь электроэнергии в ЭС является чрезвычайно актуальной и экономически важной проблемой [1].

Очень часто, при выполнении расчетов потерь ЭЭ в распределительных сетях (РС) сталкиваемся с отсутствием полной и достоверной информации о графиках нагрузок, количестве потребленной электрической энергии по узлам, коммутационных состояний схемы и др. [1-3]. Но при этом использование современных автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ) позволяет снять данную проблему.

Задача расчёта потерь ЭЭ в условиях работы АСКУЭ относится к оперативным расчётам и предполагают оценку потерь ЭЭ в темпе процесса [4]. В данной ситуации, несмотря на многообразие существующих методов расчёта потерь ЭЭ, их применение весьма затруднительно. Традиционные методы основываются на серии установившихся режимов (УР) по схемным и режимным параметрам сети. Эти расчеты связаны с большой размерностью, информационными проблемами и временем расчета.

При этом, как показывают исследования [5], значительно лучшие решения, по сравнению с традиционными методиками можно получить применением «интеллектуальных» методов к которым относятся искусственные нейронные сети (ИНС).

Преимущества использования ИНС в решении задач расчёта потерь ЭЭ формулируются следующим образом:

- возможность построения моделей более простого вида;
- возможность оценки искомых параметров без выполнения сложных расчётов;
- высокая надежность получения результата за счет формирования явной зависимости искомых параметров от заданных.

Поэтому цель данной статьи заключается в сравнительной оценке результатов расчётов при использовании ИНС для оперативной оценки потерь электроэнергии с традиционными методами.

Методы расчёта технических потерь электроэнергии

Технические потери ЭЭ в РС складываются из нагрузочных потерь в линиях и обмотках трансформаторов, и потерь в стали трансформаторов:

$$\Delta W_{PC} = (\Delta W_{н.лЭП} + \Delta W_{н.ТР}) + \Delta W_{ст.ТР} = \Delta W_{наг} + \Delta W_{ст.ТР} \quad (1)$$

В зависимости от исходной информации и результатов расчета установившегося режима ($\Delta P_{наг}$) расчёт нагрузочных потерь ЭЭ в РС выполняется различными методами, такие как: оперативных расчетов, расчетных суток, средних нагрузок, наибольших потерь. При этом в разомкнутых РС 110 кВ и ниже широко используется метод средних нагрузок [1] который взят за основу в качестве классического метода:

$$\Delta W_{наг} = k_1 \cdot k_k \cdot \Delta P_{наг} \cdot T \cdot k_f^2 \quad (2)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий влияние потерь в armатуре ВЛ и равен 1,0 для линий 6-10 кВ; k_k — коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки различных ветвей сети и принимается равным 0,99; T — расчетный интервал (месяц); k_f^2 — квадрат коэффициента формы графика нагрузки.

Квадрат коэффициента формы графика нагрузки определяется по времени работы с максимальной нагрузкой T_{max} :

$$k_f^2 = \left(\frac{1090}{T_{max}} + 0.876 \right)^2 \quad (3)$$

Потери ЭЭ холостого хода в силовых трансформаторах (автотрансформаторах) определяются на основе приведенных в паспортных данных потерь мощности холостого хода (ΔP_{xx}), по формуле:

$$\Delta W_{xxTP} = \Delta P_{xx} \cdot T \cdot \left(\frac{U_i}{U_{ном,i}} \right)^2 \quad (4)$$

где U_i - напряжение на высшей стороне трансформатора в i -м режиме; $U_{ном,i}$ - номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора. При отсутствии данных по напряжению на высшей стороне $U_i = U_{ном,i}$.

Для выполнения оперативных расчётов потерь электроэнергии модель ИНС можно представить, зависимостью следующего вида:

$$[\Delta P_{наг}, \Delta P_{xx}] = F(U_{GU}, t, P_j, Q_j), \quad (5)$$

где $\Delta P_{наг}$ – нагрузочные потери в линиях и трансформаторах, ΔP_{xx} - потери мощности холостого хода, P_j, Q_j - мощности нагрузочных узлов; U_{GU} - напряжение головного узла, t – наружная температура.

Для формирования модели ИНС используется однослойная сеть прямого распространения (перцептрон). Моделирование ИНС содержит последовательность следующих этапов:

1) *Формирование данных обучающей и тестовой выборки.* Формирование статистических данных выполняется на основе имитационного моделирования нагрузок при наличии расчётной схемы РС. В данной постановке алгоритм имитационного моделирования включает следующие два этапа:

- моделирование нагрузок методом Монте-Карло [6] (получение сечения реализации случайных процессов, описывающих нагрузку);

- расчёт УР РС двухэтапным методом для заданного момента времени.

2) *Выбор архитектуры ИНС.* Данный шаг предполагает определение количества слоев, а также количество нейронов в каждом слое и осуществляется, как правило, на основе опыта исследователя. Так для оценки потерь ЭЭ в РС выбрана ИНС с одним скрытым слоем, где количество нейронов определяется по критерию предложенной в [7]:

$$N_n = 2 \cdot n + 1 \quad (6)$$

где n - количество нейронов входного слоя равная количеству входных параметров.

3) *Обучение ИНС.* В качестве метода обучения в большинстве случаев целесообразно выбирать алгоритм Левенберга-Марквардта, и только при значительном увеличении числа связей ИНС может быть использован метод сопряженных градиентов

4) *Проверка качества ИНС.* Для проверки качества ИНС используется как обучающая, так и тестовая выборки. В качестве критерия для оценки моделей используется средняя квадратическая ошибка, MSE:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{mod,i})^2 \tag{7}$$

где, Y_i – фактическое значение технических потерь электроэнергии рассчитанное по методу средних нагрузок; $Y_{mod,i}$ - значение технических потерь электроэнергии полученное по модели ИНС.

В результате выполнения данного алгоритма получаем модель ИНС которая используется для расчёта технических потерь ЭЭ в РС при использовании АСКУЭ, по следующей формуле:

$$\Delta W_{PC} = \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \Delta P_{наг}^i + \sum_{i=1}^{T/\Delta t} \Delta P_{хх}^i. \tag{8}$$

где $T = 744$ часа (месяц) - расчётный период для оценки потерь ЭЭ; $\Delta t = 30$ сек – шаг дискретизации; i – количество шагов в течение расчётного периода.

На основе выше указанных этапов в среде MATLAB разработана программа с использованием которой получены модели ИНС. При этом для выполнения необходимых расчётов потерь ЭЭ выбраны ряд схем РС напряжением 10 кВ отходящих от одного ТП. Например, на Рис.1 представлена схема с 9 ветвями и 4 нагрузками.

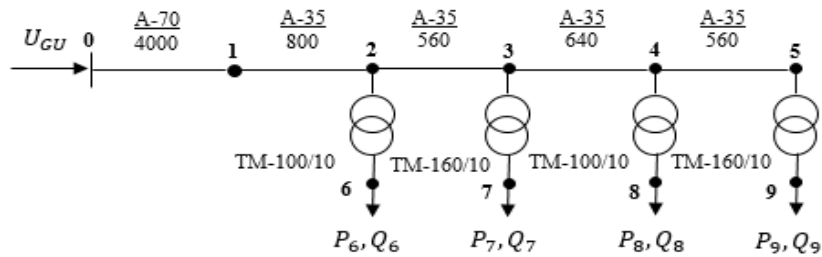


Рис.1. Оперативная схема распределительной сети 10 кВ

Моделирование нагрузок выполняется на основе изменения следующих параметров, в течение расчётного периода:

Внешняя температура $t = 20 \div 40$ °C;

Напряжение головного узла $U_0 = 9.5 \div 10.5$ кВ;

Коэффициент загрузки трансформаторов $k_z = 0.1 \div 0.9$;

Коэффициент мощности головного узла $\cos\varphi = 0.8 \div 0.99$;

Далее, по полученным нагрузкам узлов, выполнен расчёт УР двухэтапным методом. Всего выполнено 1488 расчётов. На основе моделирования нагрузок и результатов расчётов УР сформирована выборка статистических данных “входы-выходы”, следующего вида:

ВХОДЫ	ВЫХОДЫ
$U_{GV}^k, t^k, P_6^k, Q_6^k, P_7^k, Q_7^k, P_8^k, Q_8^k, P_9^k, Q_9^k$	$\Delta P_{наг}^k, \Delta P_{хх}^k$

где k - порядковый номер статистических данных.

Полученная база данных разбивается на обучающую и тестовую выборки. Обучающая выборка данных используется для подстройки весовых коэффициентов и включает 70 % (1042 пар) данных. Тестовая и контрольная выборки включает по 15 % (223 пар) данных которые не участвуют при обучении и служат для проверки качества моделирования.

Для оценки потерь ЭЭ в РС представленной на рис.1, выбрана ИНС с одним скрытым слоем, где количество нейронов определяется по критерию предложенной в [7]:

$$N_n = 2 \cdot n + 1 = 21$$

где $n=10$ - количество нейронов входного слоя равная количеству входных параметров. Обучение ИНС выполняется по алгоритму Левенберга-Марквардта.

По данному алгоритму были получены модели ИНС для ряда схем РС 6-10 кВ. В Табл.1 представлены результаты оценок на обучающей, тестовой и контрольной выборках.

Табл.1. Результаты сравнительной оценки моделирования

Данные по схеме РС	RMSE ($\Delta P_{\text{наг}}/\Delta P_{\text{эл}}$), кВт		
	обучающая	тестовая	контрольная
2 ветви 1 нагрузка	0,000041	0,000044	0,000040
	0,000020	0,000020	0,000023
5 ветвей 2 нагрузки	0,000061	0,000064	0,000065
	0,000032	0,000032	0,000032
9 ветвей 4 нагрузки	0,000095	0,000091	0,000010
	0,000053	0,000055	0,000056
26 ветвей 11 нагрузок	0,000163	0,000199	0,000214
	0,000028	0,000032	0,000037
42 ветвей 16 нагрузок	0,000595	0,000935	0,000993
	0,000059	0,000067	0,000062

Применение ИНС прямого распространения с одним скрытым слоем является весьма эффективным для выполнения расчётов технических потерь электроэнергии в РС при использовании АСКУЭ.

Для расчета технических потерь электроэнергии уже обученной ИНС, требуются незначительные вычислительные и временные ресурсы, что является весьма важным при выполнении оперативных расчётов.

Как показали результаты расчётов, погрешность расчета очень маленькая в сетях с меньшим количеством ветвей и нагрузок, а в более сложных сетях с большим количеством ветвей и нагрузок она немного увеличивается но при этом сравнительно маленькая что свидетельствует об удачно обученной и правильно сформированной ИНС.

Литература

1. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / под ред. Ю.С. Железко. - М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.: ил.

2. A. K. Dashtaki and M. R. Haghifam. (2013) A New Loss Estimation Method in Limited Data Electric Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Delivery, 28, 4, 2194-2200.

3. S. Wang, P. Dong and Y. Tian. (2017) A Novel Method for Statistical Line Loss Estimation for Distribution Feeders Based on Feeder Cluster and Modified XGBosst. Energies, 10.

4. Насиров Т.Х., Васильев В.Г. Методы расчёта потерь электрической энергии в сетях энергосистем, - Т.: «Fan va texnologiya», 2016. – 336 с

5. Манов Н.А. и др. Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. – Екатеринбург: Издво УрО РАН, 2002. – 205 с.

6. Fishman, G.S. (1996) Monte Carlo Concepts, Algorithms, and Applications. Springer-Verlag, New York.

7. Kurkova V. Kolmogorov's theorem is relevant // Neural Computation. – 1991. – Vol. 3. – № 4. – P.617–622.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.311.1.

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИДА ТАРИФЛАРНИ ТЎҒРИ ТАНЛАШ ҲИСОБИГА ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМИ ЮКЛАМАЛАР ГРАФИГИНИ РОСТЛАШ

К.Ш. Кадиров, А.П. Кушев

Мақолада республика электр энергиясини етказиб берувчи ташкилотлар томонидан истеъмолчиларнинг имкониятлари ҳисобга олиниши ва истеъмолчиларга иқтисодий таққослаш орқали ўзига маъқул бўлган тарифларни танлаш ҳуқуқини бериши орқали уларнинг суткалик юкламалар ортиб кетган даврдаги нотекис графикларини текислаш имкониятлари кўриб чиқилган.

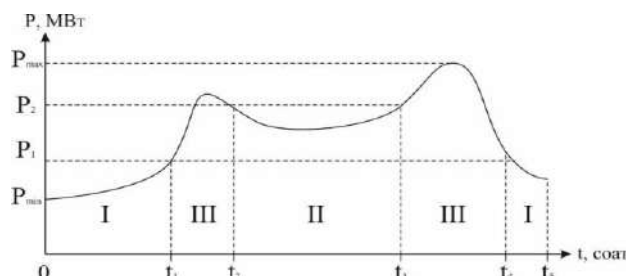
В статье рассмотрены возможности потребителей, созданные со стороны поставщиков электрической энергии, учитывающие их возможности и путем экономической сравнении, выбрать для себя подходящий тариф при увеличении ежесуточной нагрузки и наладить неровности в этом периоде.

The article discusses the possibilities of consumers, created by the electricity suppliers, taking into account their capabilities and through economic comparison, to choose a suitable tariff for themselves with an increase in the daily load and to fix irregularities in this period.

Электр энергетика тизимида сарф ва харажатлар бир хил эмас “тиғиз” даврларда электр энергиясига бўлган талабнинг ошиб кетиши тизимдаги юкламаларнинг ўзисишига сабаб бўлади. Лекин истеъмолчилар томонидан бу даврлар учун ҳам истеъмол қилинган электр энергиясига бўлган тўлов миқдори тариф бўйича бир хил бўлиши, етказиб берувчи ташкилотларнинг сарф-харажатларининг ошиб кетишига сабабдир.

Мисол учун, u_1 энг кам юкламалар даври учун (I-давр), u_2 ярим “тиғиз” юкламалар даври учун (II-давр), u_3 “тиғиз” юкламалар даври учун (III-давр). Қувват жиҳатидан даврларнинг чегаралари: P_{\min} , P_1 , P_2 , ... P_{\max} гача бўлиб, ҳар бир давр учун белгиланган тариф нархлари мавжуд (сўм/кВт·соат).

Қувват (P_{\min} , P_1 , P_2 , P_{\max}) бўйича истеъмол чегараларини электр энергияси тизимларининг кунлик юклама график чегараларини I-расмда келтириб ўтилган.



1-расм. Электр энергетика тизимида суткалик электр энергияси истеъмоли юклама графиги

Электр энергетика тизимининг юклама графигидаги ҳар ҳафталик ва мавсумий тартибсизликларни ҳисобга олган ҳолда, суткалик даврларнинг чегаралари ҳафтанинг кунлари ва йилнинг фаслларида сезиларли даражада ўзгариши мумкин.

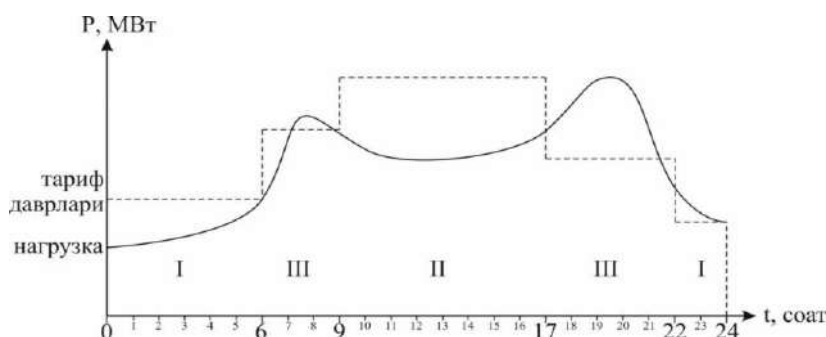
Электр энергетика тизимининг юкламалар графигини таҳлил қилиш натижасида, ҳафта давомидаги кунларга нисбатан, дам олиш кунлари - шанба, якшанба ва байрамларни ажратиш мумкин.

Сутка давомидаги юклама графикларини табақалаштирилган тарифлардан фойдаланиш эвазига, имкон қадар бир текисга олиб келиш зарур бўлади. Мавсумий нотекислик нуқтаи назаридан I, IV чорак ойларини киш мавсум, II, III чораклар эса ёзги мавсум деб қараш ҳам мумкин [1].

Сутканинг даврлари учун чегараларини аниқлаш бу сутка давомидаги истеъмолнинг юклама графиклари орқали тариф ставкаларини белгилаш имконини беради [2].

Электр станцияларидаги ёқилғи сарфи электр энергиясининг энг юқори истеъмол қилган соатларидаги юкламаларнинг ортиб кетиши билан бевосита боғлиқдир. Агар сутка давомидаги юкламаларни йилнинг 365 кунига айлантисан, юкламалар графигининг нотекислиги сабаб электр станциянинг қайсидир блогини ўчириш ва қайта ишга тушириш, ускуналарнинг эрта ишдан чиқиш ҳолатларига сабаб бўлади ва бу электр энергетика тизими учун қўшимча харажатларни келтириб чиқаради.

Сутка давомида вақт бўйича табақалаштирилган тарифларнинг даврлари ва электр энергетика тизимида тушадиган юкламалар 24-соат (t, соат) мобайнидаги тахминий графиги куйида келтириб ўтилган (2-расм).



2-расм. Вақт бўйича табақалаштирилган тариф даврлари ва электр энергетика тизимида тушадиган тахминий юкламалар

Вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар бир томондан, электр энергиясини ишлаб чиқариш (ёки сотиб олиш), узатиш ва тарқатишда ҳақиқий харажатларни ҳисобга олишга имкон берса, бошқа томондан истеъмолчиларни иқтисодий кўрсаткичларини ўзгаришига сабаб бўла олади. Бу орқали электр энергетика тизимининг юкламалар графигини текислаш имкониятини яратилади.

Тегишли бўлган юқори ташкилотлар томонидан методик кўрсатмаларни ишлаб чиқишда истеъмол қилинадиган электр энергиясининг асосий ва қўшимча тариф нархлари ва давларини белгилашда кучланишни ҳисобга олган ҳолда

амалга ошириш мақсадга мувофиқдир, яъни: ЮК (110 кВ ва ундан юқори), ЎК (6, 10, 35 кВ) ва ПК (0,4 кВ).

Электр энергияси истеъмолини стуканинг даврларига бўлиш мақсадга мувофиқ бўлиб, уни T^1 , T^2 , T^3 ва истеъмол даврида юкламаларга қараб ажратиш мумкин.

$$T^1 = \frac{S_1}{\Sigma P_1}; \quad T^2 = \frac{S_2}{\Sigma P_2}; \quad T^3 = \frac{S_3}{\Sigma P_3}. \quad (1)$$

Бу ерда S_1 , S_2 , S_3 – тариф даврларида истеъмол қилинган электр энергияси учун белгиланган харажатлар. Электр энергияси билан таъминловчи ташкилотнинг тартибга солиш давридаги фойдасининг асосини ташкилотнинг нормал ишлашини таъминлайдиган ускуналар ишлаши билан боғлиқдир. Вақт бўйича табақалаштирилган тариф даврларига ўтган барча истеъмолчилар томонидан маълум гуруҳларга мансублигидан қатъи назар электр энергетика тизимида ўз таъсирини ўтказиши зарур ҳисобланади.

ΣP_1 , ΣP_2 , ΣP_3 – белгиланган давр мобайнида истеъмол қилинган электр энергия микдори. Ҳар бир истеъмолчи учун белгиланган тариф даврларида, яъни “тиғиз”, ярим “тиғиз” ва “тунги” даврлар учун.

Юқори, ўрта кучланишли тармоқлардаги мавжуд подстанцияларга электр энергиясини узлуксиз етказиб беришни таъминлаш учун электр тармоқларига техник хизмат кўрсатиш ва иқтисодий эҳтиёжини ҳисобга олиш зарур.

Паст кучланишли тармоқларда кучланишнинг вақт бўйича табақалаштирилган тариф даврларидаги ставкалари қуйидагича белгиланади:

$$T^{ЮК} = T^1; \quad T^{ЎК} = T^1 + T^2; \quad T^{ПК} = T^1 + T^2 + T^3; \quad (2)$$

2 ифода шуни англатадики сутканинг турли даврларидаги тарифлар ўзига хос хусусиятга эгадир. Мисол учун юқори кучланишда тариф бир ставкали бўлса, ўрта кучланишда бу икки ставкали, паст кучланишда эса бу кўрсаткич уч ставкалиги келтириб ўтилган.

Тегишли бўлган юқори ташкилотлар томонидан ишлаб чиқилган, асосий ҳамда қўшимча тариф нархлари ва давларини белгилашда электр таъминоти ташкилотининг ўзига хос шартларини акс эттиради. Шу билан бирга, у истеъмолчиларнинг истеъмол қилган электр энергияси нархларининг ўртача қийматини ҳисоблаб чиқариши зарур ҳисобланади [4].

Электр энергияси истеъмолчилари, электр энергиясини етказиб берувчи ташкилотлар томонидан узлуксиз етказиб бериладиган электр энергияси ишончилигидан манфаатдор, бу эса республикадаги асосий электр энергиясини истеъмол қилувчи истеъмолчилар, яъни саноат корхоналарининг шартномавий ҳажмдаги маҳсулот ишлаб чиқаришига ёрдам беради.

Бироқ, электр таъминоти ишончилигининг юқори даражаси электр энергияси тизимининг ишлаб чиқариш қувватининг катта захираларини сақлашни, электр тармоқларининг етарли ўтказувчанлик имкониятларининг мавжудлигини ва уларнинг катта харажатларини талаб қилади.

Электр энергияси тизимининг қувват захирасининг иқтисодий жиҳатдан мақбул қийматини аниқлаш, электр энергияси истеъмолчиларининг юкламасини бошқариш имкониятларини ҳар томонлама таҳлил қилиш билан бирга бўлиши керак. Бироқ, республика ягона электр энергетика тизими юкламаларини бошқариш масалалари ҳар доим фақат электр энергияси тизимининг манфаатларини ҳисобга олган ҳолда ҳал қилинган. Электр энергиясидан фойдаланиш учун

шартномада келтирилган амалдаги тариф ставкасида кўрсатилган кўрсаткич бўйича тўловлар амалга оширилади. Электр энергетика тизимининг диспетчерлик хизмати томонидан қарорлар тезлик билан қабул қилиш ва юкламалар ортиб кетган даврда истеъмолчилар талабидан келиб чиқиб линияларни захира линиясига ўзгартириш имконини яратиш зарур [3].

Шу сабабли, электр энергияси учун электр таъминоти ишончилиги билан фаркланадиган мослашувчан тариф тизимига ўтиш зарур, бу баъзи истеъмолчиларнинг “тиғиз” даврларда электр энергия истеъмолига маълум чекловлар ўрнатилишини назарда тутди.

Электр таъминоти ишончилигини ҳисобга оладиган тариф ставкалари истеъмолчини электр энергиясини истеъмол қилиш тўғрисидаги шартномаларида электр энергетика тизимининг максимал қувватини таъминлайдиган чегарага чек қўйиши керак. Агарда бу етарли бўлмаса, электр энергетика тизими чекловларни шартнома шартларига мувофиқ амалга ошириш зарур.

Бу йўналиш электр энергетика тизимининг мавжуд имкониятларидан максимал даражада фойдаланиш имконини беради, ва бу ҳар икки томон учун ҳам фойдали [5].

Истеъмолчи ва электр энергиясини етказиб берувчи ташкилот ўртасида шартнома тузилгандан сўнг, юкламани олдиндан келишилган чегараларда бошқаришга келишиб олинади. Электр энергиясига бўлган талабдан келиб чиқиб истеъмолчи “тиғиз” даврларда истеъмол қилинган электр энергияси учун 1,5 (ёки 2) баробар тўлов қилишга мажбур бўлади.

Истеъмолчиларнинг электр энергиясига бўлган талаби $R_2 > R_1$ ортиши билан электр энергияси учун тўлов миқдори ҳам $C_2 > C_1$ га ошади, лекин “тиғиз” даврлардаги юкламалар ҳажми $\Delta N_2 < \Delta N_1$ камаяди, яъни бу даврнинг $t_2 < t_1$ қисқаришига олиб келади. Бундай ҳолда, истеъмолчининг электр таъминотига ишончилик даражасининг ўзгариши натижасида олинган таъсир қуйидагича аниқланади:

$$\Delta = (Y_1 - Y_2) - (C_1 - C_2) \quad (3)$$

бунда Y_1, Y_2 – истеъмолчиларнинг электр энергия истеъмол қилишдаги нормал режимдаги ўзгаришлардан келиб чиқадиган йўқотишлар.

Табиийки, барча саноат корхоналари ҳам технологик ҳолатидан келиб чиқиб юклама графикларини тартибга сола олмайди, шунга қарамай, ҳар бир истеъмолчи ўзи учун энг мақбул вариантни топиши керак.

Хулоса қилиб шуни таъкидлаш керакки, вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар жорий этилиши, истеъмолчи маълум иқтисодий самарага эга бўлади агар рағбатлантирилган даврлардан тўғри фойдаланса. Саноат корхоналари натижалари истеъмолдан келиб чиқиб ҳар хил кўринишда бўлади. Вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар тизимига ўтишни амалга ошириш учун қарор қабул қилишда эҳтиёт бўлиш ва келиб чиқадиган техник-иқтисодий кўрсаткичларни истеъмолчиларга чет элда босқичма-босқич амалга оширилишини тушунтириш зарур ҳисобланади.

Адабиётлар

1. Вьюнов В.С., Смирнов О.В. Исследование графиков нагрузки региональной энергосистемы// Актуальные проблемы электроэнергетики: Тез. докл/ Н.Новгород: НГТУ, 1999. -С.43-44.

2. Михайлов В.В. Тарифы и режимы электропотребления. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -216 с.

3. Папков Б.В. Управление электропотреблением - фактор повышения эффективности энергосистемы. -Н.: Новгород, 1995. -36 с.

4. Кадиров К.Ш. Снижение инвестиций на освоение генерирующей мощности при применении дифференцированного тарифа на электроэнергию // Информатика ва Энергетика муаммолари Ўзбекистон журнали. 2014 йил, №6, 93-97 бет.

5. Муратов Х.М., Кадиров К.Ш. Дифференцированный тариф на электроэнергию в Узбекистане: предпосылки и перспективы внедрения // Информатика ва Энергетика муаммолари Ўзбекистон журнали. 2014 йил, №1-2, 85-88 бет.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тавсия этилган*

УДК 621.311

УПРАВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ

А.Н. Расулов

Конденсатор батареяларини очик ва берк схемалар тузилишида бошқариш масалалари кўрилган бўлиб, ўлчов органи сифатида электр қийматларига тасирланадиган реле ишлатилади, кўп секцияли КБ ни максимал ва минимал юклама режимида қурилма қуввати ва тармоқ кучланишини ростлаш диапазони орасида маълум бир боғланиш талаб этилади.

Рассмотрены вопросы структурные управления батарей конденсаторов по разомкнутой и замкнутой схемы, а где в качестве измерительной орган можно использовать реле реагирующий на электрическую величину, для управления многосекционными конденсаторных батарей требуется обеспечить определенное соотношение между мощностью установки и диапазоном изменения напряжения сети в режимах максимальных и минимальных нагрузок.

The issues of structural control of capacitor banks in an open and closed circuit are considered, and where a relay that responds to an electrical value can be used as a measuring organ, to control multisection capacitor banks, it is required to provide a certain ratio between the power of the installation and the range of voltage variation of the network in the modes of maximum and minimum loads.

Значительный рост нагрузок промышленных предприятий потребовал увеличения мощности установленных конденсаторов для улучшения коэффициента мощности. Иногда общая установленная мощность конденсаторов достигает 30% максимума активной нагрузки. При наличии непрерывно включенных батарей конденсаторов, в связи с изменением нагрузки электроустановок, возможно повышение напряжения на шинах подстанций промышленных предприятий, в особенности в ночное время.

При снижении в ночное время нагрузки электроустановок, снабженных батареями конденсаторов, возможно перекомпенсация: реактивная мощность отдается в сеть электрической системы. Это может привести к чрезмерному повышению напряжения на шинах подстанции. Реактивная мощность, отдаваемая конденсаторами, пропорциональна квадрату напряжения, при наличии перекомпенсации увеличиваются потери энергии в электрической сети.

Автоматическое распределение реактивных нагрузок между электростанциями и потоков реактивной мощности по электрическим сетям, может быть достигнуто при автоматическое поддержании напряжения в основных точках электрической сети. При снижении напряжения электрической сети на 5%, потери электроэнергии в ней возрастают на 10% на тех промышленных предприятиях, где регулирование мощности КБ отсутствует.

Автоматическое регулирование мощности КУ необходимо для устранения повышения напряжения при провалах нагрузки, а также для избежания перекомпенсации реактивной мощности [1].

Системы управления конденсаторных установок (КУ) весьма разнообразны и зависят от местных условий и требований. Наиболее распространенными системами управления конденсаторами являются автоматическое регулирование по напряжению, току нагрузки, времени суток и реактивной мощности. Структурная схема автоматического управления приведена на рис.1. В качестве задающего органа на входе цепи управления может использоваться измерительный орган, например реле, реагирующий на электрическую величину. При достижении электрической величины уставки срабатывания измерительного органа последний воздействует на коммутирующий аппарат, включающий в работу БК.

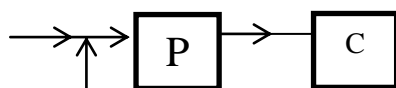


Рис.1. Структурная схема управления БК по разомкнутой схеме: U - контролируемый параметр; U_0 - уставка по контролируемому параметру; U - управляющее воздействие

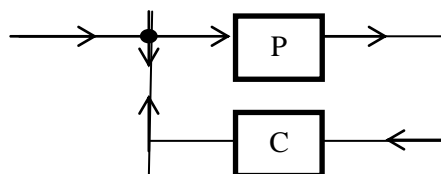


Рис.2. Структурная схема регулирования режима БК по замкнутой схеме: U – контролируемый параметр; U_0 - уставка по контролируемому параметру; U - регулирующее воздействие; ΔU - изменение контролируемого параметра после изменения режима БК

Если её включение не оказывает существенного влияния на измеряемую электрическую величину, то обратного действия от изменения режима сети на вход цепи управления не происходит.

Указанное стрелками направление воздействий проходит по “открытой” цепи управления. Подобное управление режимом БК может осуществляться, когда её работе решается: либо включена, либо отключена. Отключение БК происходит при снижении измеряемой электрической величины до уставки возврата измерительного органа. Естественно, что таким образом вопрос может решаться лишь в том случае, если приходится иметь дело с односекционной установкой. Если мощность второй секции соответствует базисному потреблению реактивной мощности, она может быть постоянно включенной.

В случае многосекционной установки мощность последней изменяется многократно во времени в соответствии с требованием режима узла электрической сети. В результате роста нагрузок узла электрической сети возникают отключения регулируемого параметра от заданного и для восстановления регулируемой величины U (рис.2) до заданного значения необходимо включить в работу одну секцию БК. Зафиксированное измерительным органом автоматического регулятора отклонение параметра U сопровождается появлением регулирующего воздействия, которое приводит к включению коммутирующего аппарата первой секции. После этого параметр восстанавливается до желательного уровня. Это фиксируется измерительным органом регулятора, который прекращает дальнейшую посылку сигнала на увеличение мощности БК. В рассматриваемой схеме звено P представляет собой регулятор, который путем сравнения заданного регулируемой величины, получаемого от заданного органа, и фактического её значения производит измерение отклонения регулируемой

величины и соответственно воздействует на объект. Регулирование режима БК по замкнутой схеме должно применяться для многосекционных батарей. При управлении по разомкнутой схеме односекционной установкой не требуется автоматического регулятора. Наиболее простое управление режимом БК только по напряжению, которое можно измерить в любой точке сети. Однако для управления много секционными БК требуется обеспечить определенное соотношение между мощностью установки и диапазоном изменения напряжения сети в режимах максимальных и минимальных нагрузок:

$$\sqrt{3}I_6 X_c = U'' - U' \quad (1)$$

где U' и U'' – значения напряжения во время максимальных и минимальных нагрузок узла.

Включение или отключение секции БК сопровождается изменением результирующего напряжения на входе регулятора, возникающего не только вследствие изменения генерируемой мощности БК, но и за счет ввода напряжения пропорционального току БК. С учетом того, что изменение режима БК мало сказывается на величине полного тока, управление в этом случае осуществляется по разомкнутой схеме. Подобное управление приемлемо для маломощных односекционных БК, в целях снижения стоимости регулятора ток используется в качестве единственного параметра управления. Если в качестве такого, используется независимый ток I_3 (Рис.3), ток отключения в этом случае выбирается несколько меньше тока включения.

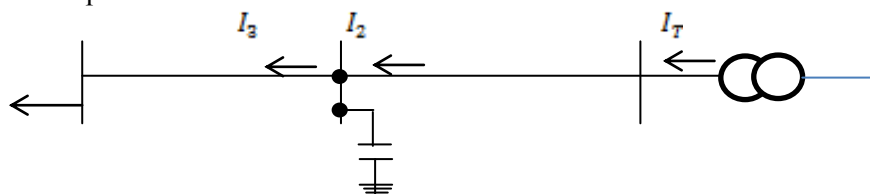


Рис.3. Схема включения источника реактивной мощности: I_1 – реактивный ток источника; I_2 – реактивный ток питающего участка сети, зависящий от режима источника; I_3 – реактивный ток нагрузочного участка сети, не зависящий от режима источника

Если в качестве параметра используется зависимый ток I_2 , то необходимо учитывать, что включение секций БК сопровождается снижением реактивной составляющей этого тока и некоторым снижением полного тока [2].

При разработке простейших устройств управления режимом БК необходимо иметь в виду, что если для обеспечения их функционирования используется и напряжение, то целесообразно принимать напряжение в качестве показателя режима сети, ориентируясь на комбинированный параметр управления режимом БК.

Литература

1. Баркан Я.Д. Автоматическое управление режимом конденсаторных установок поперечного включения // Промышленная энергетика 1972. №10, 4-8.
2. Жежеленка И.В. высшие гармоники в системах электро снабжения промышленных предприятий // - М.: Энергоатомиздат, 2000, 33 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.314

**ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО
ИНВЕРТОРА С ОТСЕКАЮЩИМИ ВЕНТИЛЯМИ**

Х.Б. Сапаев, Ш.Б. Умаров

Мақолада умумлаштирилган матрицани қўллаш орқали уч фазали кесувчи вентилли параллел инвертернинг лойиҳалаш учун самарали математик моделлаштиришнинг натижалари келтирилган. Модел Лаплас усулини қўллаш асосида ишлаб чиқилган ва юқори аниқлик билан инвертор схемасининг элементларини оптимал кўрсаткичларини танланишини таъминлайди, чунки ишга тушириш, юкланма ўзгариши ҳамда кириш кучланишиги камайиши ёки ўсиши давомида вужудга келадиган динамик жараёнларини ҳисобга олади. Уч фазали инверторлари схемаларига хос бўлган фазавий топологик симметрия умумлаштирилган матрицани тузиш учун асос бўлади. Бу матрицадан турли конфигурацияли уч фазали автоном токли инверторлари (АИТ) да ўткинчи ва барқарор ҳолатдаги жараёнларни ҳисоблаш учун фойдаланиш мумкин: параллел АИТ, параллел кетма-кет АИТ, кетма-кет АИТ, кетма-кет параллел АИТ, кесувчи вентилли АИТ ва икки погонли коммутацияли АИТ.

В статье представлены результаты эффективного математического моделирования для проектирования трехфазного параллельного инвертора с отсекающими вентилями за счет применения универсальной матрицы соответствия. Модель разработана на основании применения преобразования Лапласа и обеспечивает выбор оптимальных параметров элементов силовой схемы инвертора с высокой точностью, так как учитывает возможные динамические режимы при пуске, коммутациях нагрузки, уменьшении или увеличении величины входного напряжения. По фазная топологическая симметрия, которая присуща для схем трехфазных преобразователей, может быть использована при расчете для включенных вентиляей, имеющих разные номера. Это обстоятельство положено в основу составления универсальной матрицы соответствия. Данная матрица может использоваться для расчетов переходных и установившихся процессов в трехфазных автономных инверторах тока (АИТ) различных конфигураций: параллельный АИТ, параллельно-последовательный АИТ, последовательно-параллельный АИТ, последовательный АИТ, АИТ с отсекающими вентилями и АИТ с двухступенчатой коммутацией.

This paper presents the results of efficient mathematical modelling for the design of a three-phase parallel inverter with shut-off gates by applying a universal matching matrix. The model is developed on the basis of Laplace transform and provides the choice of optimum parameters of inverter power circuit elements with high accuracy as it takes into account possible dynamic modes at start-up, load switching, reduction or increase of input voltage value. Phase topological symmetry, which is inherent in three-phase converter circuits, can be used in the calculation for switched gates with different numbers. This fact is the basis for a universal matching

matrix. This matrix can be used to calculate transient and steady-state processes in three-phase autonomous current inverters (ACI) of different configurations: parallel ACI, parallel-series ACI, series-parallel ACI, serial ACI, ACI with cut-off gates and ACI with two-stage switching.

Введение. Как известно при проектировании сложных электрических систем, в том числе и электромеханических систем на базе вентильных преобразователей уделяется особое внимание вопросу обеспечения высокого уровня надежности их работы при различных состояниях [1-3]. Это предусматривает возможность разрабатываемой модели учитывать с высокой точностью не только разнообразие схем коммутации, различные режимы работы как при постоянных параметрах нагрузки и входного напряжения, но и практически непрерывную смену структуры силовой схемы по мере включения и отключения вентилях различных групп. Таким образом, этап проектирования на основе использования точной модели обязательно проходит через анализ множества возможных схем замещения, описывающих тип режима преобразователя, как нелинейной цепи [4-9].

Метод. Как известно, одним из перспективных видов преобразователей, которые часто применяются в системах электропривода переменного тока являются вентильные преобразователи на базе трехфазных инверторов тока с различной конфигурацией схемы. Основное преимущество таких преобразователей – это их применение для широкого и экономичного регулирования скорости наиболее массового, дешевого и надежного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Одной из наиболее широко распространенных в практике и которая успешно используется для обеспечения надежного питания асинхронного электропривода с регулируемой частотой схемой является схема трехфазного автономного инвертора тока с отсекающими вентилями [2, 10], которая приведена на рис. 1, где Т1÷Т6 - основные тиристоры, Д1÷Д6 – отсекающие диоды.

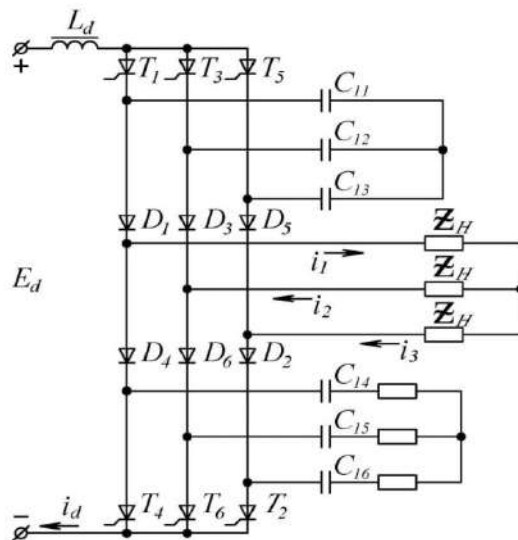


Рис. 1. Инвертор тока с отсекающими диодами

Предлагаемый в статье и используемый далее метод анализа переходных процессов в схемах преобразователей базируется на правилах метода кусочно - линейной аппроксимации и описан в работах автора [4, 6, 10].

Несмотря на некоторую громоздкость метода в части подготовки задачи, он имеет серьезные преимущества:

- не требует больших машинных ресурсов;
- обеспечивает точность анализа в пределах возможностей машины, не зависящую от величины шага по времени, как это присуще различным цифровым моделям электрических цепей;
- не требует разработки специального языка программирования, базируется на разделении функций разработчика и программиста, что соответствует современной тенденции в организации работы вычислительных центров;
- в процедуре поиска моментов выполнения граничных условий, определяющих смену типов на пути развития, метод позволяет использовать не только пошаговый анализ с уточнением моментов смены типа, но и итерационные методы нахождения этих моментов решением не систем, а отдельных трансцендентных уравнений.

В схемах трехфазных преобразователей, благодаря топологической симметрии по фазам, одна и та же схема замещения, как тип, оказывается справедливой и может быть использована для анализа процессов при одном и том же сочетании включенных вентилях, имеющих разные номера. Поэтому операторные схемы замещения составляются для определенных сочетаний номеров включенных вентилях и используются для расчета процесса в необходимом этапе для всех фаз, то есть всех элементов цепи. Для облегчения процедуры программирования и расчета весьма удобно использовать матрицу соответствия, представленную в таблице 1.

Эта же матрица может быть использована и в расчетах интервалов тактирования, содержащих повторяющуюся последовательность типов. Здесь также используется тот факт, что на интервале тактирования процессы в различных фазах нагрузки могут быть описаны одними и теми же соотношениями с учетом перестановок обозначений и знаков, определяемых свойствами трехфазной системы.

В табл.1 колонка $\varphi(t)$ содержит функции в обозначениях, соответствующих анализу операторной схемы замещения любого типа. Остальные шесть колонок устанавливают соответствие функций первой колонки между собой на шести интервалах тактирования работы трехфазной схемы АИТ.

Матрица соответствия используется при анализе переходных процессов инверторов с учетом следующих обозначений:

$i_1 \div i_3, U_1 \div U_3$ - токи и напряжения фаз нагрузки; $U_{11} \div U_{16}$ - напряжения параллельных конденсаторов;

$U_{21} \div U_{23}$ - напряжения последовательных конденсаторов;

$U_{c1} \div U_{c3}$ - напряжения на конденсаторах в АИТ с ДК.

Для всех рассматриваемых инверторов тока при $t = 0$ токи в индуктивностях и напряжения на обкладках коммутирующих конденсаторов принимаются равными нулю.

Таблица 1

Интервал повт. $t \varphi(t)$	$0 \div \pi/3\omega$ T_1, T_2	$\pi/3\omega \div 2\pi/3\omega$ T_3, T_2	$2\pi/3\omega \div \pi$ T_3, T_4	$\pi \div 4\pi/3\omega$ T_5, T_4	$4\pi/3\omega \div 5\pi/3\omega$ T_5, T_6	$5\pi/3\omega \div 2\pi$ T_1, T_6
i_1	i_1	i_2	$-i_3$	$-i_1$	$-i_2$	i_3
U_1	U_1	U_2	$-U_3$	$-U_1$	$-U_2$	U_3
U_{21}	U_{21}	U_{22}	$-U_{23}$	$-U_{21}$	$-U_{22}$	U_{23}
i_2	$-i_2$	i_3	i_1	i_2	$-i_3$	$-i_1$
U_2	$-U_2$	U_3	U_1	U_2	$-U_3$	$-U_1$
U_{22}	$-U_{22}$	U_{23}	U_{21}	U_{22}	$-U_{23}$	$-U_{21}$
i_3	$-i_3$	$-i_1$	$-i_2$	i_3	i_1	i_2
U_3	$-U_3$	$-U_1$	$-U_2$	U_3	U_1	U_2
U_{23}	$-U_{23}$	$-U_{21}$	$-U_{22}$	U_{23}	U_{21}	U_{22}
U_{11}	U_{11}	$-U_{15}$	$-U_{13}$	$-U_{14}$	U_{12}	U_{16}
U_{14}	U_{14}	$-U_{12}$	$-U_{16}$	$-U_{11}$	U_{15}	U_{13}
U_{c1}	U_{c1}	$-U_{c2}$	$-U_{c3}$	$-U_{c1}$	U_{c2}	U_{c3}
U_{12}	U_{12}	U_{16}	U_{11}	$-U_{15}$	$-U_{13}$	$-U_{14}$
U_{15}	U_{15}	U_{13}	U_{14}	$-U_{12}$	$-U_{16}$	$-U_{11}$
U_{c1}	U_{c2}	U_{c3}	U_{c1}	$-U_{c2}$	$-U_{c3}$	$-U_{c1}$
U_{13}	$-U_{13}$	$-U_{14}$	U_{12}	U_{16}	U_{11}	$-U_{15}$
U_{16}	$-U_{16}$	$-U_{11}$	U_{15}	U_{13}	U_{14}	$-U_{12}$
U_{c3}	$-U_{c3}$	$-U_{c1}$	U_{c2}	U_{c3}	U_{c1}	$-U_{c2}$

Переходный процесс пуска АИТ с ОБ по системе управления при работе на активно-индуктивную нагрузку отличается многообразием схем замещения, зависимостью их вида и порядка следования от параметров сглаживающего дросселя, коммутирующих конденсаторов, нагрузки и частоты инвертируемого напряжения.

В основе расчета переходного процесса АИТ с ДК лежат шесть типов схем замещения, различные комбинации которых представляют собой пути развития процесса на интервалах тактирования. При этом в качестве граничных условий переходов схем замещения приняты:

- а) $i_1(\tau) = i_d(\tau)$; б) $i_2(\tau) = 0$; в) $u_1(0) + u_2(0) + u_{c2}(0) < U_{c1}$;
- г) $u_2(\tau) + u_{c2}(\tau) = 0$; д) $i_1(0) = i_2(0)$.

По разработанной математической модели были получены временные диаграммы пуска АИТ с ОБ. На рис. 3, а приведены кривые $i_d(\omega t)$, $u_H(\omega t)$ АИТ с ОБ при $r_H=10$ Ом, $L_d=0,1$ Гн, $L_H=0,011$ Гн, $C=40$ мкф и $E_d=100$ В. На рис. 3, б приведены осциллограммы $i_d(\omega t)$, $u_H(\omega t)$.

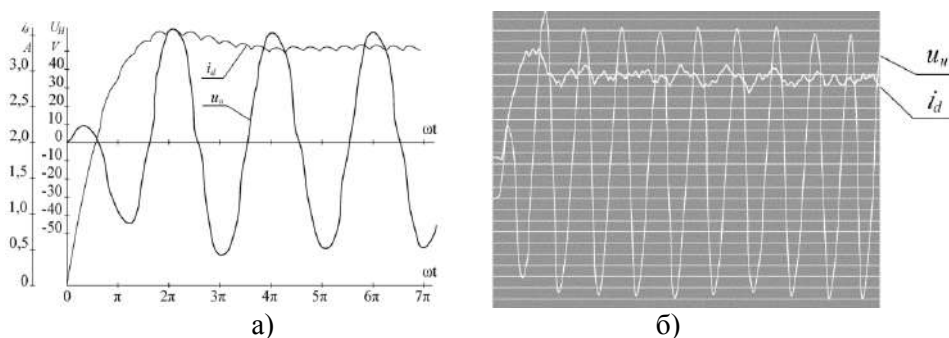


Рис. 2. Расчетные (а) и экспериментальные (б) кривые мгновенных значений токов и напряжений переходного процесса АИТ с ОБ

Выводы. Показано, что анализ путей развития переходного процесса в трехфазных преобразователях на всех этапах в интервалах тактирования может быть обеспечен с помощью предложенной специальной матрицы соответствия.

Благодаря топологической симметрии по фазам в схемах трехфазных преобразователей, одна и та же схема замещения, оказывается справедливой для нескольких топологий силовой схемы и может быть использована для анализа процессов при одном и том же сочетании включенных вентилях, имеющих разные номера.

Хорошее совпадение мгновенных значений токов и напряжений переходного процесса, полученных в эксперименте и расчетом, подтверждает правильность исходных положений метода и разработанных алгоритмов и моделей расчета переходных процессов.

Литература

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира.–Т.: «Fan va texnologiya», 2009, 464 с.
2. М.В.Гельман, М.М.Дудкин, К.А.Преображенский. Преобразовательная техника: учебное пособие. – Челябинск.: Изд-во ЮурГУ, 2009.-425 с.
3. Hongru Yu, Jianhui Su, Haining Wang, Yiding Wang, Yong Shi, Modelling method and applicability analysis of a reduced-order inverter model for microgrid applications IET Power Electron., 2020, Vol. 13 Iss. 12, pp. 2638-2650
4. Kh Sapaev, Sh Umarov. Two approaches for automating analysis of electromagnetic processes in non-linear circuits with valves. E3S Web of Conferences 139, 010 (2019)21.
5. O. Toirov, K. Alimkhodjaev, N. Pirmatov, A. Kholbutaeva, Mathematical model to take into account the influence of saturation of the magnetic circuit on the starting characteristics of a synchronous motor. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 216, 01119 (2020)
6. Sh. Umarov, D. Rakhmatov, Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci.Eng 862, 062032 (2020)
7. Kh. Sapaev, Sh. Umarov, I. Abdullabekov, Critical frequency of autonomous current inverter when operating on active-inductive load. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 216, 01153 (2020)

8. I.Rakhmonov, A.Berdishev, B.Khusanov, U.Khaliknazarov, U.Utegenov. General characteristics of networks and features of electricity consumers in rural areas. IOP Conf. Ser.: 883, 012104 (2020)

9. Pogaku, N., Prodanovic, M., Green, T.C.: 'Modeling analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid', IEEE Trans. Power Electron., 2007, 22, (2), pp. 613–625

10. N. Pirmatov, A. Panoev, Frequency control of asynchronous motors of looms of textile enterprises. E3S Web of Conferences, 2020, 216, 01120

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом.*

УДК 621.313.3.045

**ШАХТА ЎЗИЮРАР ВАГОНЛАРИ ЭЛЕКТР ЮРИТМАСИ УЧУН ҚУТБЛАР
СОНИ ЎЗГАРУВЧАН ЧУЛГАМ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, А.Л. Ҳақбердиев

Мақолада шахта ўзиюрар вагонини иш режимларини тахлили асосида ушбу механизмларни мавжуд электр юритма тизимларини такомиллаштириши учун қутблари 3/6 нисбатли қутбралар ўзгарувчан чулғамли икки тезликли мотор яратиши мақсадга мувофиқлиги асосланган. “Дискрет берилган фазовий функциялар” методини қўллаш орқали статор пазлари 72 тенг бўлган электр мотор учун “Y-Δ/Y” базовий схема асосида қутблари 3/6 нисбатли қутблари ўзгарувчан чулғам олинган ва электр магнит хосасаларини тахлил қилиши йўли билан оптимал қадам аниқланган. Янги ишлаб чиқилган чулғам ҳар иккала қутб томондан ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик, ҳар бир фазанинг бир хил номдаги шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, чулғам қадами $y=7$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ қутб томонда чулғам коэффициентлари мос равишда $k_{чул1}=0,775$ ва $k_{чул2}=0,625$ га тенг.

В статье на основе анализа режимов работы шахтного самоходного вагона обоснована целесообразность создания двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой на соотношение полюсов 3/6 для усовершенствования существующих систем электроприводов этих механизмов. С использованием метода “Дискретно-заданных пространственных функций” для электродвигателя с числом пазов статора равным 72 получена полюсопереключаемая обмотка на соотношение пар полюсов 3/6 на основе базовой схемы “Y-Δ/Y” и путем анализа электромагнитных свойств полученной обмотки выявлен оптимальный шаг. Новая разработанная обмотка совершенно симметрична по отношению к источнику питания со стороны обеих полюсностей, векторы электродвижущих силы одноименных ветвей каждой из фаз симметричны между собой, т.е. равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$ эл. рад. при $y=7$ обмоточные коэффициенты с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{обм1}=0,775$ и $k_{обм2}=0,625$.

On the basis of the analysis of the operation modes of the self-propelled shaft car, the feasibility of creating a two-speed engine with a pole-switched winding for a pole ratio of 3/6 for improving the existing electric drive systems of these mechanisms was justified. Using the method of “Discrete-specified spatial functions” for an electric motor with the number of stator slots 72, a pole-switched winding for the ratio of pairs in 3/6 was obtained based on the basic circuit “Y-Δ/Y” and by analyzing the electromagnetic properties of the obtained winding, an optimal pitch was revealed. But the developed winding is completely symmetrical with respect to the power source on the side of both poles, the vector of the electro-driving forces of the same branches of each phase are symmetrical with each other, i.e. equal in amplitude and phase-

shifted by an angle $2\pi/3$ of the electric rad. at $y = 7$ winding coefficients from $2p_1$ and $2p_2$ of the pole side are equal to $k_{win1} = 0,775$ and $k_{win2} = 0,625$, respectively.

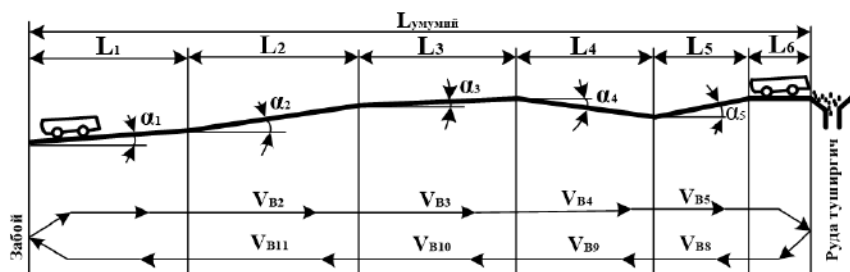
Кириш. Тюбегетан калий конида лаҳим ўтиш комбайнлари билан қазиб олинган кон жинсини руда туширгичга ёки тўғридан – тўғри тасмали конвейерлар бункерларига ташишда пневма ғилдиракли 5BC-15M русумли шахта ўзиюрар вагонлари (ШЎВ) қўлланилади. Бу ШЎВ лаҳим ўтувчи ва лаҳим ўтиб-қазиб олувчи “Урал-10А” ёки ”Урал-20Р” русумдаги планетар-дискли ишчи органига эга комбайнлар билан ҳамда “БП-14М” туридаги бункер-қайта юклагичлар билан биргаликда қўлланилади [1].

Ер ости конларида 5BC-15PB вағони (15т юк кўтариш имкониятига бўлган руда конлари учун портлашдан хавфсиз қилиб ишланган ўзиюрар вагоннинг 5-модели) ва 5BC-15M вағони (замонавийлаштирилган тури) энг кўп тарқалган ҳисобланади. Бу вагонлар ташиш масофаси 200 м гача бўлган 15° гача қияликда ҳаракатланиб 450-800 т/смена унумдорлик билан юк етказиб бериш учун хизмат қилади [2].

ШЎВ нинг юрғизиш механизми иккита алоҳида электр юритмалар билан жиҳозланган бўлиб, улар тегишли ўнг ва чап жуфт ғилдиракларни ҳаракатлантиришади ва кузовнинг ўнг ва чап томонларида орқадаги рамага ўрнатилган. 5BC-15M русумли ШЎВ ҳар бир юрғизиш механизми махсус ишлаб чиқарилган уч тезликли АВТ15-4/6/12 русумли 0,79/0,77/0,75 ФИКли ва 8/14/13% сирпанишли электр мотор билан жиҳозланган. ШЎВ ҳаракатини бошқариш бешта контактор билан амалга оширилади, ҳамда 2,5/1,6/0,8 м/с учта аниқ тезлик билан олдинга ва орқага ҳаракатланиши мумкин [3].

ШЎВни электр мотори 500 айл/мин тезлиги фақат кўзғалиш ва маневр жараёнларида, 1000 айл/мин тезлиги – тезланиш ва секинланиш жараёнида, 1500 айл/мин тезлиги – йўл участкасининг асосий қисмини, яъни 70% да ишлатишга мўлжалланган.

Тюбегетан калий конида мураккаб кон техник шароитни эга бўлиб, яъни камерали қазиб олиш тизимида фойдали қазилма жойлашган қатламнинг ётиш қиялигини тез-тез ўзгариб туриши қазиб олиш лаҳимидаги йўлнинг ҳолатини (1-расмдаги) намунали йўлдан тубдан фарқ қилишига олиб келади, шу сабабли АВТ15-4/6/12 русумли уч тезликли электр моторни фақат иккита, яъни 1000/500 айл/мин тезлигида ишлатишга мажбур бўлинмоқда. Бунда ўз-ўзидан кўриниб турибдики электр моторнинг доимо юклама билан ишлаши статор чўлғамларини муддатидан олдин ишдан чиқишига олиб келмоқда [4].



1-расм. Тюбегетан калий конида ШЎВ ни ҳаракатландиган йўл участкаси

Тюбегетан калий кони мутахассислари талабидан келиб чиқиб ШЎВнинг АВТ15-4/6/12 русумли уч тезликли электр моторининг базасида икки тезликли 6/12 нисбатли, электромагнит кўрсаткичлари юқори бўлган кутблар сони ўзгарувчан статор чўлғамни ишлаб чиқиш зарурияти яққол намоён бўлмоқда.

Асосий қисм. Кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини яратиш методни проф. Каримов Х.Ғ томонидан кашб килиниб “Дискрет берилган фазовий функция” (ДБФФ) усули деб номланади. Бунда чулғам схемасини куриш жараёнини содалаштириш учун тоқлар тақсимланишини ўз ичига олган дискрет берилган фазовий функция (ДБФФ) кўринишидаги тақсимланиш киритилган [5-8].

Маълумки, кутблари нисбати катта бўлган кутблар сони ўзгарувчан чулғам учун $m-2m$ -зонали ва $2m-2m$ -зонали “У/УУ” ва “қўшимча шахобчали У/УУ” базавий схемалари ишлатилади [9-11].

Тегишли базавий схемалари қабул қилингандан сўнг кутблар сони ўзгарувчан чулғамни куриш куйидаги тартибда амалга оширилади [12-14]:

1. Чулғам катта кутбини (дастлабки чулғам) бир қатламининг ДБФФ ёзилади;
2. Чулғам кичик кутбини (намунавий чулғам) бир қатламининг ДБФФ ёзилади;
3. Қўшимча шахобчалар сони ва улардаги ғалтаклар сони аниқланади;
4. Юқорида келтирилган шартларга амал қилган ҳолда учинчи қаторга қўшимча шахобчани ёзилади;
5. Сўнгра, биринчи ва иккинчи қатор фазалар ҳолати таққосланиб, учинчи қаторнинг тегишли пазига модуляцияланган (синтезланган) чулғам, яъни кутблари ўзгарувчан чулғам кичик кутби $2p_1$ ёзилади.

Мисол тарикасида, статор пазлари 72, кутблари нисбати $p_1/p_2=3/6$ бўлган кутблари сони ўзгарувчан чулғам куриш жараёнини кўриб чиқамиз.

1-жадвал

$2p_1=6$ кутб томон учун ДБФФ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	..	7	Пазлар
<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	0	b	b	b	0	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	0	c	c	c	0	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	0	a	a	a	0	..	0	
0	a	a	a	0	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	0	b	b	b	0	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	0	c	c	c	0	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	..	<u>b</u>	

2-жадвал

$2p_1=12$ кутб томон учун ДБФФ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	..	7	Пазлар
			c				b				a				c				b				a	..	a	
<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>c</u>	..	<u>a</u>	

Шу мақсадда икки қатламли халқасимон статор чулғамда тоқлар тақсимланиш жадвали олинади. Бунинг учун жуфт кутб сони $2p_1=6$ бўлган томон учун битта кутб ва фазага тўғри келадиган статор пазлар сони $q_1=4$ бўлган

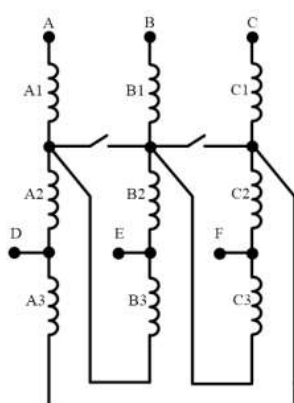
2m-зонали чулғам ДБФФни оламиз, $2p_2=12$ кутб томон учун эса $q_2=4$ бўлган m-зонали чулғамни ДБФФ оламиз. Иккала кутб томон учун ҳам ҳаво оралиғидаги магнит индукцияни мутаносиблигини таъминлаш учун “Y-Δ/YΥ” базавий схемани қабул қиламиз [15]. Қабул қилинган схема бўйича чулғам қадами $y=7$ бўлганда ҳар бир чулғамни юқори ва қуйи қатлам ДБФФ лари алоҳида кўрсатилади (1- ва 2-жадваллар).

Ҳар бир чулғам қуйи қатламларини бир-бирини остига қўйиб чулғам шахобчаларини аниқлаш мумкин. Сўнгра ушбу икки қатламни ДБФФ бирлаштирилади, 3-жадвалда иккита чулғамни қуйи қатламларининг ДБФФ бирикмаси кўрсатилган.

3-жадвал

Иккита чулғам қуйи қатламларини ДБФФни бирлаштириш

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	..	72	Пазлар
0	a	a	a	0	c	c	c	0	b	b	b	0	a	a	a	0	c	c	c	0	b	b	b	..	b	$p_1=3$
a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	..	b	$p_2=6$



Олинган ДБФФга мувофиқ фазаларни бирлаштириш жадвали ёрдамида (4-жадвал) ғалтакларни шахобча бўйлаб тақсимланиш жадвалини олиш ва кутблари ўзгарувчан чулғам уланиш схемасини тузиш мумкин. “Y-Δ/YΥ” узиб-улаш схемасини қуйидаги тармоқларга ажратиш мумкин: биринчи фаза учун A1, A2, A3, иккинчи фаза учун B1, B2, B3, учинчи фаза учун C1, C2, C3 (2-расм).

2-расм. “Y-Δ/YΥ” чулғам схемаси

4-жадвал

“Y-Δ/YΥ” схемасида чулғам шахобчалари жадвали

Шаҳобча номи	Ғалтак рақами	Шаҳобча номи	Ғалтак рақами	Шаҳобча номи	Ғалтак рақами
A1	1, 13, 25, 37, 49, 61	B1	9, 21 33, 45, 57, 69	C1	5, 17, 29, 41, 53 65
A2	14, 15, 16, 38, 39, 40, 62, 63, 64	B2	22, 23, 24, 46, 47, 48, 70, 71, 72	C2	6, 7, 8, 30, 31, 32, 54, 55, 56
A3	2, 3, 4, 26, 27, 28, 50, 51, 52	B3	10, 11,12, 34, 35, 36, 58, 59, 60	C3	18, 19, 20, 42, 43, 44, 66, 67, 68

4-жадвалда “Y-Δ/YΥ” узиб-улаш схемасининг шахобчалари бўйлаб кутблари сони ўзгарувчан чулғам ғалтаклари тақсимланиши ҳолати кўрсатилган.

Олинган чулғам иккала кутб томони учун ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик (5- ва 6-жадвалга қаранг), ҳар бир фазанинг бир

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

хил номли шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, чулғам қадами $u=7$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ кутбли томон учун чулғам коэффициенти мос равишда $k_{обм1}=0,775$ ва $k_{обм2}=0,625$ тенг бўлади.

5-жадвал

$p_1=3$ томон учун чулғам маълумотлари
“Y-Δ/YU” базавий схема шахобчаси

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>
<i>A</i>	13,96	13,96	13,96	13,96	13,96	13,96
$k_{чул}$	0,775	0,775	0,775	0,775	0,775	0,775
φ	97,5	97,5	337,5	337,5	217,5	217,5

6-жадвал

$p_2=6$ томон учун чулғам маълумотлари
“Y-Δ/YU” базавий схема шахобчаси

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>A</i>	37,5	37,5	37,5
$k_{чул}$	0,625	0,866	0,866
φ	47,37	167,37	287,37

Ишлаб чиқилган кутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг асосий кўрсаткичларидан бири бу чулғам коэффициенти ҳисобланади. Чулғам коэффицентини умумлашган усул [9] ва матрицали усулидан [16] фойдаланган ҳолда ҳар бир гармоника учун алоҳида ҳисоблаб чиқиш мумкин. 7-жадвалда ҳар бир гармоника учун чулғам коэффициенти қийматлари келтирилган.

7-жадвал

Чулғам коэффициенти қийматлари

2p	y	Гармоникалар рақами												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	7	0,775	0,88	0,308	0,333	0,502	0,236	0,021	0,00	0,128	0,063	0,189	0,333	0,189
	8	0,846	0,789	0,00	0,577	0,438	0,00	0,201	0,00	0,00	0,211	0,269	0,00	0,269
12	7	0,625	0,265	0,141	0,3	0,097	0,2	0,014	0,3	0,141	0,265	0,625	0,00	0,625
	8	0,56	0,458	0,00	0,3	0,326	0,00	0,326	0,3	0,00	0,458	0,56	0,00	0,56

Ҳар қандай электр машина учун дифференциал сочилиш коэффициенти унинг геометрик ўлчамларига ва пазларнинг қиялигига боғлиқ бўлмайди. Дифференциал сочилиш коэффициенти Гёргес диаграммаси орқали аниқланади

[17, 18]. Агар σ_0 қанча кичик бўлса, юқори гармоникаларни таркиби шунча кам, демак, чулғам шунча яхши параметрларга эга бўлади [19, 20].

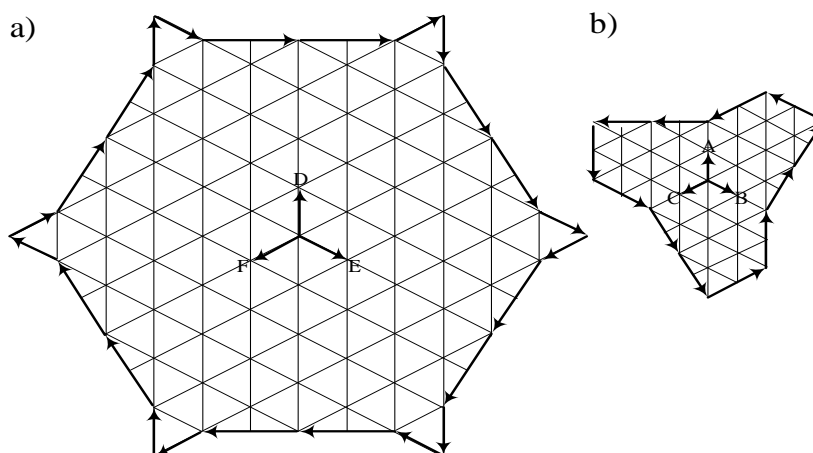
8-жадвал

Дифференциал сочилиш коэффициентини

Пазлар сони	БС	Чулғам қадами	$\sigma_0, \%$	
			$2p_1=6$	$2p_2=12$
72	Y-Δ/YU	7	2,7	9,5
		8	0,6	25,9

Қутблари ўзгарувчан чулғам электромагнит таркибини турли чулғам қадамлари асосида таҳлил қилиш бир вақтнинг ўзида иккала қутб томони учун олиб борилади. Ҳисоб-китоб натижаларини таҳлил қилиш асосида электромагнит ва технологик нуқтаи назардан кўрсаткичлари энг юқори бўлган ҳар иккала қутблар талабини қондирадиган оптимал қадамни аниқлаш лозим.

Статор пазлари 72 тенг бўлган электр моторлар учун “Y-Δ/YU” базавий схема асосида қурилган қутблари 3/6 нисбатли қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг $p_1=3$ қутб томонида чулғам қадами $y=7$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари юқори гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда $v_5=11,0\%$, $v_7=0,3\%$, $v_{11}=1,9\%$, $v_{13}=1,6\%$, чулғам коэффициенти (7-жадвал) ҳисобга олинганда эса $v_5=7,7\%$, $v_{11}=0,5\%$, $v_{13}=0,4\%$ ни ташкил этади (9-жадвал). Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=2,7\%$ га тенг.



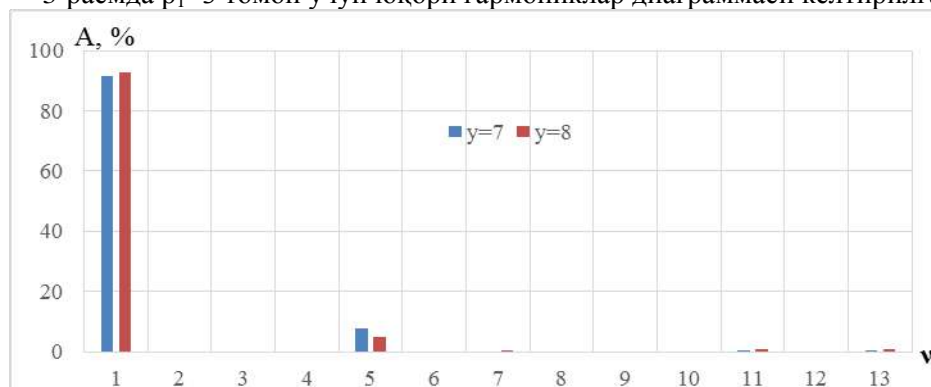
2-расм. Статор пазлари $Z=72$ тенг ва чулғам қадами $y=7$ бўлган “Y-Δ/YU” схема бўйича Гёргес диаграммаси: а) $p_1=3$ томон учун; б) $p_2=6$ томон учун

Чулғам қадами $y=8$ бўлганда юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда $v_5=8,8\%$, $v_7=2,0\%$, $v_{11}=2,4\%$, $v_{13}=2,1\%$, чулғам коэффициенти ҳисобга олинганда эса $v_5=5,0\%$, $v_7=0,5\%$, $v_{11}=0,9\%$, $v_{13}=0,7\%$ ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=0,6\%$.

Кутблари 3/6 нисбатли “Y-Δ/YΥ” кутблари ўзгарувчан чулғамни турли кадамлар учун гармоник таркиби

v	F _{vm} /F _Σ (%)				F _{vm} /F _Σ (%), k _{чул} ҳисобга олинганда			
	p=3		p=6		p=3		p=6	
	y=7	y=8	y=7	y=8	y=7	y=8	y=7	y=8
1	85,2	84,7	65,1	52,0	91,4	92,9	76,4	58,1
2	0,0	0,0	13,8	21,2	0,0	0,0	6,8	19,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	11,0	8,8	2,0	6,0	7,7	5,0	0,4	3,9
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,3	2,0	1,4	4,3	0,0	0,5	0,0	2,8
8	0,0	0,0	3,9	3,5	0,0	0,0	2,2	2,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	2,8	4,2	0,0	0,0	1,4	3,9
11	1,9	2,4	5,9	4,7	0,5	0,9	6,9	5,3
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	1,6	2,1	5,0	4,0	0,4	0,7	5,9	4,5

3-расмда p₁=3 томон учун юқори гармониклар диаграммаси келтирилган.



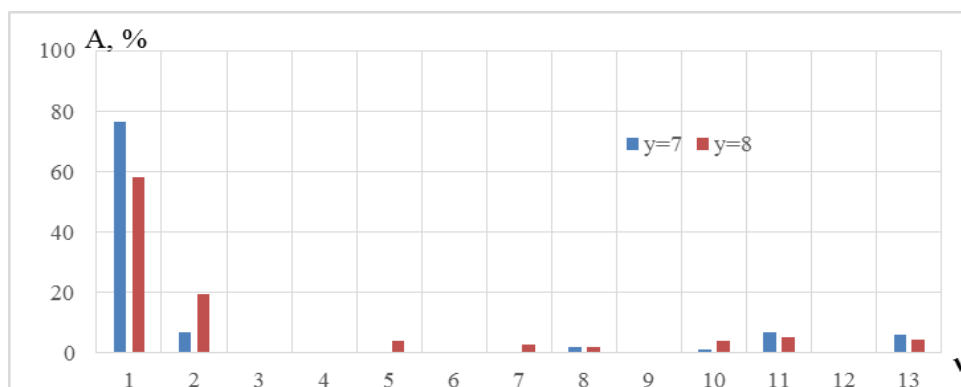
3-расм. p=3 томон учун юқори гармоникалар

Ушбу чулғамнинг p₂=6 кутб томони учун чулғам қадами y=7 бўлганда МЮК шаклида юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда v₂=13,8%, v₅=2,0%, v₇=1,4%, v₈=3,9%, v₁₀=2,8%, v₁₁=5,9%, v₁₃=5,0%, чулғам коэффицентини ҳисобга олинганда эса v₂=6,8%, v₅=0,4%, v₈=2,2%, v₁₀=1,4%, v₁₁=6,9%, v₁₃=5,9% ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффиценти σ₀=9,5% га тенг.

Агар чулғам қадами y=8 тенг бўлганда МЮК шаклида юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда v₂=21,2%, v₅=6,0%, v₇=4,3%, v₈=3,5%, v₁₀=4,2%, v₁₁=4,7%, v₁₃=4%, чулғам коэффиценти ҳисобга олинганда эса v₂=19,4%, v₅=3,9%, v₇=2,8%,

$v_8=2,1\%$, $v_{10}=3,9\%$, $v_{11}=5,3\%$, $v_{13}=4,5\%$, ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=25,9\%$ га тенг.

4-расмда $p_2=6$ томон учун юкори гармониклар диаграммаси келтирилган.



4-расм. $p=6$ томон учун юкори гармониклар

Юкоридаги тахлиллардан кўришиб турибдики, статор пазлар сони 72 ва кутблари нисбати 3:6 бўлган “Y-Δ/YУ” базавий схема асосидаги кутблари сони ўзгарувчан чулғам учун чулғам қадами $y=7$ бўлганда юкори гармоник ташкил этувчилар минимал бўлади.

Ушбу икки тезликли электр моторнинг иккала тезлиги ҳам бир хил аҳамиятга эга бўлганлиги сабабли, кутблари ўзгарувчан чулғамни иккала томон электромагнит таркиби оптимал бўлиши лозим, шунинг учун энг оптимал кадам сифатида $y=7$ ни қабул қиламиз.

Хулоса: 1. Тадқиқот натижасида мураккаб кон техник шароитига эга бўлган конларда уч тезликли электр моторни фақат иккита тезлигида ишлатиш кераклиги асосланди.

2. Кутблар сони 3/6 нисбатили 72 тенг бўлган статор пазлари учун яқин аналогларига нисбатан юкори электромагнит хусусиятларга (чулғам коэффициенти мос равишда $k_{обм1}=0,775$ ва $k_{обм2}=0,625$ тенг) эга янги кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқилди.

3. Олинган ҚСЎЧ иккала кутб томонидан ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик бўлиб, ҳар бир фазанинг бир хил номли шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган.

4. Ишлаб чиқилган ҚСЎЧ электромагнит таркибларини ҳар иккала кутб томонидан ҳар хил кадамлар учун тахлили асосида чулғам қадами $y=7$ ($I \rightarrow 8$) тенг бўлганида электромагнит хоссасалари энг юкори бўлиши аниқланди.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Романов В.А. Повышение эффективности эксплуатации шахтные самоходных вагонов калийных рудников на основе данных комплексного контроля: дис. канд.техн.наук: 05.05.06 – Романов В.А. – Перм, 2019.

2. Серёгин И.Н. Определение оптимальный параметров электро-механической системы ходовой части шахтного самоходного вагона: дис. канд.техн.наук: 05.05.06 – Серёгин Иван Николаевич. – Тула, 2000.

3. Горнодобывающий комплекс Дехконободского завода калийных удобрений. Проект Том 3. Технология горных работ. Горно-механическая часть. Книга 1. Пояснительная записка 12.171-ПЗ.ГМЧ.
4. Ҳақбердиев А.Л. Ер ости кон ишларида ўзиюлар вагонларнинг ишдан чиқиш сабаблари ва уларни бартараф этиш чоралари. Горный вестник Узбекистана. -№2. 2015 г. С. 77-79.
5. Каримов. Х.Г., Тупогуз Ю.А. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока // Электричество. – Москва, 1987. - №9 – С. 29-38.
6. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсопереключаемые обмотки для асинхронных двигателей механизмов с напряженным режимом работы// Электричество. -1996. - №1 – С. 27-32.
7. Каримов. Х.Г. Основы теории и разработка регулируемых бесконтактных электроприводов переменного тока широкой области применения: Дисс. докт. техн.наук. – Ташкент, 1992. – 353с.
8. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для многоскоростных электрических машин. Издательство «Fan va texnologiya», Ташкент, 2010, - 170 с.
9. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми, обмотками, используемые в целях энерго-и-ресурсосбережения. Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. «Фан ва технологиялар марказининг босмахонаси», - Ташкент, 2012. - 179 с.
10. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго-и ресурсосбережение.: Дис. д-ра. техн. наук.- Ташкент, 2006,- 243 с.
11. Rismuxamedov D., Tuychiev F., Rismuxamedov S. Pole-changing windings for turbomechanism engines // CONMECHYDRO – 2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012140, IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/883/1/012140.
12. M.Bobojanov, D.Rismuxamedov, F.Tuychiev, Kh.Shamsutdinov and Kh.Magdiev. Pole-changing motor for lift installation // E3S Web of Conferences 216, 01164 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.
13. Рисмухамедов Д.А. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов Дисс. канд.техн. наук. - Ташкент, 2006. -225 с.
14. Тўйчиев Ф.Н. Катта нисбатли кутблари ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш.: Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси. – Тошкент, 2021, - 98 с.
15. Ванурин В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп.- СПб.: Издательство «Лань», 2016. - 224 с.: ил. ISBN 978-5-8114-1769-8.
16. Попов В.И. Новые схемы трехфазных обмоток электрических машин с улучшенными электромагнитными свойствами: Монография. Н.Новгород: ВГИПИ, 1998. – 116 с.: ил. ISBN 5-88820-044-3.
17. Попов Д.А., Попов С.Д. Критерии оценки полюсопереключаемых статорных обмоток трехфазных многоскоростных асинхронных двигателей // Электричество. - 1997. - № 9. – С. 44-52.

18. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. (2020). Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(7), pp 9206-9211.

19. M.Caruso, A.O.Di Tommaso, F.Marignetti, R.Miceli and G.Ricco Galluzzo. A General Procedure for the Construction of Gorges Polygons for Multi-phase Windings of Electrical Machines. 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) DOI: 10.1109/EVER.2018.8362348.

20. Kovacs C 2018 Pole-Changing Windings for Close Ratio and 1:N Ratio Using the 3//Y/3//Y method. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal 3 (4) pp 241-253. DOI: 10.25046/aj030424.

*Тошкент давлат техника университети ва
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети
Олмалик филиали томонларидан тавсия этилган*

UDC 621.311

CALCULATION AND ANALYSIS OF THERMAL STATE OF A
FREQUENCY CONTROLLED ASYNCHRONOUS MOTOR OF A PUMP
UNIT

R.K. Dusmatov, A.A. Nigmonov, G.B. Sultonova

Maqolada yopiq konstruksiyali chastotaviy rostlanadigan asinxron motorning barqaror holatdagi qizishi uchun issiqlik rejimini hisoblash metodologiyasini qo'llash natijalari keltirilgan. Issiqlik jismlarining, xususan, nasos qurilmasiga o'rnatilgan chastota bilan boshqariladigan asinxron motorning stator chulg'ami haroratining oshishi tahliliga asoslanib, optimal chastotani boshqarish diapazoni 30-50 Gts oralig'ida ekanligi ko'rsatilgan, ya'ni chastotaning pasayishi dvigatelning barcha termal jismlarida haroratning oshishiga olib keladi.

В статье представлены результаты применения методики расчета теплового режима для установившегося нагрева частотно-регулируемого асинхронного двигателя замкнутой конструкции. На основе анализа превышения температуры тепловых тел, в частности обмотки статора частотно-регулируемого асинхронного двигателя, установленного в насосном агрегате, показано, что оптимальный диапазон регулирования частоты лежит в пределах 30-50 Гц, то есть уменьшение частоты вызывает повышение температуры во всех тепловых телах двигателя.

The article presents the results of the application of the method of calculating the thermal state for the steady-state heating mode of the frequency-controlled induction motor of closed design. Based on the analysis of the excess temperature of thermal bodies, in particular the stator winding of the frequency-controlled induction motor installed in the pumping unit, it is shown that the optimal frequency control range lies within 30-50 Hz, that is, the frequency reduction causes an increase in temperature in all thermal bodies of the engine

Related work: A number of works devoted to the study and calculation of thermal processes in electrical machines, including Borisenko A.I., Danko V.G., Yakovlev A.I., Schastliviy G.G., Fedoronko G.M., Vigovskiy V.I., Krushinskiy A.G., Davidov A.N., Khashimov A.A., Imamnazarov A.A. and others.

Introduction: As is known, most of the studies of electrical, energy and thermal characteristics of the regulated electric drive on the basis of induction motors at different values of mechanical loads on their shaft in order to obtain technical solutions that improve their parameters related to low-voltage induction motor drives for general industrial purposes [1, 2, 3, 4]. Despite the fact that high-voltage induction motors have much in common with low-voltage induction motors in terms of design, they have their own distinct specific features, both in terms of design and operation. The study of thermal processes in such motor drives is mainly based on three research methods: the method of heating thermal parameters, the method of the temperature field and the method of equivalent thermal circuits. The analysis of these methods of

thermal calculation showed that the most acceptable method of thermal calculation of regulated high-voltage induction motors is the method of equivalent thermal circuits (ETC). The essence of this method is to replace the solution of the one-dimensional stationary Laplace equation to such a transformation of the element size, which would contribute to the achievement of the desired numerical result, as well as to obtain two-dimensional solutions by adding the thermal conductivities of one-dimensional, based on the equivalence of thermal circuits with linear electric circuits.

Methodology and discussions: The article presents the results of studies of the main thermal parameters of high-voltage induction motors obtained by the proposed method of calculating the thermal state by drawing up graph models for each thermal body — the active parts of the motor [5] for the steady-state heating of the frequency-controlled induction motor (IM) of closed design. In this case, the resulting power loss between the source and the temperature of the thermal bodies equivalent transmission have a dimension of thermal resistance [6] and therefore they will be called the total thermal resistance of the thermal bodies R_{ii} , as well as thermal resistance between the thermal bodies R_{ij} (where i and j — the order numbers of the thermal bodies), then the final form of the solution of the steady-state heating will take the following form:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_{1f} &= R_{11f}P_{1f} + R_{12f}P_{2f} + R_{13f}P_{3f}; \\ \Theta_{2f} &= R_{21f}P_{1f} + R_{22f}P_{2f} + R_{23f}P_{3f}; \\ \Theta_{3f} &= R_{31f}P_{1f} + R_{32f}P_{2f} + R_{33f}P_{3f}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Where

$$R_{11f} = \frac{\Lambda_{11f}\Lambda_{22f}\Lambda_{33f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{13f}\Lambda_{31f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{12f} = \frac{\Lambda_{13f}\Lambda_{12f}\Lambda_{22f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{13f}\Lambda_{31f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{13f} = \frac{\Lambda_{22f}(\Lambda_{11f}\Lambda_{33f} + \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})}{(\Lambda_{22f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{23f}\Lambda_{32f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{21f} = \frac{\Lambda_{21f}\Lambda_{33f}\Lambda_{11f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{13f}\Lambda_{31f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{22f} = \frac{\Lambda_{33f}\Lambda_{11f}\Lambda_{22f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{13f}\Lambda_{31f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{23f} = \frac{\Lambda_{12f}\Lambda_{11f}\Lambda_{33f}}{(\Lambda_{22f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{23f}\Lambda_{32f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{31f} = \frac{\Lambda_{12f}\Lambda_{33f}\Lambda_{11f}}{(\Lambda_{22f}\Lambda_{11f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})};$$

$$R_{32f} = \frac{\Lambda_{13f}\Lambda_{22f}\Lambda_{11f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})(\Lambda_{22f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{23f}\Lambda_{32f})};$$

$$R_{33f} = \frac{\Lambda_{11f}\Lambda_{22f}\Lambda_{33f}}{(\Lambda_{11f}\Lambda_{22f} - \Lambda_{12f}\Lambda_{21f})(\Lambda_{22f}\Lambda_{33f} - \Lambda_{23f}\Lambda_{32f})}.$$

Further, in Fig. 1 the changes of total thermal resistances for IM of A4-457-UH-8UZ type at frequency control in the range of 30-50 Hz are presented. As can be seen, the total thermal resistance of thermal bodies of IM with a decrease in the frequency have the character of increasing. The total thermal resistance of the stator winding and the stator steel (R_{11f} and R_{22f}) with a decrease in the frequency value increases slightly, but the total resistance of the rotor R_{33f} increases at a sufficiently high rate, which is associated with a deterioration in the intensity of the airflow.

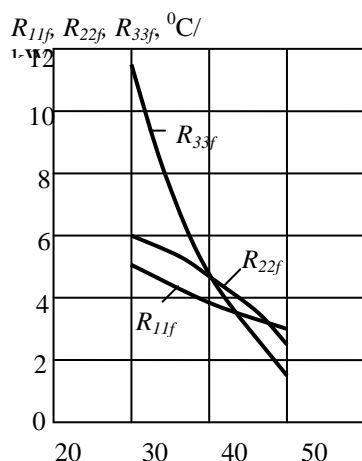


Fig. 1. The change of the total thermal resistances of the thermal bodies of frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type in frequency function

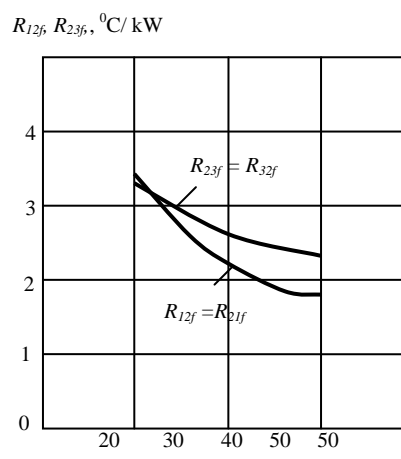


Fig. 2. Changes of the thermal resistances between the thermal bodies of frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type in frequency function

In Fig. 2, the changes of thermal resistances between thermal bodies of IM of A4-457-UH-8UZ type at frequency control in the range of 30-50 Hz are presented. As can be seen from the figure, the thermal resistance between the thermal bodies of IM also has an increasing character, but their increases are insignificant.

In Fig. 3, the changes of power losses of thermal bodies of IM of A4-457-UH-8UZ type at frequency control are presented, when the law of frequency control in the range of 30-50 Hz for the fan type of load is realized.

All the power losses of thermal bodies of this IM with a decrease in the frequency (respectively the decrease of mechanical power on the motor shaft in proportion ω^2) are also reduced according to the nonlinear law. Patterns reduce the loss of heat capacities of all thermal bodies are almost identical. Since in the frequency range 30-50 Hz, the power losses of the rotor IM P3f vary, due to the fact that they consist of electrical losses of the rotor winding (with a decrease in the load, respectively, the current decreases, and electrical losses decrease in proportion to the square of the relative change in the nominal value) as well as losses in the bearings (mechanical losses are associated with a quadratic rate of change) and therefore both losses decrease with a decrease in frequency.

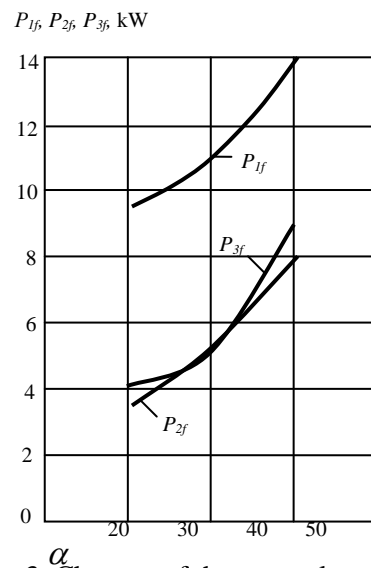


Fig. 3. Changes of the power losses of thermal bodies of frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type in frequency function

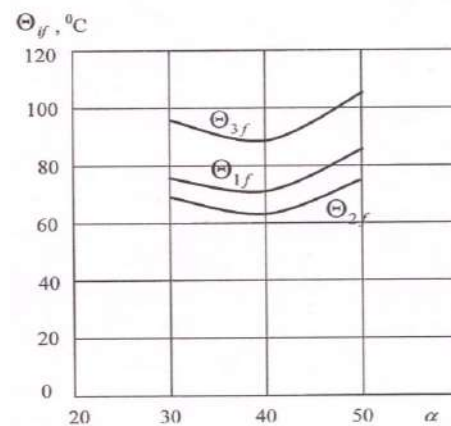


Fig. 4. Changes, exceeding the temperature of thermal bodies of frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type in the frequency function

With the help of the obtained thermal model for each thermal body and solving a system of equations (1), let us determine the excess temperature Θ_{1f} , Θ_{2f} , Θ_{3f} in some parts of the frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type in the implementation of the fan nature of the load (Fig. 4). Exceeding the temperature of all thermal bodies of IM at the beginning of the frequency change at a frequency of 40 Hz is reduced, which is associated with a decrease in the power loss of thermal bodies with a decrease in the mechanical load on the motor shaft. At this frequency, there are minor increases in all types of thermal resistances, which especially do not show their effects on the values of excess temperature of thermal bodies, that is, the change in the speed of rotation of the IM has little effect on them. In the frequency range from 30 to 50 Hz due to the decrease in the intensity of the airflow of thermal bodies, a sharp decrease in the power loss occurs, and, despite these excess temperatures of thermal bodies, they reach values corresponding to their nominal values.

Analysis of the excess temperature of thermal bodies, in particular the stator winding Θ_{1f} of frequency-controlled IM of A4-457-UH-8UZ type (installed in the pumping unit) shows that the optimal frequency control range is 30-50 Hz, that is, a decrease in the frequency cause an increase in temperature in all thermal bodies of the motor. This is due to the design of this type of IM, since this motor having a protected design is blown by a fan located on the shaft of its rotor. Since the performance of the fan is directly related to the speed of rotation of the IM rotor, at low speeds of its rotation, the latter does not contribute to improving the airflow of the motor components.

Conclusions: In order for the IM to work consistently throughout the frequency control range, it is necessary to use an autonomous ventilation system that would allow even at low speed values (rotation frequencies) to improve the degree of air flow of thermal bodies, which in turn will reduce the values exceeding the temperatures of thermal bodies of the frequency-controlled IM pump unit.

Summarizing the above, it can be noted that the developed method for studying the steady-state heating mode of a frequency-controlled induction motor on the basis of a graph model of equivalent thermal circuits allows:

1. To determine the main thermal parameters and the excess temperature of the thermal bodies of the frequency-controlled induction motor;
2. To identify the optimal range of speed control (frequency), taking into account the thermal state of the stator winding.

References

1. Braslavskiy I.Ya., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. Energy-saving induction motor drive. - Moscow, ACADEMA, 2004. p. 280.
2. Khashimov A.A., Mirisaev A. U., Kan L.T. Energy-saving induction motor drive. - Tashkent: "Fan va texnologiya", 2011, p. 132.
3. Khashimov A.A., Serov A.E., Imamnazarov A.T. Electromagnetic and thermal processes in frequency-controlled induction motors. In the book: Automatic machines, electric drives, power semiconductor devices and converter equipment. Moscow, Energoatomizdat, 1983. pp. 223-231.
4. Khashimov A.A. Electromechanical and thermal processes of frequency-controlled induction motor drive. Tashkent: Fan, 1997, p. 104
5. Khasimov A.A., Dusmatov R.K. The method of drawing up a graph model of the thermal state of an induction motor based on its equivalent thermal circuit. // Bulletin of the Turin Polytechnic University in Tashkent. Edition 4/2018, pp. 79-84.6.
Imamnazarov A.T. Calculation of heating of induction motors by means of the transformed equivalent thermal circuits.//Energiya va resurs tejash muammolari. – Tashkent, 2005, No. 1, pp. 20 – 25.

Presented by the Tashkent State Technical University

УДК 621.311

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ**

Э.Г. Усманов, Б.М. Хусанов

Ushbu maqolada 0,4 kV li qishloq tarmoqlarida elektr energiyasi sifatini yaxshilash masalalari ko'rib chiqiladi. Tarmoqning kattaligiga qarab, volt qo'shuvchi transformatorning ikkilamchi chulg'amlarida magnitlanish oqimini o'zgartirishga imkon beruvchi oddiy qurilma taklif etiladi. 0,4 kV magistral liniyalarini ajratishda bunday qurilmalarni o'rnatish kuchlanish va elektr energiya yo'qotishlarini kamaytiradi, shuningdek, tarmoqning nosimmetriyaligini qisman yaxshilaydi.

В данной статье рассматриваются вопросы улучшения качества электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ. Предлагается простое устройство позволяющая, плавно в зависимости от величины сети изменять ток подмагничивания во вторичной обмотке вольтодобавочного трансформатора. Установка таких установок в расщелку магистральных линий 0,4 кВ позволяет уменьшить потери напряжения и потери энергии, а также частично улучшить несимметрию сети.

Conclusion: in this article, the issues of improving electricity in rural areas will be considered 0,4 kv. depending on the size of the network, a simple device is offered, which allows you to change the magnetic flux in the second coils of the buster transformer. Installation of such devices in the separation of the trunk lines of 0,4 kv will reduce voltage and energy losses, as well as partially improve the network's disproportion.

Электроэнергия производится, передается и распределяется как товар, поэтому, как и любой товар, электрическая энергия обладает совокупностью свойств, характеризующих ее способность удовлетворять определенные требования, предъявляемые потребителями этой продукции, т.е. качеством товара. Для количественной оценки качества электроэнергии в нормативных документах установлены ее показатели. Нормы показателей качества электроэнергии установлены в ГОСТ 13109-97.

На каждый конкретный электроприемник показатели качества электроэнергии влияют по-разному. Но в целом для всех электроприемников можно выделить следующее:

- повышение напряжения приводит к нагреву токопроводящих частей бытовых приборов и промышленных установок, а иногда и к выходу электроприемника из строя;

- низкое напряжение в свою очередь делает невозможным пользование бытовыми приборами (снижается световой поток ламп освещения, производительность электродвигателей), приводит к удлинению технологических процессов и к браку в выпускаемой продукции;

- изменение частоты приводит к изменению частоты вращения асинхронных двигателей;

- несинусоидальность напряжения оказывает влияние на работу электронной аппаратуры (телевизоры, компьютерная техника, радиоприемники), а также приводит к нагреву конденсаторных установок;

- колебания напряжения сокращают срок службы электроприемников, вызывают колебания светового потока ламп освещения (фликер), оказывая влияние на здоровье людей.

В сельской местности РУз электроснабжение осуществляется преимущественно воздушными линиями, имеющими большой процент падения напряжения, связанный с их протяженностью. В настоящее время наблюдается интенсивный рост потребления электроэнергии в жилищном секторе. Это все приводит к тому, что линии электропередачи, спроектированные по нормам электропотребления второй половины прошлого века, уже не обладают необходимой пропускной способностью, и качество электроэнергии, у ее потребителей все чаще не соответствует ее нормам. При передаче по электрической сети энергии, не соответствующей требованиям к качеству электроэнергии, растут и ее потери. Встает вопрос об эффективных мерах повышения качества электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,4 кВ. Считается, что из-за относительно коротких фидеров и небольшой присоединенной мощности компенсация реактивной мощности и фильтрация высших гармоник в сетях 0,4 кВ экономически невыгодны. Поэтому разработка простых, надежных и дешевых устройств, для улучшения качества передаваемой энергии потребителю в сетях 0,4 кВ, является актуальной.

Одними из основных показателей качества электроэнергии для сетей 0,4 кВ являются установившееся отклонение напряжения и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Положительные и отрицательные отклонения напряжения не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю в точке передачи электрической энергии.

Передача электроэнергии по воздушным линиям ниже 110 кВ сопровождается неизбежным падением напряжения, которое является комплексной величиной, и определяется как арифметическая разность напряжения в начале линии и напряжения на ее конце или

$$\Delta U = \frac{PR - QX}{U_H}$$

Из данного выражения следует, что уменьшить потери напряжения можно, уменьшив сопротивления линии или реактивную мощность Q . Поскольку уменьшение сопротивления воздушных линий является довольно дорогостоящим мероприятием, можно уменьшить реактивную мощность, которая часто не потребляется в сетях низкого напряжения и приводит лишь к потерям напряжения и, как следствие, к потерям активной мощности.

В настоящей работе рассматриваются вопрос включения вольдобавочного трансформатора в рассечку линии 0,4 кВ и создания системы управления,

подмагничивания сердечника вольтодобавочного трансформатора в функции изменения величины напряжения питающей линии.

В литературе в [1, 2, 3] указывается, что в параметрическом колебательном контуре, состоящего из параллельно соединенных нелинейной индуктивности и емкости включенных последовательно с линейной индуктивностью, при определенных сочетаниях параметров выше указанных элементов и напряжения питающей сети возникают устойчивые параметрические колебания на основной частоте.

При этом начальная фаза тока на неразветвленном участке рассматриваемой цепи относительно начальной фазы приложенного напряжения определяется как:

$$tg\varphi = -\frac{(X_m^6 - 1)tg\psi \frac{\gamma}{\beta}}{(X_m^6 - 1) \frac{\gamma}{\beta} tg\psi}, \quad (1)$$

здесь X_m - поток в относительных единицах; $\beta = \omega^2 CL_0$; $\gamma = \omega L_0 g$ - безразмерные коэффициенты; $tg\psi = -\frac{\beta(1 - X_m^6)}{\gamma} \frac{1}{I}$ - угол начальных фаз между приложенным напряжением и потоком.

Напряжение сети в относительных единицах определяется по следующему выражению:

$$U_m = \sqrt{[\beta(1 - X_m^6)]^2 - \gamma^2} \quad (2)$$

На рис. 1 показана зависимость угла сдвига начальной фазы тока на неразветвленном участке от величины приложенного напряжения построенного на основании выражений (1),(2). Как видно из этой зависимости, сдвиг начальной фазы тока φ имеет свое максимальное значение, при минимальных значениях входного напряжения и плавно уменьшается с увеличением входного напряжения.

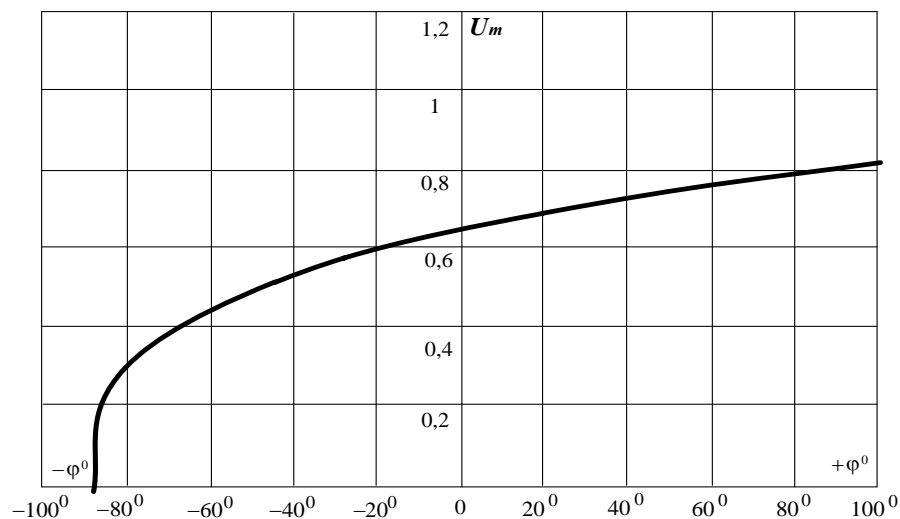


Рис.1

На рис.2 показана однофазная схема вольтодобавочного трансформатора с системой плавного регулирования напряжения в первичной обмотке. Здесь а - устройство регулирования величиной выпрямленного напряжения, б – вольтодобавочный трансформатор.

Подключая встречно-параллельно диоды оптопара на неразветвленный участок параметрической цепи, с тиристоров данных оптопара можно получить сигналы для фазового управления силовыми тиристорами в зависимости от величины входного напряжения. Соответственно на выходе устройства среднее действующая величина выпрямленного напряжение также будет изменяться плавно от величины напряжения питающей сети.

Подавая полученный сигнал на ВДТ получим на выходе изменяющие по величине синусоидальное напряжение в зависимости от величины напряжения питающей сети.

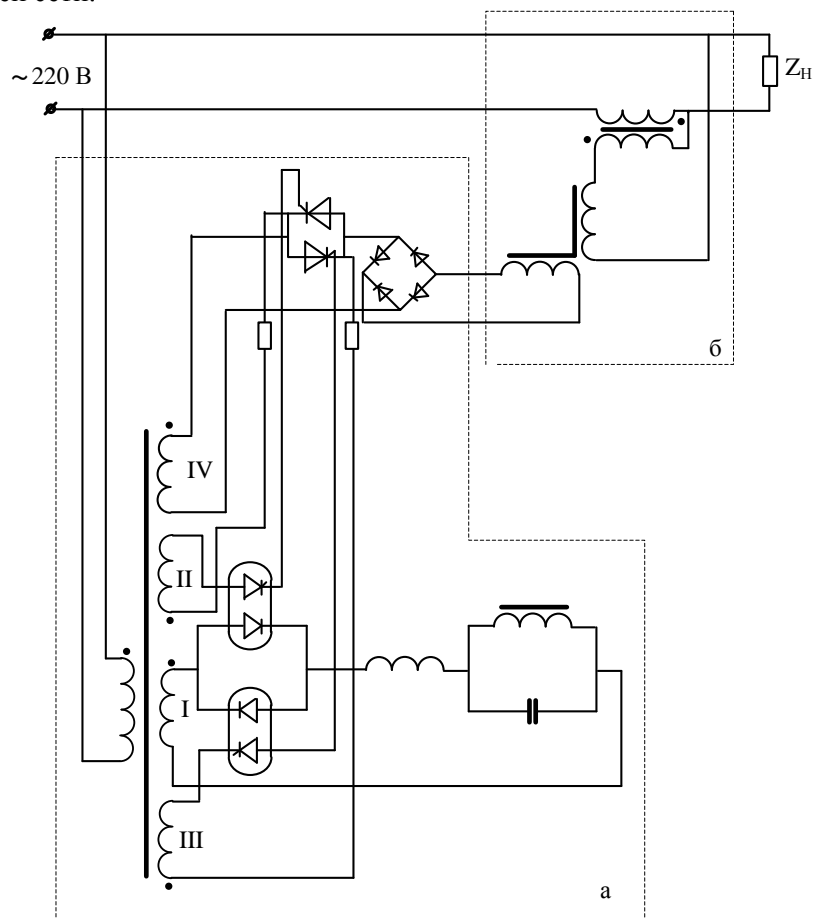


Рис. 2.

Подключение таких устройств в рассечку трех фаз сетей 0,4 кВ уменьшает потери напряжения и энергии, а также частично уменьшает и несимметрию в данных сетях, что приводит еще к большему уменьшению потерь.

Литература

1. Usmanov, E.G. Stability in a parallel resonant circuit with active load. E3S Web of Conferencesthis link is disabled, 2020, 216, 01160.
2. Usmanov, E.G., Khusanov, B.M. Phase relations in resonant circuits with a wide falling section on the amplitude characteristic. E3S Web of Conferencesthis link is disabled, 2020, 216, 01161
3. Э.Г.Усманов, Б.М.Хусанов. Исследование устойчивости в параллельном резонансном контуре с индуктивной нагрузкой. “Энергия ва ресурс тежаш муаммолари”. ISSN 2091-5985. 2020, №3-4, - С.305-308.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехниии. - М.: Гарларики, 2002. – 638 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.314

**NOSIMMETRIK REJIMLARIDA TRANSFORMATORLARNI ENERGIYA
SAMARADORLIGINI OSHIRISH**

I.X. Xoliddinov, Z.Z. Tuychiyev

Maqolada past kuchlanishli elektr tarmoqlaridagi o'rnatilgan nosimmetrik holatlarning parametrlarini aniqlash va nosimmetriya holatini paydo bo'lish sabablari berilgan. LD DIDACTIC laboratoriya jamlanmasi orqali past kuchlanishli elektr tarmog'ini modelidan foydalanib, ulanish sxemasi Y/Y₀ va Y/Z₀ bo'lgan transformatorlarni simmetrik va nosimmetrik ish holatlarida ishlash jarayoni taqqoslangan va energiya samaradorligini oshirish ko'rib chiqilgan.

В статье описаны параметры несимметричных состояний в низковольтных электрических сетях и причины появления несимметрии. Используя модель низковольтной электрической сети через LD DIDACTIC лабораторный сборник, был сравнен процесс работы трансформаторов с схемы соединения Y/Y₀ и Y/Z₀ в симметричных и несимметричных рабочих режимах и рассмотрено повышение энергоэффективности.

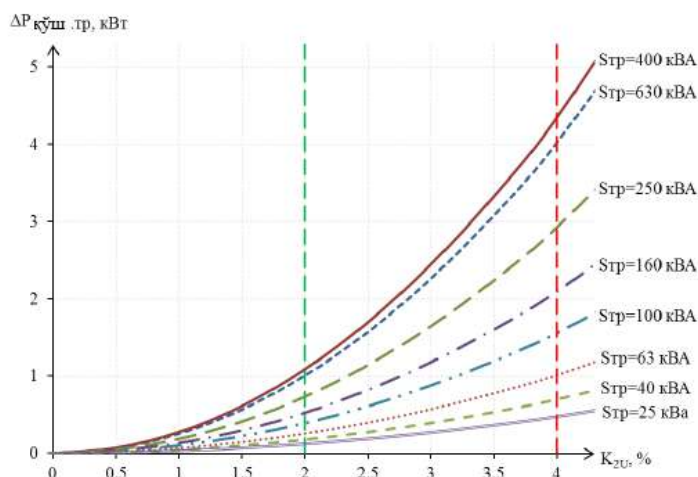
The article describes the parameters of asymmetric states in low-voltage electrical networks and the reasons for the appearance of asymmetry. Using a model of a low-voltage electrical network through the LD DIDACTIC laboratory handbook, the operation of transformers with Y/Y₀ and Y/Z₀ connection groups in symmetrical and unbalanced operating modes was compared and energy efficiency improvements were considered.

Past kuchlanishli elektr tarmoqlarida transformatorlar "yulduzli yulduz" ulanish sxemasi bilan ishlatiladi, ularni nol ketma-ketligi yuqori qarshilikka ega, to'g'ri ketma-ketlik qarshiligidan taxminan 10 baravar yuqori. Shuning uchun, ushbu transformatorlardagi fazalarning nosimmetriya ish holatida, nol ketma-ketlikdagi kuchlanish paydo bo'ladi, bu esa transformatorning ikkilamchi cho'lg'amlarida kuchlanishlar muvozanatini buzilishiga olib keladi. Shuning uchun ko'p hollarda transformatorlarda kuchlanish nosimmetriyasining nol ketma-ketlik tashkil etuvchisi, GOST ruxsat bergan qiymatdan oshib ketadi [1].

Kuchlanish va tok nosimmetriyaligi elektr tarmog'ida elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Past kuchlanishli elektr tarmoqlarida kuchlanish nosimmetriyasi asosan bir fazali kichik quvvatli yoritish va maishiy elektr iste'molchilarini ulanishi sababli yuzaga keladi. Bunday yuklamalar soni katta bo'lmaganligi uchun ularni fazalar bo'yicha bir xil taqsimlash kerak. Kuchlanish nosimmetriyasi transformatorlarning holatiga ham sezilarli ta'sir etib uni ishlash muddatini qisqartirishga olib keladi. Tok nosimmetriyasi 10% ni tashkil etganda, transformatorning izolyatsiyasining eskirishi belgilangan muddatdan 16% ga kamayadi. Agar tarmoqdagi teskari va nol ketma ketlikli nosimmetriklik koeffitsiyentlari qiymati 0,25-0,30 ga teng bo'lganda, unda liniyalar va transformatorlarda quvvat va elektr energiya isrofi simmetrik ish rejimiga nisbatan 30-50% ga ortadi. Oxirgi o'n

yilliklarda qishloq xujaligi tarmoqlarida elektr energiyaning texnologik isroflari 3 marta ortdi va 30% ni tashkil etadi [2].

Kuchlanish nosimmetryasini elektr qurilmalari ishiga qolaversa transformatorlarga ta'siri ko'plab olimlar tomonidan tadqiq etilgan [3]. 1-rasmda kuchlanish nosimmetriyasining teskari ketma-ketligi koeffitsiyenti 2-4% bo'ganda, quvvati 25 kVA dan 630 kVA gacha bo'lgan transformatorlarda qo'shimcha isrofga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan.



1-rasm. Kuchlanish nosimmetriyasining teskari ketma-ketligi koeffitsiyentini qo'shimcha quvvat isrofga bog'liqligi

Kuchlanish nosimmetriyasi quyidagilarga bo'linadi: kuchlanish nosimmetriyasini teskari ketma-ketligi; kuchlanish nosimmetriyasini nol ketma-ketligi [1, 4].

GOST [1] bo'yicha kuchlanish darajasini umumiy holatda (1), (2), (3) ifodalarda berilgan. Kuchlanish to'g'ri tashkil etuvchi (1), kuchlanish teskari tashkil etuvchi (2) va kuchlanish nol tashkil etuvchi (3) ifoda bo'yicha aniqlanadi.

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[(\sqrt{3}U_{AB} + \sqrt{4U_{BC}^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB}\right)^2})^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}}\right)^2 \right]} \quad (1)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[(\sqrt{3}U_{AB} - \sqrt{4U_{BC}^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB}\right)^2})^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}}\right)^2 \right]} \quad (2)$$

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} - 3 \frac{U_B - U_A}{U_{AB}} \right]^2 + \sqrt{4U_{BC}^2 - \left(U_{AB} - \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left(U_{AB} - \frac{U_B - U_A}{U_{AB}} \right)^2}} \quad (3)$$

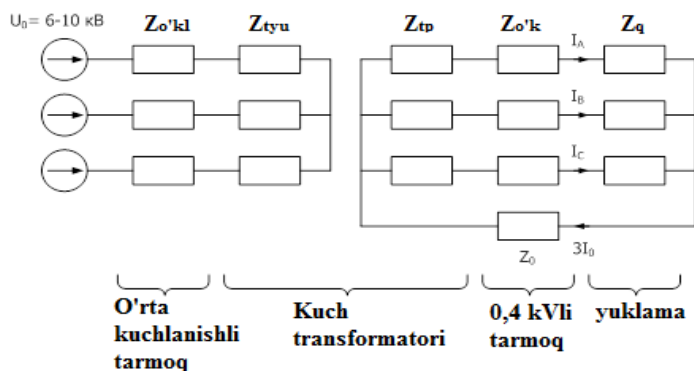
bu yerda U_A va U_B faza kuchlanishlarini qiymati.

Kuchlanish nosimmetriyasi teskari va nol tashkil etuvchi koeffitsiyenti (4) va (5) ifodalar orqali aniqlanadi.

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} * 100 \% \quad (4)$$

$$K_{0U} = \frac{U_0}{U_1} * 100 \% \quad (5)$$

Past kuchlanishli elektr tarmoqlari ta'minot sxemasi 2 rasmda berilgan bo'lib, odatda kuchlanishi 10/0,4 yoki 6/0,4 kV bo'lgan, cho'lg'amlari "yulduz – yulduz-nol" Y/Y₀ ulanish sxemasiga ega transformatorlardan foydalanadi. Bir, ikki va uch fazali yuklamalarga ega bo'lgan iste'molchilarga odatda xavo va kabel linyalari orqali elektr energiyasi etkazib beriladi [4].



2-rasm. Elektr ta'minoti sxemasi

Ushbu transformatorlar fazalar bo'yicha yuklamalar simmetrik bo'lgandagina iqtisodiy samaradorligi yuqori hisoblanadi. Bir fazali yuklamalarning o'ziga xosligi shundaki, elektr tarmoqlarida ularning yuklamalari simmetriyasi vaqt davomida asta-sekin buziladi va bu holatda transformatorlarda va liniyalarda elektr energiyasining yo'qolishi keskin oshadi. Ulanish sxemasi Y/Y₀ transformatorining P_{qt} qisqa tutashuv isrofi nol simdagi tok qiymatiga bog'liq va shu bilan tokning keskin ortishi bilan P_{qt} qisqa tutashuv yo'qotilishi ortib boradi. Ushbu o'sish tarmoqning neytral simida oqadigan I_{nt} nomutanosib toklari hosil bo'lishi natijasida uch fazali ulanish sxemasi Y/Y₀ transformatorlarining magnit o'zagida nol ketma-ketlik oqimlari Z₀ paydo bo'lishi bilan bog'liq. Z₀ nol ketma ketlik oqimi Z_{qt} nol ketma-ketlik qisqa tutashuvli oqimlarga o'xshash tarqoq oqimli xarakteriga ega, ammo uning qiymati sezilarli darajada katta bo'ladi, bu esa Z₀ va Z_{qt} to'la qarshilik nisbatlari qiymatlarini baholash imkonini beradi. Tadqiqod ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, Z₀ ning qiymati Z_{qt} dan 5-8 marta, ba'zi transformatorlar konstruksiyalari uchun esa bu qiymat 12 va undan ko'proqdir [5].

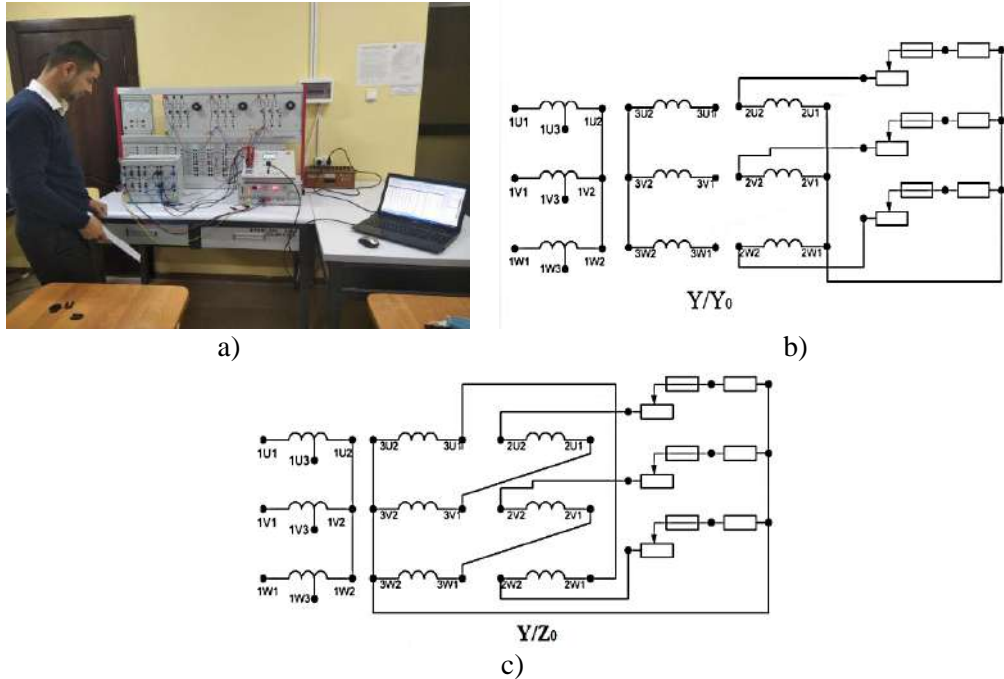
Demak, tarmoqlardagi fazalarning notekis yuklanishining natijasida cho'lg'amlarning ulanish sxemasi Y/Y₀ bo'lgan transformatorlarning fazalar bo'yicha kuchlanish keskin qiymatlar o'zgarishlari sodir bo'ladi (amalda bu nol nuqtasining almashinuvi deb ataladi). Natijada kuchlanishi 10/0,4 yoki 6/0,4 kVli bo'lgan tarmoqlarda quvvat isroflar oshib boradi.

Bundan tashqari, ulanish sxemasi Y/Y₀ bo'lgan transformatorning magnit tizimida yuklama nosimmetrikligi bo'lganda nol ketma-ketlik toklari, transformatorning baki, tubi va qopqog'ini qizdirib, aktiv qismini sovushini yomonlashtiradigan nol ketma-ketlik oqimlarini hosil qiladi. Bu esa maksimal yuklamada cho'lg'amlarning izolyatsiya haroratini me'yordan oshib ketishiga va transformatorni nominal qiymatdan past bo'lgan qiymatda haddan tashqari yuklanishiga olib keladi [5].

Maqolada mualliflar tomonida hozirgi kunda mavjud ulanish sxemasi Y/Y₀ bo'lgan transformatorlar o'rniga ulanish sxemasi Y/Z₀ bo'lgan transformatorlar

qo‘lash orqali nosimmetrik yuklamalarni va elektr energiya sifat ko‘rsatkichlarini rostdash va energiyasamaradorligi tadqiq etilgan.

Buning uchun ulanish sxemasi Y/Y_0 va Y/Z_0 bo‘lgan transformatorlarning sxemasi LD DIDACTIC laboratoriya jamlanmasidagi modeli va ishchi sxemasi 3 a, b, v –rasmlarda keltirilgan [6].



3-rasm. a) LD DIDACTIC laboratoriya jamlanmasining umumiy ko‘rinishi, b) ulanish sxemasi Y/Y_0 va c) ulanish sxemasi Y/Z_0 bo‘lgan transformatorning

Tajriba jarayonida ulanish sxemasi Y/Y_0 bo‘lgan transformatorning har bir fazasiga $R_A = R_B = R_C = 200 \text{ Om}$ bo‘lgan simmetrik yuklamalar ulab, tok va kuchlanish qiymatlari aniqlandi. Ulanish sxemasi Y/Y_0 bo‘lgan transformatorning har bir fazasiga simmetrik yuklama ulanganda nol simdagi tokning qiymati $I_0 = 0.204 \text{ A}$ ni tashkil etdi. Xuddi shunday tajribani ulanish sxemasi Y/Z_0 bo‘lgan transformatorida amalga oshirildi natijada $I_0 = 0.028 \text{ A}$ ni tashkil etdi va qolgan natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

Bundan ko‘rinib turibdiki ikki xil ulanish sxemasiga ega bo‘lgan transformatorida simmetrik yuklama ulash natijasida I_0 simdagi toklar 13,72 % farq qilayotganini ko‘rishimiz mumkin.

Xuddi shunday tajribani nosimmetrik yuklamada amalga oshirilganda shuni aytish mumkinki Y/Y_0 uchun $I_0 = 0.210 \text{ A}$, Y/Z_0 uchun $I_0 = 0.144 \text{ A}$ ni tashkil etganini va nosimmetriya payitda I_0 sezilarli darajada ya‘ni $I_0 = 68.64 \%$ ga ortganini ko‘rishimiz mumkin natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

Xulosa. Ushbu maqolada nosimmetriya holatida past kuchlanishli elektr tarmoqlaridagi transformatorlarida elektr energiyasini sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash, quvvat yo‘qotilishlarini kamaytirish tahlil qilingan. Ulanish sxemasi Y/Y_0 va Y/Z_0 bo‘lgan transformatorlar uchun LD DIDACTIC laboratoriya jamlanmasidagi modelidan foydalanib: simmetrik yuklama uchun Y/Y_0 uchun $I_0 = 0.204 \text{ A}$, Y/Z_0 uchun esa $I_0 = 0.028 \text{ A}$ ni tashkil etganini va bundan ko‘rinib turibdiki ikki xil ulanish

схемасига ega bo'lgan transformatorlarda simmetrik yuklama ulash natijasida I_0 simdagi toklar 13,72 % farq qilganini; simmetrik yuklama uchun esa Y/Y_0 uchun $I_0 = 0.210$ A, Y/Z_0 uchun esa $I_0 = 0.144$ A ni tashkil etganini va nosimmetriya payitda I_0 sezilarli darajada ya'ni $I_0=68.64$ % ga ortganini ko'rishimiz mumkin.

1-jadval

1	Y/Y_0	a	B	c
		$R_A = 200$ om	$I_A = 1,176$ A	$U_A = 233,5$ V
		$R_B = 200$ om	$I_B = 1,184$ A	$U_B = 235$ V
		$R_C = 200$ om	$I_C = 1,173$ A	$U_C = 232$ V
		$I_0 = 0.204$ A		
2	Y/Z_0	$R_A = 200$ om	$I_A = 1,091$ A	$U_A = 216,4$ V
		$R_B = 200$ om	$I_B = 1,061$ A	$U_B = 212,7$ V
		$R_C = 200$ om	$I_C = 1,060$ A	$U_C = 210,5$ V
		$I_0 = 0.028$ A		
3	Y/Y_0	$R_A = 200$ om	$I_A = 1,129$ A	$U_A = 224,1$ V
		$R_B = 230$ om	$I_B = 1,042$ A	$U_B = 238,5$ V
		$R_C = 250$ om	$I_C = 1,047$ A	$U_C = 240,1$ V
		$I_0 = 0.210$ A		
4	Y/Z_0	$R_A = 200$ om	$I_A = 1,099$ A	$U_A = 218,2$ V
		$R_B = 230$ om	$I_B = 0,949$ A	$U_B = 217,3$ V
		$R_C = 250$ om	$I_C = 0,932$ A	$U_C = 215,9$ V
		$I_0 = 0.144$ A		

Foydalanilgan adabiyotlar

- ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- Управление качеством электроэнергии // И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.: ил
- Дед А.В., Паршукова А.В., Халитов Н.А. Оценка дополнительных потерь мощности от несимметрии напряжений и токов в элементах систем электроснабжения международный журнал прикладных и фундаментальных исследований № 10, 2015. с.421-425.
- О.И.Пономаренко, И.Х.Холиддинов. Влияние несимметричных режимов на потери мощности в электрических сетях распределенных систем электроснабжения // Energetik 2015, 12, 6-8.
- Распределительные трансформаторы 6 (10) кВ. Проблема качества электрической энергии в сетях 0,4 кВ. Исследование несимметричной работы трансформаторов // ОАО «АлТранс» [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.alttrans.ru> (дата обращения 5.03.2017).
- WWW.LD DIDACTIC.COM

*Фаргона политехника институти
томонидан тавсия этилган*

УДК. 622.481.24

**ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ВНЕДРЕНИЮ
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕПЛОИСТОЧНИКАХ
РЕСПУБЛИКИ**

М.А. Короли

Иссиқлик таъминоти манбаларининг асосий жиҳозларни ҳолати - шу қадар қониқарсиз ҳолатдаки, яқин 5-10 йил ичида жисмоний ва маънавий эскирган ускуналарни алмаштириши бўйича жиддий ишлар олиб борилмаса, иссиқлик таъминоти манбаларининг мавжуд қувватларини бирданга 30-40% га қисқаришини кутиши мумкин. Қозонхоналар учун ёрдамчи ускуналарни: электр қисми, асбобсозлик, сувтозалаш, бинолар ва иншоотларни реконструкция қилиши, модернизация қилиши ва алмаштириши бўйича муҳим ишларни амалга ошириши талаб этилади. Бугунги кунда қозонхоналарни модернизация қилиши ва реконструкция қилиши бўйича олиб борилаётган ишлар аниқ етарли бўлмаган ҳажмларда амалга оширилмоқда. Энергия самарадорлигини оширишининг асосий вазифаси иссиқлик таъминоти манбаларини ишга яроқли ва самарадор қилишдир. Муаллиф Ўзбекистондаги иссиқлик манбаларида ишлаб чиқариш тармоқларини модернизация қилиши дастурларини амалга оширишида ишлаб чиқариш линияларининг энергия самарадорлигини ошириши имконини берувчи энг самарали энергия тежовчи технологияларни таҳлил қилган. Ушбу иш доирасида ишлаётган иссиқлик электр станцияларининг иссиқлик алмашинувчиларида қурум ҳосил бўлишига қарши қурилмалардан фойдаланишни баҳолаш ва қозонхонада ҳаво ёки сув иситкичини ўрнатиши амалга оширилди. Қурум ҳосил бўлишига қарши қурилмаларни ўрнатиши энергияни тежаши чорасидир. Уни амалга оширилиши натижасида нафақат энергия ресурслари истеъмоли камаймоқда, балки атмосферага чиқиндилар чиқиши миқдори камаймоқда ва иссиқлик таъминоти тизимининг ишончлилиги ошади. Ҳавони олдиндан иситишни ташиқил этиши ёниши тизимининг самарадорлигини 3-5% га оширишига қодир.

Состояние основного оборудования - источников теплоснабжения находится в таком неудовлетворительном состоянии, что в ближайшие 5-10 лет без проведения значительных работ по замене физически и морально изношенного оборудования, следует ожидать лавинообразного снижения на 30-40% располагаемой мощности источников теплоснабжения. Требуется проведение значительных работ по реконструкции, модернизации и замене вспомогательного оборудования котельных: электротехнической части, по КИП и А, водоподготовке, по зданиям и сооружениям. Проводимая сегодня работа по модернизации и реконструкции котельных выполняется в явно недостаточных объёмах. Основная задача по повышению энергоэффективности - это сделать источники теплоснабжения работоспособными и эффективными. Автором проанализированы наиболее эффективные энергосберегающие технологии на теплоисточниках Узбекистана, которые позволят повысить энергоэффективность производственных линий, при реализации

Программ модернизации отраслей промышленности. В рамках данной работы проведена оценка применения антинакипных устройств на теплообменниках действующих теплоэлектроцентралей и установка подогревателя воздуха или воды в котельной. Установка противонакипных устройств является энерго-сберегающим мероприятием. В результате его реализации снижается не только потребление энергоресурсов, но и происходит снижение выбросов в атмосферу и повышается надежность системы теплоснабжения. Организация предварительного подогрева воздуха способна обеспечить повышение КПД системы сжигания на 3-5%.

The condition of the main equipment - sources of heat supply is in such an unsatisfactory condition that in the next 5-10 years without carrying out significant work to replace physically and morally worn out equipment, an avalanche-like decrease by 30-40% of the available power of the heat supply sources should be expected. It is required to carry out significant reconstruction works, modernization and replacement of auxiliary equipment for boiler houses: electrical part, instrumentation, water treatment, buildings and structures. Today, the ongoing works on the modernization and reconstruction of boiler houses are carried out in insufficient volumes. The main task to improve energy efficiency is to make heat supply sources able to work and efficient. The author has analyzed the most effective energy-saving technologies at the heat sources in Uzbekistan, which will improve the energy efficiency of the production lines, during the implementation of the Programs for the industries' modernization. Within this work, an assessment by using anti-scale devices on the heat exchangers in the operating combined heat and power plants has been carried out.

Для Узбекистана актуальна проблема серьезной проработки вопросов применения энергосберегающих технологий, в частности, в теплоснабжении для эффективного использования инвестиций [1]. Поиск больших и малых проектов по техническому и технологическому обновлению производства для обеспечения конкурентоспособности продукции, а также средств и источников для этого должен стать в первую очередь важнейшим делом и обязанностью руководителя и инженерно-технического персонала каждого теплоснабжающего предприятия. [2].

Высокая энергоемкость по-прежнему доминирует во всех секторах экономики республики [3]. В настоящее время производственно-техническим предприятиям республики предоставляются одни из самых крупных в мире энергетических субсидий, оцениваемые приблизительно в 4 млрд. долл. в год [2,4]. Правительство Узбекистана признаёт необходимость повышения внутренних цен на электроэнергию и газ для покрытия реального уровня издержек энергоснабжающих компаний, необходимого для непосредственного удовлетворения спроса, поддержания уровня надежности и технического обслуживания основных фондов. Предприятия смогут сохранить конкурентоспособность только через повышение производительности труда и эффективности использования энергетических ресурсов. Проекты модернизации оборудования на промышленных предприятиях республики, реализованные в рамках программ группы Всемирного Банка, приводили к существенному

повышению энергоэффективности производства и снижению удельного энергопотребления на 40-70%, а также к повышению операционной прибыли на 5-7% даже в неэнергоёмких отраслях промышленности. Несмотря на эти достижения, многие промышленные предприятия игнорируют возможные инвестиции, которые могли бы способствовать повышению уровня энергоэффективности. По меньшей мере 20% предприятий при закупках нового оборудования не принимают в расчет эксплуатационные издержки и затраты на техобслуживание, а еще 22% отдают предпочтение менее эффективным, но более дешевым моделям [5]. Часто общие непроизводственные энергозатраты для поддержания деятельности предприятия ложатся на меньший объем выпускаемой продукции, приводя к увеличению доли энергозатрат в ее себестоимости. Ограниченные финансовые возможности приводят к тому, что возникающие на предприятиях технические проблемы часто решаются по временной схеме, без технико-экономической проработки, а это приводит, в долговременном плане, к большим финансовым потерям.

Основная часть

Применение антинакипных устройств на теплообменниках

При высоком содержании в воде накипеобразующих солей и продуктов коррозии расчетный режим работы теплообменников быстро нарушается. В наибольшей степени загрязнению подвержены теплообменники ГВС, в которых соли жесткости откладываются на поверхностях нагрева со стороны прохода водопроводной воды. Для предотвращения загрязнения теплообменников применяются противонакипные устройства, в основу работы которых положены ультразвуковая или электромагнитная технологии. Противонакипные устройства увеличивают период между чистками теплообменников, в результате чего уменьшаются эксплуатационные расходы на обслуживание тепловых пунктов, снижаются расход циркуляции сетевой воды в системе теплоснабжения и температура сетевой воды в обратном трубопроводе и повышается эффективность использования теплоносителя.

Основной причиной отсутствия массового внедрения противонакипных устройств на тепловых пунктах является недостаточная информированность о данном мероприятии энергоснабжающих компаний [6,7].

Профильные производственные мощности Узбекистана в состоянии обеспечить массовое внедрение данного мероприятия, являющегося экономичным и недорогим. Кроме того, его реализация не требует какой-либо профильной подготовки специалистов [9,10].

1. Формулировка проблемы по рассматриваемому методу (технологии) повышения энергоэффективности; прогноз перерасхода энергоресурсов, или описание других возможных последствий в масштабах страны при сохранении существующего положения

Проблема: загрязнение теплообменников в тепловых пунктах.

При высоком содержании в воде накипеобразующих солей и продуктов коррозии расчетный режим работы теплообменников быстро нарушается. В наибольшей степени загрязнению подвержены теплообменники ГВС, в которых соли жесткости откладываются на поверхностях нагрева со стороны прохода водопроводной воды. Толщина слоя накипи в 1 мм приводит к увеличению расхода теплоносителя в 3 раза. При загрязнении теплообменников снижается

коэффициент теплопередачи, вследствие чего расчетная тепловая нагрузка обеспечивается только при повышенном расходе греющей сетевой воды. В результате загрязнения теплообменных поверхностей, считающееся допустимым ($0,75 \div 0,85$), приводит к увеличению расхода теплоносителя 25%. Циркуляция увеличенного расхода теплоносителя вызывает рост тепловых потерь. Тепловые потери в окружающую среду многосекционных кожухотрубных теплообменников с фланцевыми соединениями и участками неизолированных труб составляют 2% от количества энергии, транспортированного через теплообменник, которое прямо пропорционально дополнительному расходу теплоносителя. В результате расчета на основе приведенных цифр годовые потери тепла, вызванные накипью, могут составить до 40 Гкал на 1 Гкал/час мощности теплообменника [11,12,].

Для восстановления расчетного режима работы требуется вывод теплообменников из эксплуатации и чистка загрязненных поверхностей.

2. Наличие методов, способов, технологий и т.п. для решения обозначенной проблемы

Для предотвращения загрязнения теплообменников применяются противонакипные устройства.

3. Краткое описание предлагаемого метода, его новизна и информированность о нём, наличие программ развития; результат при массовом внедрении в масштабах страны

В основу работы противонакипных устройств положены ультразвуковая или электромагнитная технологии. Благодаря ультразвуку или электромагнитному полю происходят структурные изменения в растворенных солях жесткости, в результате которых твердые отложения не образуются на поверхностях оборудования.

4. Прогноз эффективности метода в перспективе с учётом:

- роста цен на энергоресурсы;
- роста производства
- введением новых экологических требований;
- других факторов.

Противонакипные устройства увеличивают период между чистками теплообменников, в результате чего уменьшаются эксплуатационные расходы на обслуживание тепловых пунктов, снижаются расход циркуляции сетевой воды в системе теплоснабжения и температура сетевой воды в обратном трубопроводе и повышается эффективность использования теплоносителя.

5. Перечень групп абонентов и объектов, где возможно применение данной технологии с максимальной эффективностью; необходимость проведения дополнительных исследований для расширения перечня. Противонакипные устройства могут устанавливаться на теплообменниках систем отопления и ГВС. Наибольший экономический эффект получен на многосекционных кожухотрубных теплообменниках системы ГВС за счет поддержания на расчетном уровне эффективности их работы и предотвращения роста тепловых потерь. Противонакипные устройства могут устанавливаться как на кожухотрубных, так и на пластинчатых теплообменниках [13]. Противонакипные устройства нашли широкое применение на теплообменниках в системах ГВС, но повсеместного применения противонакипных устройств нет.

6. Обозначить причины, по которым предлагаемые энергоэффективные технологии не применяются в массовом масштабе; наметить план действий, для снятия существующих барьеров. Основной причиной отсутствия массового внедрения противонакипных устройств в тепловых пунктах является недостаточная информированность о данном мероприятии энергоснабжающих компаний.

7. Наличие технических и других ограничений применения метода на различных объектах; при отсутствии сведений по возможным ограничениям необходимо их определить проведением испытаний технических ограничений по применению противонакипных устройств в тепловых пунктах нет.

8. Необходимость проведения НИОКР и дополнительных испытаний темы и цели работ необходимости проведения НИОКР и дополнительных испытаний в рамках рассматриваемого мероприятия нет.

9. Существующие меры поощрения, принуждения, стимулирования для внедрения предлагаемого метода и необходимость их совершенствования существующие меры поощрения и принуждения внедрения данного мероприятия отсутствуют.

10. Необходимость разработки новых или изменения существующих законов и нормативно-правовых актов для массового применения противонакипных устройств необходимо внести требования по их установке в нормативную документацию.

11. Наличие постановлений, правил, инструкций, нормативов, требований, запретительных мер и других документов, регламентирующих применение данного метода и обязательных для исполнения; необходимость внесения в них изменений или необходимость изменения самих принципов формирования этих документов; наличие ранее существовавших нормативных документов, регламентов и потребность в их восстановлении на сегодняшний день вопросы применения данного мероприятия в существующей нормативно-правовой базе отсутствуют.

12. Наличие внедрённых пилотных проектов, анализ их реальной эффективности, выявленные недостатки и предложения по совершенствованию технологии с учётом накопленного опыта для оценки результатов работы противонакипных устройств был применен метод сравнения, в котором параметры теплообменников с установленными противонакипными устройствами сравнивались с параметрами не оснащенных АПУ теплообменников.

Обработка зарегистрированных данных выявила следующие изменения параметров работы оснащенных противонакипными устройствами и контрольных теплообменников:

- в летний период разница температур сетевой воды (DT) на входе/выходе каждого теплового пункта, оборудованного АПУ, выше DT в контрольных ТП, расположенных на той же теплотрассе;

- темпы снижения удельного расхода сетевой воды, после отключения ЦО в тепловых пунктах, оборудованных АПУ, выше, чем в контрольных;

- относительно аналогичного периода прошлого года произошло уменьшение удельного расхода сетевой воды в оснащенных АПУ ТП и увеличение расхода сетевой воды в контрольных ТП;

- класс точности средств измерения давления воды не позволил обнаружить отличия в перепадах давления нагреваемой воды до и после установки противонакипных устройств;

- теплообменники, установленные в оборудованных АПУ тепловых пунктах, воспринимают большую часть тепла, содержащуюся в каждой тонне теплоносителя, чем контрольные.

Как правило, низкочастотные организационно-технические мероприятия, позволяющие навести элементарный порядок в энергопользовании, позволяют получить в самый короткий срок экономию до 10-15% энергии [14].

Установка подогревателя воздуха или воды в котельной

Помимо экономайзера, в системе сжигания может быть установлен предварительный подогреватель воздуха (газо-воздушный теплообменник). В таком подогревателе воздух горения, как правило, поступающий из атмосферы и имеющий соответствующую температуру, нагревается за счет энергии дымовых газов, что приводит к охлаждению последних. Повышение температуры воздуха способствует улучшению условий горения, что приводит к повышению общего КПД системы сжигания. В среднем, снижение температуры дымовых газов на каждые 20°C приводит к повышению КПД на 1% [15,17].

Менее эффективный, но более простой способ предварительного подогрева состоит в размещении воздухозаборника под потолком в помещении котельной. Во многих случаях температура воздуха в помещении превышает температуру наружного воздуха на 10-20°C. Это может позволить частично скомпенсировать потери тепловой энергии.

Еще одно решение - организация воздухозабора и отведения дымовых газов при помощи коаксиального газохода (трубы с двойными стенками). Дымовые газы отводятся по внутренней трубе, в то время как по внешней поступает воздух горения. Теплообмен между газовыми потоками через стенку трубы обеспечивает предварительный подогрев поступающего воздуха.

Вместо газо-воздушного может быть установлен водно-газовый теплообменник для предварительного подогрева питательной воды котла.

Организация предварительного подогрева воздуха способна обеспечить повышение КПД системы сжигания на 3-5%.

С подогревом воздуха за счет тепла дымовых газов могут быть связаны и другие преимущества:

- горячий воздух может использоваться для сушки топлива. Это особенно актуально в случае угля или органического топлива;

- если подогрев воздуха предусмотрен уже на стадии проектирования, можно ограничиться котлом меньшего размера;

- горячий воздух может использоваться для предварительного подогрева различных видов сырья.

Помимо преимуществ, с организацией предварительного подогрева воздуха связаны и некоторые проблемы, которые часто оказываются препятствием для реализации подобной схемы:

- газо-воздушный теплообменник, необходимый для подогрева воздуха, требует значительного пространства. Кроме того, теплообмен в нем не настолько эффективен, как в водно-газовом теплообменнике;

- дополнительное падение давления дымовых газов на теплообменнике требует большей мощности вентилятора дымососа;

- горелки должны быть рассчитаны на подачу подогретого воздуха горения, который имеет больший объем. Кроме того, использование подогретого воздуха может представлять проблему с точки зрения обеспечения стабильности пламени;

- повышение температуры пламени может привести к увеличению выбросов NO_2 .

Организация предварительного подогрева воздуха является экономически эффективной при строительстве нового котла или установки. Возможности для изменения существующей схемы воздухозабора или организации предварительного подогрева воздуха на существующем предприятии часто ограничены вследствие причин технического характера и соображений пожарной безопасности. Во многих случаях оборудование существующего котла системой предварительного подогрева воздуха является слишком сложным, а эффективность такого мероприятия незначительна [19,20].

Подогреватели воздуха представляют собой газо-воздушные теплообменники, конструкция которых зависит от диапазона рабочих температур. Подогреватели воздуха не могут применяться при использовании горелок с естественной тягой.

Подогретая вода может использоваться для питания котла или в системах, использующих горячую воду (например, системах централизованного отопления).

На практике потенциал энергосбережения в результате предварительного подогрева воздуха горения достигает нескольких процентов энергии производимого пара. Поэтому даже для небольших котлов общий объем энергосбережения может достигать нескольких ГВт·ч/год. Например, для котла мощностью 15 МВт может быть достигнуто энергосбережение в объеме около 2 ГВт·ч/год, экономический эффект в размере около 30 тыс. евро/год, а также снижение выбросов CO_2 на 400 т/год.

Установка противонакипных устройств является энергосберегающим мероприятием. В результате его реализации снижается не только потребление энергоресурсов, но и происходит снижение выбросов в атмосферу и повышается надежность системы теплоснабжения. Применение противонакипных устройств также на пластинчатых теплообменниках позволяет получить экономию электроэнергии, потребляемой насосами для перекачки повышенных объемов теплоносителя, необходимых для поддержания температуры нагреваемой воды на выходе из загрязненных теплообменников на заданном уровне. А экономия средств на очистку теплообменных поверхностей дополняет экономический эффект применения противонакипных устройств на теплообменном оборудовании.

В результате предварительного подогрева воздуха на практике потенциал энергосбережения горения достигает нескольких процентов энергии производимого пара. Для котла мощностью 15 МВт может быть достигнуто энергосбережение в объеме около 2 ГВт·ч/год.

Литература

1. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. - Т.:2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
2. Постановление Президента РУз «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах». № ПП 1442 от 15.12.2010 г
3. Проект ПРООН / Министерство экономики. Проект «Поддержка Узбекистан в переходе на путь низкоуглеродного развития национальной экономики». Семинар. 23.02.2012 www.mineconomy.uz/cdm
4. Азиатский Банк Развития. Проект «Техническое содействие Республике Узбекистан в оценке энергетических потребностей» 2004 год.
5. Концептуальные положения и направления развития использования возобновляемых источников энергии для производства электрической и тепловой энергии в Узбекистане на долгосрочную перспективу. Документ разработан ГАК «Узбекэнерго» 2011.
6. Анализ основных тенденций систем теплоснабжения// Башмаков И.А. http://solex-un.ru/sites/solex-n/files/energo_files/teplosnabzhenie_i.bashmakov.pdf
7. Короли М.А., Анарбаев А.И. Комплекс технических мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплоснабжения г. Ташкента. Журн. Проблемы энерго- и ресурсосбережения №1-2, Ташкент, 2013. 86с.
8. Короли М.А. Пути совершенствования централизованного теплоснабжения. Материалы 7-й Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. Санкт-Петербург, Россия, 2014 г.
10. Отчет по проекту “Пилотный демонстрационный проект по внедрению теплотехнических систем на объектах теплоснабжения и передачи тепла” Проект ТАСИС EUZ9802, Ташкент, 2002.
11. Зайдлер П., Короли М.А., Миронова О.А. К вопросу эффективности независимых систем отопления. Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук, сб. научных трудов в.1, Ташкент 2002. 65 с.
12. Hegner HD, Vogler I. Energiee in sparv eror dnung EnEV-fürdie Praxis kommentiert: Wärmeschutz und Energie bilanzen für Neubau und Bestand. Rechenverfahren, Beispiele und Auslegungenfür die Baupraxis// Ernst&SohnVerlagfür Architektur und technischeWissenschaften GmbH & Co. KG.Berlin. 2002. – 153 p.
13. Allen B., Savard-Goguen M., Gosselin L. Optimizing heat exchanger networks with genetic algorithms for designing each heat exchanger including condensers// Applied Thermal Engineering. 2009, V. 29, no. 16. P. 3437-3444.
14. Короли М.А., Анарбаев А.И. Развитие сектора теплоснабжения в Узбекистане. Статья в коллективной монографии. г.Миасс. Россия. 2018.
15. Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов. Сборник методических материалов. НИЦЭ. Нижний Новгород. 1998. 64 с.
16. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50.-М.: «Данфосс», 2014. 63 с.
17. Короли М.А., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Научные основы схемно-технологической оптимизации солнечно-топливных котельных. Монография. ЦРНС, Новосибирск. 2016. с.106.

18. Короли М.А., Ишназаров О.Х., Анарбаев А.И. Исследование вопросов внедрения частотно-регулируемого управления электроприводами на оборудовании котельной. Сборник трудов на Международной научно-практической конференции «Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Благовещенск, 2015. стр.273-275

19. Короли М.А., Анарбаев А.И. Расчет экономии топлива от внедрения регулируемого электропривода дутьевого вентилятора котлоагрегата. Сборник трудов на Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018», 24 – 27 сентября 2018, г. Севастополь.

20. Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В. Оценка энергетической эффективности и изменения показателей работы системы теплоснабжения с учетом поэтапного внедрения автоматических узлов учета и регулирования тепловой энергии на потребителях // VII международная научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и техно-логии».-North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015-Том 2. Сс.131-133.

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.314

**ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В
ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
ПРИБОРА «Malika-01»**

И.Х. Холидинов, М.М. Холидинова, А.А. Хошимов

Бугунги кунда энергетика соҳасидаги жаҳон амалиётида электр энергиясини ишлаб чиқариши, узатиши ва истеъмол қилиши самарадорлигини оширишига катта эътибор қаратилмоқда. Истеъмолчиларни узлуксиз юқори сифатли электр энергияси билан таъминлаш ва электр энергияси сифати ёмонлашиши натижасида исрофларни камайтириши долзарб вазифалардан биридир. Бу йўналишда дунёнинг ривожланган мамлакатларида исрофларни камайтириши ва электр энергиясини узатиши самарадорлигини ошириши учун электр энергияси сифат кўрсаткичларини ўлчовчи воситаларидан фойдаланишига катта эътибор қаратилмоқда. Мақолада кўтарилган муаммо электр таъминоти тизимининг элементларида қўшимча исрофларни баҳолашга бағишланган. Электр энергиясининг қўшимча исрофларини баҳолашнинг таниқли усуллари электр жиҳозларининг параметрлари ва электр тармогининг ҳолати ҳақида кўплаб дастлабки маълумотлардан фойдаланишни ўз ичига олади, бу эса уларни кўп ҳолларда асоссиз равишда қийинлаштиради ва вақт сарфлайди. Электр таъминоти тизимлари элементларидаги қўшимча электр энергия исрофларини ҳисоблаш давомида муаллифлар тесқари кетма-кетликда кучланиш носимметрияси коэффициентидан фойдаланганлар. Бунинг учун тесқари кетма-кетликдаги кучланиш носимметрияси коэффициенти автоматик равишда "Малика-01" электр энергиясининг сифатини ўлчаши қурилмаси ёрдамида олинган. Ўқувчиларга тақдим этилган мақолада муаллифлар томонидан ишлаб чиқилган паст кучланишли электр тармоқларида электр энергиясининг сифатини ўлчаши учун мўлжалланган ушбу қурилма ҳақида қисқача маълумот берилган. Кўриб чиқилаётган мавзу электр энергетикаси соҳаси мутахассислари, илмий изланувчилари ва талабаларини қизиқтиради.

На сегодняшний день в мировой практике в сфере энергетики значительное внимание уделяется повышению эффективности генерации, передачи и потребления электроэнергии. Одной из актуальных задач является снабжение потребителей бесперебойной качественной электроэнергией и снижение потерь, возникающих вследствие ухудшения качества электроэнергии. В этом направлении в развитых странах мира уделяется пристальное внимание использованию средств измерений показателей качества электроэнергии для снижения потерь и повышения эффективности передачи электроэнергии. Проблема, затронутая в статье, посвящена оценке дополнительных потерь в элементах электрической системы. Известные методики оценки дополнительных потерь электрической энергии предполагают использование большого объема исходной информации о параметрах электрооборудования и режиму электрической сети, что делает неоправданно сложным и трудоемким их применение в значительном числе случаев. Во время проведения расчета

дополнительных потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения авторы использовали коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности. Для этого коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности получен автоматическим путем с помощью прибора для измерения показателей качества электроэнергии «Малика-01». В предлагаемой вниманию читателей статье кратко излагаются сведения о данном приборе, разработанный авторами и предназначенный для измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных распределительных электрических сетях. Рассматриваемая тема будет интересна специалистам, научным соискателям и студентам электроэнергетической отрасли.

Today, in the world practice in the field of energy, considerable attention is paid to improving the efficiency of generation, transmission and consumption of electricity. One of the urgent tasks is to supply consumers with uninterrupted high-quality electricity and reduce losses resulting from the deterioration of the quality of electricity. In this direction, in the developed countries of the world, close attention is paid to the use of measuring instruments for electricity quality indicators to reduce losses and improve the efficiency of electricity transmission. The problem raised in the article is devoted to the assessment of additional losses in the elements of the electrical system. Well-known methods for estimating additional losses of electrical energy involve the use of a large amount of initial information about the parameters of electrical equipment and the mode of the electrical network, which makes their application unreasonably difficult and time-consuming in a significant number of cases. During the calculation of additional electricity losses in the elements of power supply systems, the authors used the voltage asymmetry coefficient in reverse sequence. To do this, the voltage asymmetry coefficient in the reverse sequence was obtained automatically using a device for measuring the quality of electricity "Malika-01". The article presented to the readers summarizes information about this device, developed by the authors and designed to measure the quality of electricity in low-voltage distribution electrical networks. The topic under consideration will be of interest to specialists, scientific applicants and students of the electric power industry.

Введение. В последние годы проблемы качества электроэнергии и надежности электроснабжения приобретают особую актуальность, так как они являются одними из важнейших условий экономической и длительной эксплуатации любых современных приборов, которые используются в различных отраслях [1, 2-5].

Потери электроэнергии в электрических сетях – важнейший показатель экономичности их работы, наглядный индикатор состояния системы учета электроэнергии, эффективности энергосбытовой деятельности энергоснабжающих организаций [6].

По мнению международных экспертов, относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5%. Потери электроэнергии на уровне 10% можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям [7]. Так

как сегодня этот уровень вырос в 1,5÷2, а по отдельным электросетевым предприятиям – даже в 3 раза, очевидно, что на фоне происходящих изменений хозяйственного механизма в энергетике, проблема снижения потерь электроэнергии в электрических сетях не только не утратила свою актуальность, а наоборот выдвинулась в одну из задач обеспечения финансовой стабильности организаций.

Основная часть. Рассмотрим основные способы оценки дополнительных потерь мощности в базисных элементах систем электропотребления и электроснабжения, обусловленных наличием несимметрии токов и напряжений [1, 8-9].

Линии электропередач, являются важным трансформаторным узлом в структуре электроэнергетических систем. Дополнительные потери активной мощности в линии вызваны только токами обратной последовательности и определяются выражением [15]:

$$\Delta P_{\text{доп.лэп}} = \Delta P_{\text{лэп}} K_{21}^2, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{лэп}}$ - потери мощности в линии электропередачи при симметричном режиме работы; K_{21} - коэффициенты несимметрии токов по обратной последовательности.

Дополнительные потери активной мощности в асинхронном двигателе, обусловленные несимметрией напряжений, не зависят от ее нагрузки [6] и определяются из выражения:

$$\Delta P_{\text{доп.ад}} = 2,41 k_{\text{ад}} K_{2U}^2 P_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $k_{\text{ад}}$ - коэффициент, учитывающий параметры конкретного двигателя (номинальная мощность, потери в меди статора, кратность пускового тока); K_{2U} - коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; $P_{\text{н}}$ - номинальная активная мощность двигателя.

В синхронных машинах дополнительные потери активной мощности, вызванные несимметрией режима работы, присутствуют, как и в статоре и так и в роторе одновременно [1, 10]:

$$\Delta P_{\text{доп.см}} = k_{\text{сд}} K_{2U}^2 P_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{сд}}$ - коэффициент, определяемой в зависимости от типа синхронных машины; K_{2U} - коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; $P_{\text{н}}$ - номинальная активная мощность двигателя.

В силовых трансформаторах при длительном несимметричном режиме работы, вследствие протекания токов обратной последовательности, вызываются дополнительные потери мощности, которые рассчитываются по следующей формуле [16]:

$$\Delta P_{\text{доп.тф}} = K_{2U}^2 \left(\Delta P_{\text{хх}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{u_{\text{кз}}^2} \right), \quad (4)$$

где K_{2U} - коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; $\Delta P_{\text{хх}}$ - потери в режиме холостого хода; $\Delta P_{\text{кз}}$ - потери в режиме короткого замыкания; $u_{\text{кз}}$ - напряжение короткого замыкания.

В конденсаторных установках дополнительные потери, вызванные несимметричной нагрузкой, можно определить по формуле [16]:

$$\Delta P_{\text{доп.КУ}} = K_{2U}^2 Q_H \operatorname{tg} \delta = K_{\text{КУ}} K_{2U}^2 Q_H, \quad (5)$$

где Q_H - номинальное значение реактивной мощности конденсаторной установки; $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь; $K_{\text{КУ}}$ - поправочный коэффициент, рекомендуемое значение – 0,003 [16].

Для того, чтобы рассчитать экономический ущерб, вызванного снижением качества электроэнергии, вследствие наличия несимметрии токов и напряжений, необходимо использовать следующую формулу:

$$\mathcal{E} = \Delta W_{\text{доп}} T, \quad (6)$$

где $\Delta W_{\text{доп}}$ - дополнительные потери электроэнергии за необходимой временной интервал; T - стоимость электроэнергии в денежном эквиваленте за кВт·ч.

Величина дополнительных потерь электроэнергии определяется выражением:

$$\Delta W_{\text{доп}} = \Delta P_{\text{доп}\Sigma} t, \quad (7)$$

где $\Delta P_{\text{доп}\Sigma}$ - суммарные дополнительные потери мощности в элементах рассматриваемой электрической системы; t - временной интервал, за который требуется найти величину потерь энергии (смена, сутки, месяц, год).

Суммарную величину дополнительных потерь мощности по отдельности во всех элементах рассматриваемой системы электроснабжения можно определить с помощью выражения:

$$\Delta P_{\text{доп}} = \Delta P_{\text{доп.ТРЕ}} + \Delta P_{\text{доп.ЛЭПЭ}} + \Delta P_{\text{доп.СМЭ}} + \Delta P_{\text{доп.АДЕ}} + \Delta P_{\text{доп.КУЭ}}. \quad (8)$$

Результаты. Автором создано инновационное устройство [17], выполненное на современной микропроцессорной базе. Данное устройство измерения обладает высокими метрологическими характеристиками и отвечает требованиям ГОСТ [18].

Измеритель выполнен в виде единого устройства, собранного в пластмассовом корпусе (рис. 1), обеспечивающем механическую и электрическую защиту как самому измерителю, так и работающему с ним персоналу [19-20].



Рис. 1. Измерительное устройство «Malika-01»

Измеритель показателей качества электроэнергии «Malika-01» предназначен для работы в продолжительном непрерывном режиме в электрических сетях и системе электроснабжения частотой 50 Гц с номинальным напряжением 0,4 кВ. Область применения измерителя:

- а) контроль КЭ в однофазных и трехфазных ЭС с номинальной частотой 50 Гц;
- б) обследование электросетей предприятий (энергоаудит);
- в) измерение активной и реактивной энергии в качестве счетчика электрической энергии.

Выводы. В результате использования данного прибора получаем информацию для оценки дополнительных потерь электроэнергии в элементах систем электроснабжения [1]. Определение экономического ущерба носит приближенный характер и направлено в первую очередь на предварительный расчет экономической целесообразности применения тех или иных мероприятий по снижению уровня несимметрии токов и напряжений в низковольтных распределительных электрических сетях.

Литература

1. Kholiddinov I.X. et al. Analysis of the impact of electric energy quality indicators on the energy efficiency of asynchronous motors // Scientific-technical journal. – 2021. – Т.4. – №2. – С. 15-22.
2. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х., Махмудов Т.Ф., Мусинова Г.Ф., Холиддинова М.М. Обеспечение качества электрической энергии // Монография. – Т.: Илд-во «Fan va texnologiya», 2019. 207 с.
3. К. Аллаев: «Современная энергетика и перспективы её развития». 2020.
4. Аллаев К.Р. Ўзбекистон электр энергетикаси ва унинг ривожланиш истиқболлари // Т. Фан ва технологиялар. 2017, 310 б.
5. Allaev K.R., Holydinov I.Kh. Analysis of indicators of the quality of electric energy in distribution networks of 6-10/0.4 kV // Problems of energy and computer science, 2015. – №6. P. 61-65.
6. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Ташкент, Молия, -2007. – 388 с.
7. Холиддинов И.Х. Разработка измерительного устройства для определения дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок // Ёш олим ва талабаларнинг “XXI аср – интеллектуал авлод асри” шиори остидаги илмий амалий конференция, –Тошкент, 2015.–С. 314-319.
8. Kholiddinov I.K. et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) //The American Journal of Applied sciences. – 2020. – Т.2. – №10. – С. 33-37.
9. Kholiddinov I.K. et al. Modular method of calculation of asymmetry of currents and voltage in the electric network of 0, 38 kV // Europäische Fachhochschule. – 2015. – №. 8. – С. 57-61.
10. Сиддиқов, И.Х. Несимметрия токов и напряжения в трехфазных электрических сетях // И.Х.Сиддиқов, И.Х.Холиддинов // Энергетика: управле-

ние, качество и эффективность использования энергоресурсов : Сборник трудов восьмой международной научно-технической конференции, Благовещенск, 27 мая 2015 года – 29 2012 года / отв. ред. Н.В.Савина. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2015. – С. 191-195.

11. Холиддинов И.Х. Алгоритм определения уровня несимметрии напряжений // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов восьмой международной научно-технической конференции, Благовещенск, 27 мая 2015 года – 29 2012 года / отв. ред. Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2015. – С. 196-201.

12. Сиддиков И.Х. и др. О методике расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии в электрических сетях и разработка мероприятий по их уменьшению // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». – 2014. – №. 1-2. – С. 190.

13. Аллаев К.Р. и др. Алгоритм расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии // Государственно-патентное ведомство РУз. Свидетельства. – 2014. – №. 20140089.

14. Пономаренко, О.И. Влияние несимметричных режимов на потери мощности в электрических сетях распределенных систем электроснабжения / О.И. Пономаренко, И.И. Холиддинов // Энергетик. – 2015. – № 12. – С. 6-8.

15. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2013. – 424 с.

16. Шидловский А.Н. Повышение качества энергии в электрических сетях. / А.Н. Шидловский, В.Г. Кузнецов – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.

17. Патент UZ FAP №01166. Устройство для регистрации дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок в низковольтных электрических сетях / Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х. // Расмий ахборотнома. –2016, – № 12. – С. 36. 22.05.2015.

18. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

19. Пономаренко О.И., Холиддинов И.Х. Обеспечение приборной базы системы контроля качества электроэнергии в современных системах электроснабжения // Universum: технические науки. 2016. №8 (29).

20. Пономаренко, О.И. Автоматизированная система анализа и управления качеством электроэнергии на предприятиях электрических сетей / О.И. Пономаренко, И.Х. Холиддинов // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2017. – № 7(96). – С. 46-50.

*Представлено Ферганским
политехническим институтом*

УДК 621.313.3.045

ТРЕХФАЗНАЯ ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМАЯ ОБМОТКА ДЛЯ АСИНХРОННЫХ МАШИН НА ПРИВОДЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ

М.К. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Туйчиев

Мақолада кўп тезликли моторлардан фойдаланиши орқали вентиляторларнинг самарадорлигини ошириши масалалари, шунингдек, кутблар сони ўзгарувчан чулгамларни яратилиши муаммолари кўриб чиқилган. ҲҲҲ/ҲҲҲ узиб-улаш базавий схема асосида статор пазлари 36 ва кутблар нисбати 4/6 бўлган янги икки қатламли уч фазали кутблар сони ўзгарувчан чулгамни қуриши тартиби тақдим этилган. Электромагнит хусусиятларни таҳлил қилиши натижаларига кўра оптимал чулгам қадами танланган. Янги кутблар сони ўзгарувчан чулгамли икки тезликли экспериментал мотор серияли ишлаб чиқариладиган А80В4У3 типидagi магнит ўтказгич асосида яратилган. Электр моторнинг хусусиятларини таҳлил қилиши ANSYS/Maxwell дастури ёрдамида амалга оширилган. Шунингдек, янги икки тезликли моторни статик ва динамик режимларда экспериментал тадқиқот натижалари ҳам келтирилган. Динамик режимларни ўрганиши учун янги икки тезликли мотор ВЦУН 160x74 -0,55 -4 туридаги вентилятор билан бирлаштирилди.

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности вентиляторов посредством применения многоскоростных двигателей, а также рассмотрены проблемы создания полюсопереключаемых обмоток. Представлен порядок построения новой двухслойной трехфазной полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 4/6, выполненная в 36 пазах статора на основе базовой схемы переключения ҲҲҲ/ҲҲҲ. По результатам анализа электромагнитных свойств выбран оптимальный шаг обмотки. Экспериментальный двигатель с новой полюсопереключаемой обмоткой создан на основе магнитопровода серийной асинхронной машины типа 4А80В4У3. Анализ свойств электродвигателя проводился с использованием программы ANSYS/Maxwell. Также приведены результаты экспериментальных испытаний нового двухскоростного двигателя в статическом и динамическом режимах. Для исследования динамических режимов новый двухскоростной двигатель был сочленен с вентилятором типа ВЦУН 160x74 - 0,55 - 4.

The article discusses the issues of increasing the efficiency of fans through the use of multi-speed motors, and also considers the problems of creating pole-changing windings. The procedure for constructing a new two-layer three-phase pole-changing winding with a pole ratio of 4/6, made in 36 stator slots on the basis of the basic switching scheme ҲҲҲ/ҲҲҲ, is presented. Based on the results of the analysis of the electromagnetic properties, the optimal winding pitch was selected. An experimental motor with a new pole-changing winding was created on the basis of a magnetic circuit of a serial asynchronous machine of the 4A80B4UZ type. The analysis of the properties of the electric motor was carried out using the ANSYS/Maxwell program. The results of experimental tests of a new two-speed motor in static and dynamic

modes are also presented. To study the dynamic modes, the new two-speed motor was coupled with a VSUN 160x74-0.55-4 fan.

Введение. Более 35% от общей выработанной в мире электроэнергии потребляется насосами, вентиляторами и компрессорами и по данным Международного энергетического агентства, к 2040 году эта цифра увеличится вдвое [1]. С целью повышения эффективности вентиляторов в последнее время приобретает актуальность регулирование скорости вращения электродвигателей этих механизмов. Относительно дешевым и простым способом регулирования скорости вращения является применения многоскоростных двигателей [2].

В большинстве случаев в двухскоростных двигателях укладываются две независимые обмотки [3], по этой причине неэффективно используется магнитопровод двигателя, в свою очередь использование одной полюсопереключаемой обмотки (ППО) позволяет улучшить энергетические показатели двигателя, экономить обмоточную медь и изоляционные материалы [4].

Потребность в двигателях с переключением полюсов возникла на самых ранних этапах разработки асинхронных двигателей. Проблемой создания ППО занимались многие ученые из разных стран мира, в результате этих исследований было разработано большое количество схем ППО с различным соотношением полюсов [5, 6].

Серийные двухскоростные двигатели с соотношением пар полюсов 1/2 имеют в статоре полюсопереключаемую обмотку по схеме Даландера [7, 8]. Двухскоростные двигатели с соотношением чисел полюсов 2/3 и 3/4 выполняются с полюсопереключаемыми обмотками, полученными по методу амплитудно-фазовой модуляции [9, 10, 11].

Недостаток известных обмоток в том, что на разных скоростях вращения они имеют разные энергетические показатели, ухудшенные электромагнитные свойства, а также сложную технологию изготовления, связанную с выполнением катушек разноразмерными и с разными шагами [12]. Кроме того, полюсопереключаемые обмотки, полученные вышеприведенными принципами, со стороны одной полюсности имеют близкую к синусоидальной картину намагничивающих сил, а со стороны второй полюсности в кривой намагничивающих сил имеются высшие гармонические.

Для упрощения процесса построения схемы обмотки введен новый способ представления токораспределения в виде дискретно-заданных пространственных функций (ДЗПФ), откуда и метод получил название «Метод ДЗПФ», предложенный профессором Каримовым Х.Г. [13, 14]. На основу этого подхода положен новый принцип, при котором берутся две двухслойные петлевые обмотки нормального исполнения (т.е. обмотки, наиболее распространенные в электромашиностроении) с заданными числами пар полюсов p_1 и p_2 и фаз m_1 и m_2 , имеющие высокие электромагнитные свойства, и одновременно используются в процессе проектирования обмоток [15, 16, 17].

Разработка ППО с соотношением полюсов 4/6.

Одним из распространенных является соотношение полюсов 4/6, так как двухскоростные машины с таким соотношением могут быть использованы на приводах турбомеханизмов и других установок. В качестве примера рассмотрим построение полюсопереключаемой обмотки в 36 пазах с помощью метода

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

ДЗПФ. За исходные обмотки возьмем две двухслойные петлевые m -зонные обмотки статора, размещенные в 36 пазах, с числами пар полюсов $p_1=2$ и $p_2=3$. Число пазов на полюс и фазу для этих обмоток будут равны $q_1=6$ и $q_2=4$. В соответствии с развернутой схемой получена ДЗПФ каждой обмотки отдельно (табл. 1, 2).

Таблица 1

ДЗПФ $2p_1=4$ полюсной обмотки

Пазы статора																																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	e
d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	f	

Таблица 2

ДЗПФ $2p_2=6$ полюсной обмотки

Пазы статора																																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b
a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	c	

Объединение катушечных групп в обмотку осуществляется в соответствии с базовой схемой (БС) «УУУ/УУУ». Расположив нижний ряд каждой обмотки, друг под другом (табл. 3), по наименованию фазы в пазу с одной и другой обмоткой, можно определить ветвь, которой соответствует тот или иной номер катушки.

Таблица 3

ДЗПФ нижних слоев 4 и 6 полюсных обмоток, размещенные друг под другом

Пазы статора																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	d	d	d	d	d	d	e	e	e	e	e	e	f	f	f	f	f	f	f	
a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	

Например, паз №1 при $p_1=2$ полюсной обмотки соответствует фазе d , а при $p_2=3$ фазе a , следовательно, принадлежит ветви А-Д. Основываясь на этот способ, группируем катушки (табл. 4) в ветви БС «УУУ/УУУ» (рис.1).

Таблица 4

Группировка катушек в ветви обмотки

№ катушек	Ветви БС УУУ/УУУ								
	А-Д	А-Е	А-Ф	В-Д	В-Е	В-Ф	С-Д	С-Е	С-Ф
1, 2, 3, 4	25, 26, 27, 27	13, 14, 15, 16	5, 6, 19, 20	7, 8, 29, 30	17, 18, 31, 32	21, 22, 23, 24	9, 10, 11, 12	33, 34, 25, 36	

Полученная обмотка совершенно симметрична по отношению к источнику питания со стороны обеих полюсностей, векторы ЭДС одноименных ветвей каждой из фаз симметричны между собой, т.е. равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$ эл. рад., при $y=7$ обмоточные коэффициенты с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{обм1}=0,87$ и $k_{обм2}=0,808$.

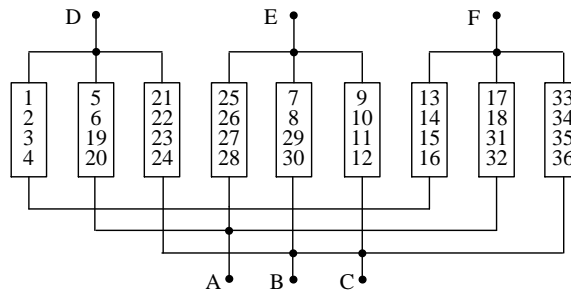


Рис.1. Электрическая схема ППО

При анализе электромагнитных свойств ППО одновременно рассмотрены расчетные данные гармонического состава картин МДС с учетом обмоточных коэффициентов и коэффициенты дифференциального рассеяния со стороны обеих полюсностей [19, 20]. Коэффициент дифференциального рассеяния [21] новой ППО на соотношение полюсов 2/3 в 36 пазах статора со стороны $2p_1=4$ полюсов при шаге $y=7$ равен $\sigma_0=5.1\%$, а со стороны $2p_2=6$ полюсов - $\sigma_0=4.9\%$.

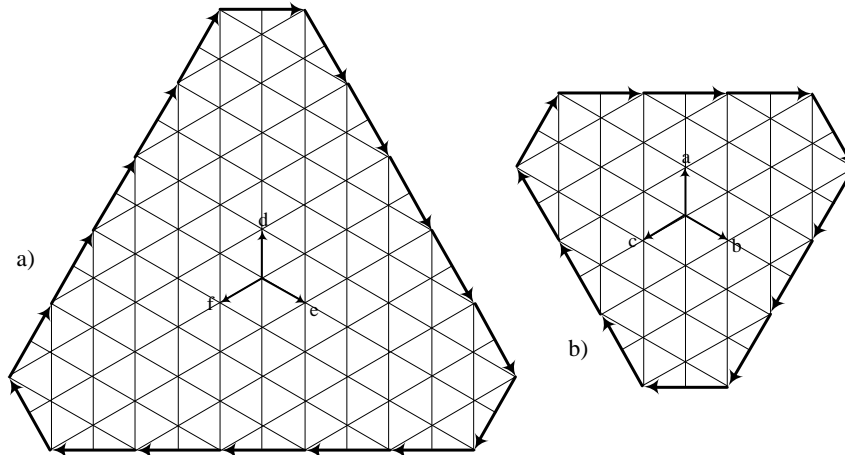


Рис.2. Диаграмма Гёргеса новой ППО: а) со стороны $2p_1=4$, б) со стороны $2p_2=6$

В картине МДС ППО со стороны $2p_1=4$ полюсов при шаге обмотки $y=7$ кроме первой гармоники присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 11-я, 14-я, 16-я и 17-я гармонические, их амплитуда в относительных единицах составляет $A_2=0,09$, $A_5=0.001$, $A_7=0.005$, $A_8=0.001$, $A_{11}=0.003$, $A_{14}=0.003$, $A_{16}=0.012$, $A_{17}=0.059$ соответственно. ППО со стороны $2p_2=6$ полюсов при шаге обмотки $y=7$ кроме первой гармоники присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 10-я, 11-я, 13-я, 14-я и 16-я гармонические, их амплитуда в относительных единицах составляет $A_2=0.036$, $A_5=0.001$, $A_7=0.001$, $A_8=0.009$, $A_{10}=0.007$, $A_{11}=0.091$, $A_{13}=0.077$, $A_{14}=0.005$, $A_{16}=0.004$ соответственно.

Расчет двухскоростного двигателя с данной ППО был произведен на базе магнитопровода односкоростного двигателя 4A80B4У3. На основе расчетных данных был изготовлен опытный образец ДД с ППО на базе магнитопровода серийной машины типа 4A80B4У3 с числом пазов статора $Z_1=36$ и ротора $Z_2=28$, электродвигатель выполнен на магнитопроводе с внешним диаметром статора

$D_{внеш}$ =131 мм и внутренним диаметром статора $D_{внут}$ =84 мм, длина пакета статора $l_{ст}$ =98 мм, воздушный зазор δ =0,25 мм.

Таблица 5

Гармонический состав МДС

$2p$		Номер гармонических																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
6	$K_{обв}$	0.87	0.46	0.21	0.13	0.01	0.21	0.21	0.05	0.0	0.05	0.2	0.21	0.01	0.13	0.21	0.46	0.87	
		A ,	4.47	0.77	0.00	0.00	0.03	0.00	0.09	0.03	0.0	0.02	0.06	0.00	0.01	0.09	0.00	0.09	0.26
		A , ое	1.00	0.09	0.00	0.00	0.001	0.00	0.005	0.001	0.0	0.00	0.003	0.00	0.00	0.003	0.00	0.012	0.059
	6	$K_{обв}$	0.808	0.21	0.00	0.21	0.05	0.00	0.05	0.21	0.0	0.21	0.808	0.00	0.808	0.21	0.00	0.21	0.05
		A	3.08	0.41	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.10	0.0	0.08	0.28	0.00	0.23	0.05	0.00	0.05	0.01
		A , ое	1.00	0.036	0.00	0.00	0.001	0.00	0.001	0.009	0.0	0.007	0.091	0.00	0.077	0.005	0.00	0.004	0.00

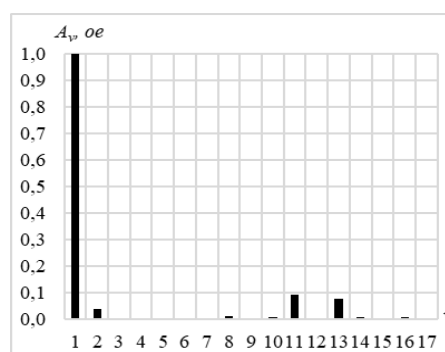
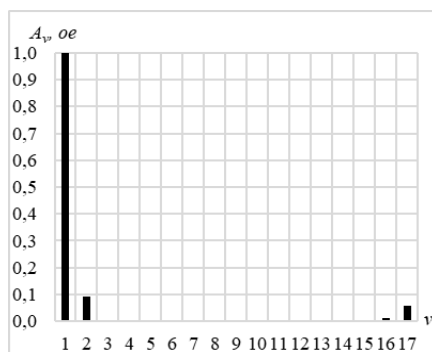


Рис.3. Гармонический состав МДС: а) со стороны $2p_1=4$, б) со стороны $2p_2=6$

С помощью программного модуля ANSYS/Maxwell был смоделирован ДД с ППО. На рис.4 показаны картины распределения магнитной индукции со стороны $p_1=2$ и $p_2=3$ полюсов. Графики показывают, что в случае $p_1=2$ максимальная плотность потока наблюдается в зубцах статора.

Опытный образец полюспереключаемого двухскоростного двигателя с близким соотношением полюсов, который был испытан в статических режимах и были сняты рабочие и механические характеристики. На рисунках 5, 6 показаны рабочие характеристики нового ДД, построенных по результатам экспериментальных исследований.

Как показали экспериментальные исследования нового двигателя 4A80B4/6У3 со стороны $p_1=2$ пар полюсов полезная мощность достигает значения $P_2=1.1$ кВт при КПД $\eta=75\%$, $\cos\varphi=0,83$, $I_1=2.7$ А, а со стороны $p_2=3$ пар

полюсов двигатель может развить мощность $P_2=0.7$ кВт при КПД $\eta=71\%$, $\cos\varphi=0.87$, $I_1=1.7$ А (табл.6).

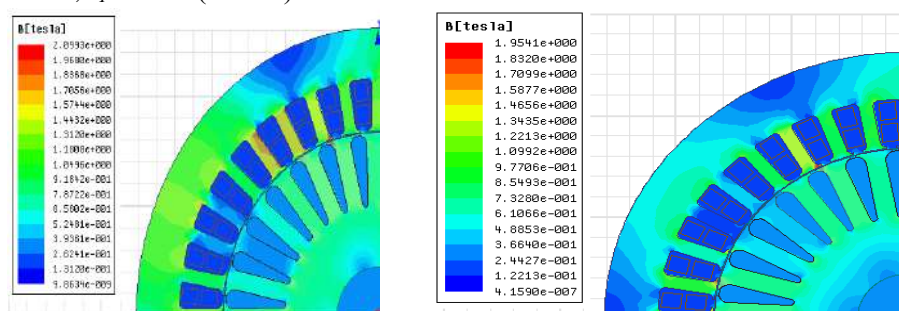


Рис.4. Картина распределения индукции

Таблица 6

Данные рабочих характеристик

№	I_1	P_2	η	$\cos\varphi$	M	I_1	P_2	η	$\cos\varphi$	M
	А	Вт	%		Нм	А	Вт	%		Нм
	со стороны $p_1=2$					со стороны $p_2=3$				
1	1,1	200	79	0,34	1,3	0,9	100	59	0,26	0,9
2	1,2	400	84	0,57	2,5	1	200	72	0,42	1,9
3	1,5	600	84	0,71	2,9	1,1	300	77	0,55	2,9
4	1,7	700	83	0,75	4,6	1,2	400	78	0,66	3,9
5	1,9	800	82	0,78	5,3	1,3	500	76	0,74	5
6	2,1	900	80	0,81	6	1,4	600	74	0,8	6,1
7	2,3	1000	78	0,82	6,7	1,7	700	71	0,84	7,2
8	2,7	1100	75	0,83	7,7	2,1	800	65	0,87	8,5
9	3,1	1200	71	0,83	8,3	2,9	900	52	0,88	10,3

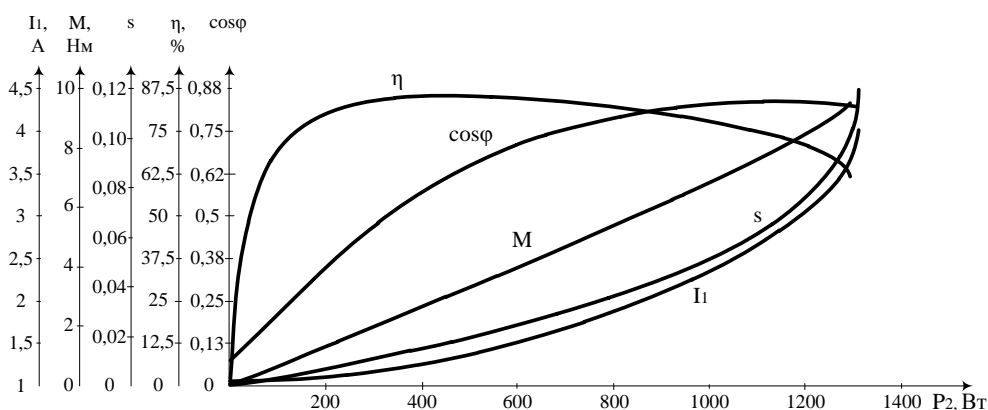


Рис. 5. Рабочие характеристики нового ДД со стороны $p_1=2$ полюсов

На рис.7. представлены механические характеристики ДД с ППО 4А80В4/6У3. Как видно из рис. 7, механические характеристики имеют гладкий вид, значение пускового момента со стороны $2p_1=4$ полюсов равно 7.1 Нм, а со стороны $2p_2=6$ полюсов 4.6 Нм. Значение максимального пускового момента со стороны $2p_1=4$ полюсов равно 12.5 Нм, а со стороны $2p_2=6$ полюсов 9.5 Нм.

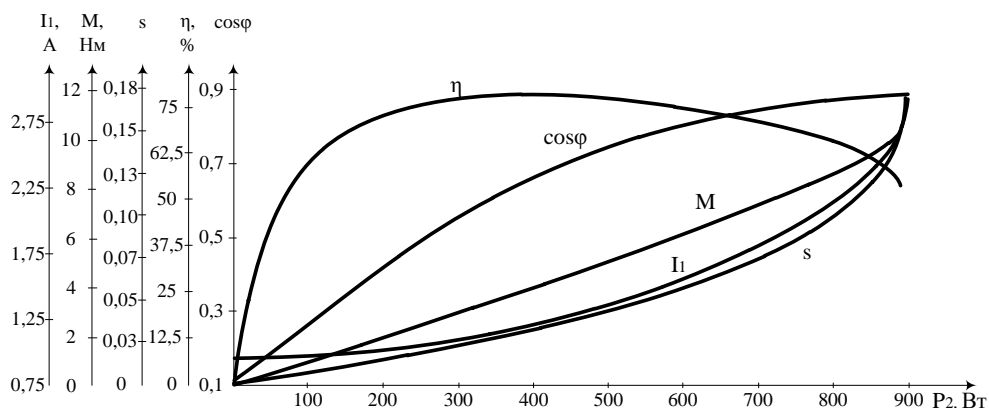


Рис. 6. Рабочие характеристики нового ДД со стороны $p_2=3$ полюсов

Для подробного изучения работы новой системы электропривода с двухскоростным асинхронным двигателем на соотношение полюсов 2/3 были проведены исследования в динамических режимах на приводе вентилятора типа ВЦУН 160x74-0,55-4 (рис.8). Новый полюсопереключаемый асинхронный двигатель был исследован в следующих динамических режимах работы [16, 22]:

- а) пуск двигателя при номинальных режимах на 1500 оборотах;
- б) пуск двигателя при номинальных режимах на 1000 оборотах.

На рис. 9,а показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_1=2$ полюсности. Как можно заметить из этой кривой наступление установившегося режима работы двигателя происходит через 0.2 с, значение пускового тока достигает 13,53 А.

На рис. 9,б показана кривая изменения тока статора в зависимости от времени при пуске из состояния покоя со стороны $p_2=3$ полюсности.

Как можно заметить из этой кривой наступление установившегося режима работы двигателя происходит через 0.12 мс, пусковой ток -10,87 А.

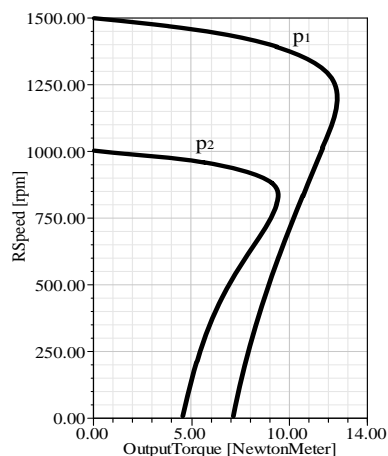


Рис.7. Механические характеристики ДД

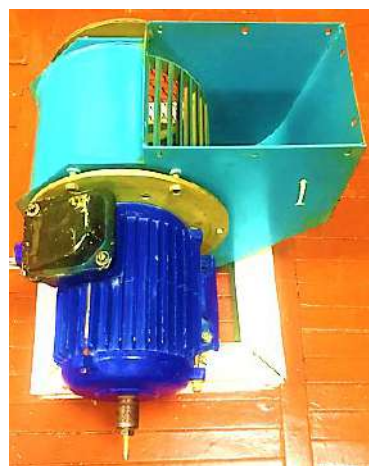


Рис.8. Новый двухскоростной двигатель на приводе вентилятора типа ВЦУН 160x74-0,55-4

8. M. van der Giet, and K.Hameyer. Induction motor with pole-changing winding for supply variable frequency. in Proc. 2007 IEEE Int. Electric Machines & Drive Conf.: Turkey, 3-5 May 2007, p. 1484-1489. doi:10.1109/IEMDC.2007.383647.
9. L.M.Melcescu, M.V.Cistelean, O.Craiu and B.Cosan. A new 4/6 pole-changing double layer winding for three phase electrical machines. The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, pp. 1-6, 2010 DOI: 10.1109/ICELMACH.2010.5608041
10. A.R.W.Broadway, K.S.Ismail. Phase modulated 3-phase pole changing windings. IEE Proceedings B - Electric Power Applications vol. 133, pp. 61- 70, 1986. DOI: 10.1049/ip-b.1986.0011
11. H.Liu, J.Wang, Z.Zhang. Performance analysis of variable speed multiphase induction motor with pole phase modulation. Archives of electrical engineering, vol. 65(3), pp. 425-436 (2016) DOI:10.1515/ae-2016-0031.
12. Попов Д.А., Попов С.Д. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с отношением чисел пар полюсов $p_1:p_2=1:2$. Патент РФ № 2012981, 15.05.1994.
13. Каримов Х., Тупогуз Ю. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока // Электричество. – М.: 1987. - №9 – С. 29-38.
14. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсопереключаемые обмотки для асинхронных двигателей механизмов с напряженным режимом работы// Электричество. -1996. - №1 – С. 27-32.
15. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для многоскоростных электрических машин. Издательство «Fan va texnologiya», Ташкент, 2010. - 170 с.
16. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми, обмотками, используемые в целях энерго- и-ресурсосбережения. Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. «Фан ва технологиялар марказининг босмахонаси», - Ташкент, 2012. - 179 с.
17. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н. Построение и анализ полюсопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 методом ДЗПФ. Вестник ТашГТУ №3-4, 2016 г. 138-143 с.
18. Рисмухамедов Д.А. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов Дисс. ...канд.техн. наук. - Ташкент, 2006. -225 с.
19. Попов Д.А., Попов С.Д. Критерии оценки полюсопереключаемых статорных обмоток трехфазных многоскоростных асинхронных двигателей // Электричество. - 1997. - № 9. – С. 44-52.
20. Попов В.И. Оценка электромагнитных свойств трех- и двухфазных обмоток электрических машин переменного тока // Электротехника. - 2001. - № 10. – С. 9-17.
21. M.Caruso, A.O.Di Tommaso, F.Marignetti, R.Miceli and G.Ricco Galluzzo. A General Procedure for the Construction of Görges Polygons for Multi-phase Windings of Electrical Machines. 2018 Thirteenth International Conf. on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) DOI: 10.1109/EVER.2018.8362348
22. J.W. Kelly. Control of a continuously operated pole-changing induction machine. Elec. Mach. and Drives Conf.: 2003. DOI:10.1109/IEMDC.2003.1211265

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.91

**АСИНХРОННЫЙ ТУРБОГЕНЕРАТОР С МАССИВНЫМ РОТОРОМ С
КОРОТКОЗАМКНУТЫМИ МЕДНЫМИ КЛЕТКАМИ КАК
ЕСТЕСТВЕННЫЙ ДЕМПФЕР ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
КОЛЕБАНИЙ И НАДЕЖНЫЙ ИСТОЧНИК АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ****Ю.М. Бобожонов, Б.Т. Сейтмуратов, А.Н. Султанов**

Мақолада асинхрон турбогенераторларнинг моделлари асосида тизим ҳолат параметрларининг ташиқи турткилар таъсиридаги электромеханик тебранишларига оид тадқиқотлар натижалари келтирилган. Бир хил шароитларда, электроэнергетик тизим таркибида иккита бир хил минхрон турбогенераторлар (СТГ) ва биргаликда СТГ билан қисқа туташган массив роторли мис панжарали асинхрон турбогенераторлар (АТГ)ларнинг ишлаган вақтларидаги электромеханик тебранишларнинг осциллограммалари олинган. Массив роторлари турли тузилишга эга булган АТГ моделларида ўзгармас ток сўнишлари усули бўйича олинган частотавий тавсифлари асосида уларнинг энергетик кўрсаткичлари солиштириб кўрилган. Турли тузилишга эга бўлган массив роторли АТГ ларнинг актив ва реактив қаршиликларининг сирпанишга боғлиқлиги кўриб чиқилган.

В статье приведены результаты исследования электромеханических колебаний режимных параметров вызванных внешними возмущениями, на основе существующих модельных асинхронных турбогенераторов (АТГ). Сняты осциллограммы электромеханических колебаний при одних и тех же условиях, при работе в составе электроэнергетических систем двух одинаковых синхронных турбогенераторов (СТГ) и при совместной работе СТГ и АТГ с массивным ротором с короткозамкнутыми медными клетками. Произведены сравнение энергетических показателей модельных АТГ с различными конструкциями массивных роторов на основе их частотных характеристик полученных по методу затухания постоянного тока. Рассмотрены изменения активного и реактивного сопротивления массивного ротора с различной конструкции от скольжения.

The article presents the results of a study of electromechanical oscillations of operating parameters caused by external disturbances, based on the existing model asynchronous turbine generators (ATG). Oscillograms of electromechanical oscillations were recorded under the same conditions, when operating as part of electric power systems of two identical synchronous turbine generators (STG) and when STG and ATG work together with a massive rotor with short-circuited copper cells. A comparison is made of the energy performance of model ATGs with various designs of massive rotors on the basis of their frequency characteristics obtained by the DC decay method. Changes in the active and reactive resistance of a massive rotor with different designs from sliding are considered.

В современных электроэнергетических системах (ЭСС) источниками активных мощностей являются исключительно синхронные генераторы. Эти ЭЭС часто подвергаются различного рода возмущениям, что вызывают в них колебательные процессы, требующие их демпфирования.

Демпфирование колебаний в существующих ЭЭС осуществляется в основном автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ) и частоты (АЧР), настройка которых основана на определении общей части зоны устойчивости и выборе внутри этой зоны коэффициентов усиления, отвечающих определенным требованиям к качеству электромеханического переходного процесса [1-5].

Однако за последние годы в развитых ЭЭС наблюдается появление не демпфируемых регуляторами возбуждения и частоты низкочастотных колебаний в диапазоне $f=0.2-2$ Гц, приводящих к длительным качаниям и опасности системной аварии.

Результаты исследования, проведенные к настоящему времени известными учеными во главе академика АН Республики Узбекистан К.Р.Аллаевым, показали, что АТГ без традиционных обмоток на роторе со статорным возбуждением (АТГ с массивным ротором с короткозамкнутыми медными клетками), помимо простоты изготовления и высокой эксплуатационной надежности имеют естественные демпфирующие свойства, что позволит их использовать с большей эффективностью в качестве источников активной мощности, что является крайне важным для современных ЭЭС, а также установлены, что внедрение АТГ в состав электроэнергетических систем приводит к повышению их статической и динамической устойчивости при установившихся и переходных режимах [3-8].

Перспективы развития ЭЭС создают необходимые условия для использования АТГ в качестве крупных источников активной мощности.

Экспериментальные исследования по определению влияния АТГ с массивными роторами с короткозамкнутыми медными клетками на электромеханические колебания регулируемых ЭЭС при наброске периодических возмущений были проведены на электродинамической модели кафедры «Электрические сети и системы» ТашГТУ.

В ходе эксперимента вблизи исходного установившегося режима работы станции которая состоит из двух СТГ создавались искусственно вынужденные периодические колебания передаваемой мощности с разными (от 0 до 5 Гц) частотами путем создания таких колебаний только на одном из СТГ. В процессе эксперимента возмущения подавались на вход сумматора АРВ с того же СТГ от датчика [9-12]. Величина возмущения определялась допустимым режимом работы СТГ и стремлением не выводить их за синхронизма.

Во втором случае эксперимент был повторен заменой одного СТГ на АТГ при тех же периодических возмущениях. На рис.1 приведены осциллограммы мощностей генераторов: до, при и после резонанса в сравниваемых ЭЭС. Передаваемая мощность в обоих случаях составляла 3 кВт.

Установлено, что при совместной работе СТГ и АТГ, амплитуда периодических вынужденных колебаний мощностей до, при и после резонанса намного меньше, чем при традиционной компоновке электрической станции, а резонансная частота становится больше, чем в первом случае. Колебания мощности АТГ находятся в противофазе с мощностью СТГ, что положительно

влияет на демпфирование колебаний параметров режима ЭЭС. На рис.1 приведены осциллограммы периодических колебаний мощностей СТГ и АТГ.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы о том, что совместно работающие СТГ и АТГ представляют собой саморегулируемую систему, демпфирование колебаний параметров режима которой происходит весьма интенсивно.

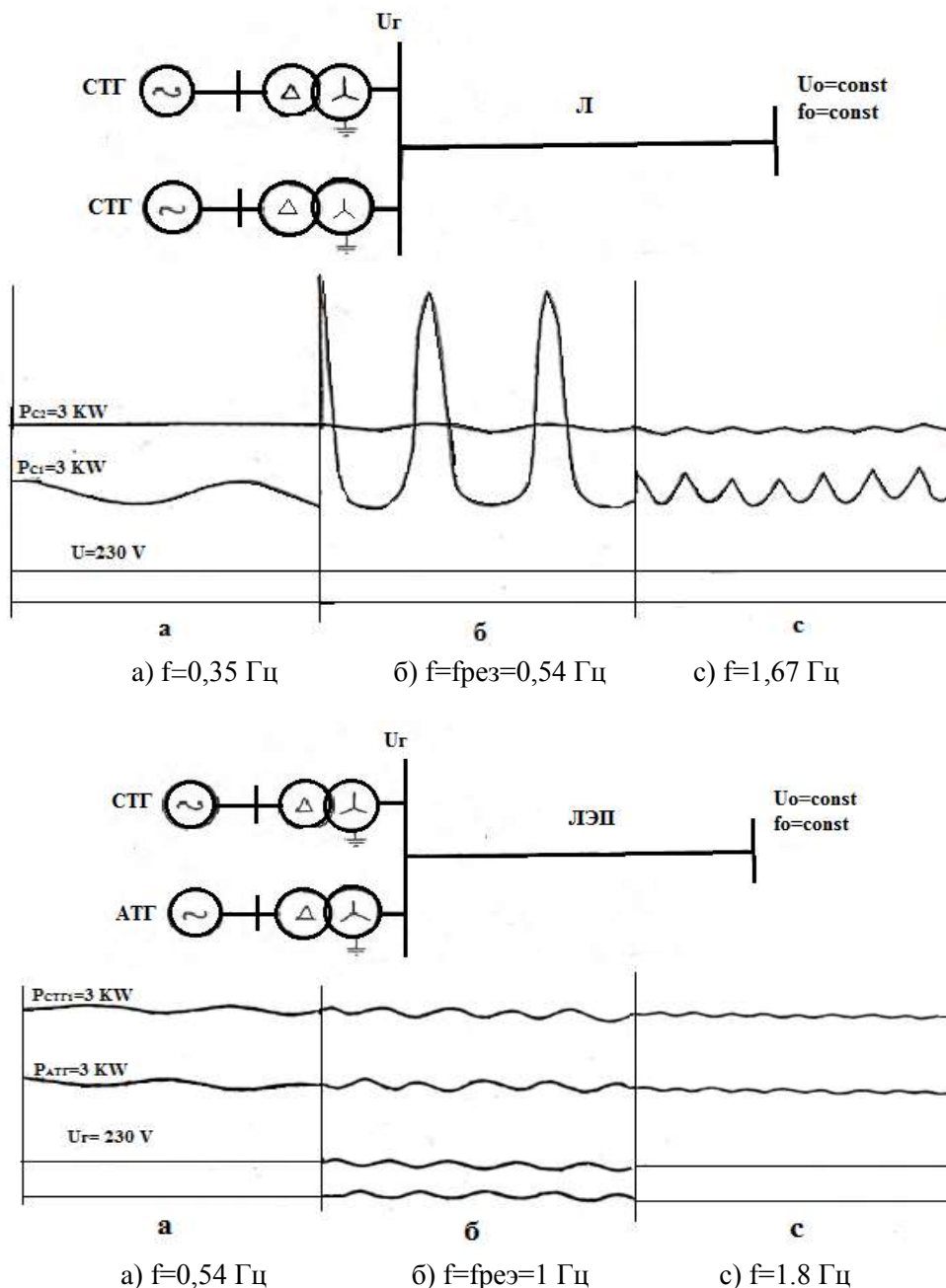


Рис.1. Осциллограммы периодических колебаний мощностей СГ и АГ

В массивном роторе, находящемся во вращающемся магнитном поле, будут индуцироваться токи. Эти токи будут протекать вдоль ротора и замыкаться по торцам. Как известно, в гладком массивном роторе токи распространяются в поверхностном слое, глубина которого зависит от частоты тока. Чем меньше частота тем, больше глубина проникновения этих токов. Таким образом, с уменьшением скольжения будет увеличиваться глубина проникновения тока, а активное сопротивление ротора будет уменьшаться. Реактивное сопротивление рассеяния ротора при уменьшении скольжения будет увеличиваться [10-15].

По мере приближения скольжения к нулю величины активного и реактивного сопротивления будут приближаться к некоторым постоянным значениям. Частотная характеристика вращающихся машин представляет собой совокупность установившихся комплексных значений токов статора при изменении скольжения ротора от 0 до $+\infty$.

Действительные частотные характеристики представляют собой кривые, мало похожие на соответствующие расчетные круги, по нижеследующим причинам:

- в крупных синхронных гидрогенераторах, например, необходимо применять большое сечение меди в роторе. При этом имеет место сильное вытеснение тока в меди ротора при повышении его частоты вращения, что резко искажает соответствующее геометрическое место токов статора в функции частоты.

- в синхронных турбогенераторах имеется мощный массив ротора со сложной картиной проникновения магнитного потока в сталь, пазовые клинья, выполненные из цветного металла, и т.п., следовательно, эквивалентная схема машины по существу соответствует схеме с распределенными постоянными. Эквивалентные параметры генератора сильно зависят от скольжения.

Обеспечение надежной эксплуатации АТГ в составе электроэнергетических систем должно быть также основано на их уточненных расчетах установившихся и переходных процессов [5-7].

Решение этих задач является возможным при наличии полной информации об электро-магнитных параметрах АТГ в виде частотных характеристик или сложных эквивалентных схем замещения всех его контуров; существующих в виде замкнутых обмоток или в виде контуров соответствующих массивным частям ротора.

Вопрос об их частотных характеристиках имеет большое практическое значение для АТГ с массивными роторами, где их параметры в результате вытеснения тока в роторе и насыщения магнитных путей, особенно зубцовой зоны, обычно изменяются в широких пределах по сравнению с параметрами синхронных турбогенераторов.

Экспериментальные исследования по определению частотных характеристик АТГ с различными массивными роторами, были проведены также на электродинамической модели кафедры «Электрические сети и системы» ТашГТУ, содержащей модельные АТГ с массивными роторами следующих конфигураций: гладкий, зубчатый и два короткозамкнутых ротора с медными стержнями в количестве $Z_2=48$ и $Z_2=80$ штук.

Определение частотных характеристик модельных АТГ производилось по методу затухания постоянного тока в обмотках статора путем оциллографирования, при неподвижном роторе, приведя затем их к вращающемуся, т.е. методом получившим широкое распространение при исследованиях частотных характеристик крупных вращающихся машин.

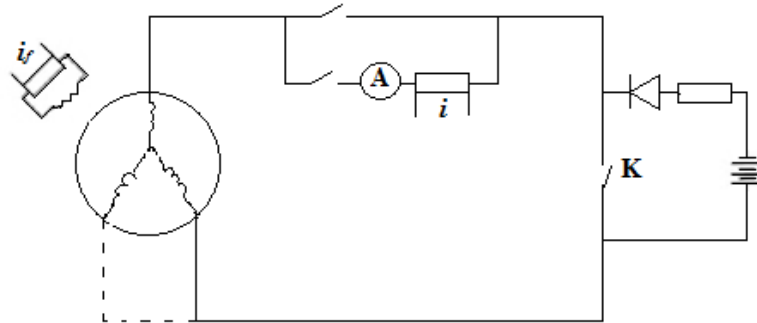


Рис.2. Электрическая схема опыта затухания постоянного тока на неподвижной машине

При опыте напряжение постоянного тока прикладывается к обмоткам статора через активное сопротивление (к двум выводам при разомкнутом третьем или к двум фазам, включенным параллельно, и к третьей – последовательно с ними), как показано на рис 2. Когда контактор К замыкается, обмотка замыкается накоротко, и ток начинает спадать. Весь переходной процесс записывается [1-5].

Сущность метода затухания постоянного тока, состоит в использовании связи между совокупностью установившихся режимов при питании электромагнитной системы напряжениями разных частот (частотной характеристикой) и переходным процессом, имеющим место в системе при отключении постоянного единичного напряжения, устанавливаемого преобразованием Фурье, аналогичным преобразованием Лапласа, после замены в последнем оператора p скольжением js .

$$I_s(js) = 1/X(js) = js \int_0^{\infty} i(t) e^{-jst} dt$$

где: $X(js)$ - комплексное индуктивное сопротивление

Затухающий ток аппроксимируется суммой экспонент;

$$i(t) = i_1 e^{-\lambda_1 t} + i_2 e^{-\lambda_2 t} \dots + i_n e^{-\lambda_n t}$$

где: $i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n = i_0$ - начальное значение постоянного тока i_0 , $\lambda_n = 1/T_n$ - начальное значение и коэффициент затухания n -той экспоненциальной составляющей опытной кривой затухания.

При этом частотная характеристика $i_s(js)$ принимает вид:

$$i_s(js) = j / (\tau/s + jx(js)) = i_1 \lambda_1' js / (js + \lambda_1') + i_2 \lambda_2' js / (js + \lambda_2') + \dots = a + jb$$

здесь: $a = s^2 (i_1 \lambda_1' / (s^2 + (\lambda_1')^2) + i_2 \lambda_2' / (s^2 + (\lambda_2')^2) + \dots)$

$$b = s (i_1 (\lambda_1')^2 / (s^2 + (\lambda_1')^2) + i_2 (\lambda_2')^2 / (s^2 + (\lambda_2')^2) + \dots)$$

Все величины в равенстве выражены в относительных единицах.

Расчеты и графические построения частотных характеристик рассматриваемых АТГ исходили из тока статора, приведенного к номинальному

напряжению. Начальное значение приведенного тока статора, по осциллограмме затухания тока равно $1/\gamma$ в долях номинального тока статора, где сопротивление постоянному току контура затухания γ выражено в долях базового сопротивления статора, т.е. $\gamma=0.01125$.

Следует отметить, что опыты затухания постоянного тока в статоре АТГ с различными массивными роторами производились при одних и тех же условиях. В результате сравнения затухающие токи АТГ с КЗ роторами имели крутой наклон в начальной его части по сравнению с начальной частью затухающего тока АТГ с гладкими и зубчатыми роторами, что уже свидетельствуют о различных электромагнитных свойствах этих машин.

Далее кривые затухания перестраивались в полулогарифмическом масштабе, в результате чего были выделены по две основных экспоненциальных составляющих из кривых затухания АТГ с короткозамкнутыми и зубчатыми роторами и три основных составляющих из кривой АТГ с гладким ротором, также определены соответствующие начальные значения и коэффициенты затухания этих составляющих.

Как видно из результатов, наличие на ГМР третьего контура с высоким коэффициентом затухания является следствием относительно сильного проявления эффекта вытеснения тока, за счет чего происходит практически быстрое рассеяние запасенной в роторе кинетической энергии. Следовательно, электромагнитные и электромеханические колебания параметров АТГ с гладким массивным ротором интенсивно подавляются по сравнению с АТГ с короткозамкнутыми роторами.

Присутствие периодической составляющей в фазных токах статора АТГ с КЗМР связано с тем, что наличие медной клетки обеспечивает направленное протекание токов ротора и тем самым эквивалентное сопротивление рассеяния роторного контура уменьшается, что и приводит к медленному затуханию аperiodической составляющей тока ротора.

В основу расчета частотных характеристик модельных АТГ было положено известное соотношение:

$$iso(js) = 1/X(js) = is(js)/(1 + j(\tau/s)is(js))$$
$$is(js) = a + jb$$

Задаваясь $S=0-\infty$, получены искомые частотные характеристики модельных АТГ с различными массивными роторами. Уточнения частотных характеристик в точках $S=0$, $S=1$ и $S=\infty$ производились соответственно по сопротивлению холостого хода X_0 , сопротивлению короткого замыкания X_k , и переходному сопротивлению X , полученных из опытов холостого хода, короткого замыкания и из опыта питания двух фаз переменным током, равным 3А. Частотные характеристики АТГ с различными массивными роторами представлены на рис.3.

Уточнение частотных характеристик в точках $S=0$, $S=1$ и S . производились соответственно по сопротивлению холостого хода X_0 , сопротивлению короткого замыкания X_k , и переходному сопротивлению X , полученных из опытов холостого хода, короткого замыкания и из опыта питания двух фаз переменным током.

Из сравнения полученных характеристик видно, что геометрическое место конца вектора тока статора АТГ с КЗМР изменяется в больших пределах, чем

токи АТГ с ЗМР и ГМР, что означает АТГ с КЗМР способен выработать большую активную мощность по сравнению с другими при тех же конструктивных размерах АТГ. Частотная характеристика АТГ с ГМР является сложной кривой, имеющей колбообразную форму, вследствие интенсивного вытеснения тока ротора. В результате повышенного значения индуктивного сопротивления ротора АТГ с ГМР имеет несколько меньшие коэффициент мощности и максимальный момент по сравнению с остальными АТГ.

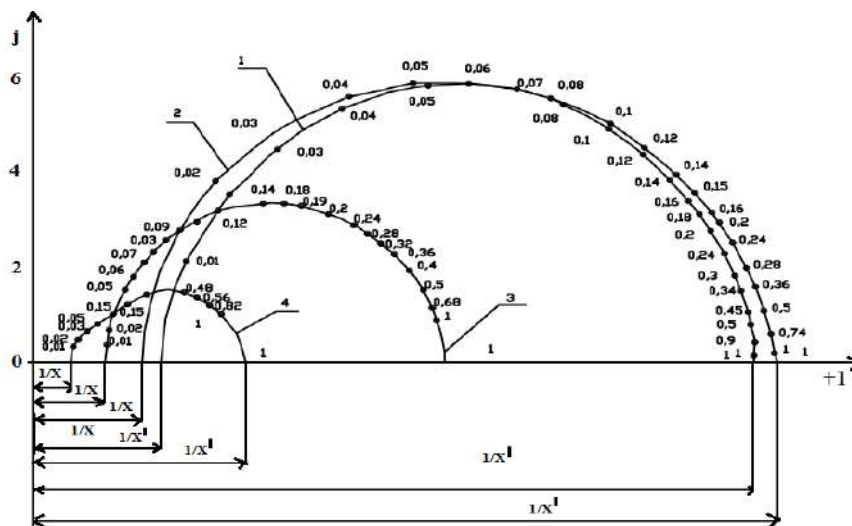


Рис. 3. Частотные характеристики модельных асинхронных Турбогенераторов, где: 1 - ротор массивный с медными короткозамкнутыми клетками, $Z_2=80$; 2 - ротор массивный с медными короткозамкнутыми клетками, $Z_2=48$; 3 - ротор массивный зубчатый; 4 - ротор массивный гладкий.

На основе проведенных исследований можно установить следующие:

- АГ с массивным ротором с короткозамкнутыми медными клетками как естественный демпфер, обеспечивает лучшее демпфирование электро-механических колебаний режимных параметров вызванных внешними периодическими возмущениями а также толчками.

- Сравнение частотных характеристик модельных АГ с различными конструкциями массивных роторов показывают, что АГ с массивным ротором с короткозамкнутыми медными клетками характеризуется высокими энергетические показатели по сравнению с другими.

Литература

1. Х.Ф.Фазылов, К.Р.Аллаев. Крупные асинхронные турбогенераторы как необходимые элементы современных электрических систем. Известия АН УзССР. 1991. №5. Стр.45-54.
2. К.Р.Аллаев, М.С.Ташпулатов. Малые гидроэлектростанции и перспективы использования в них асинхронных генераторов. Известия АН УзССР. 1989. №1. Стр.22-25.

3. Якушов В.М. Экспериментальное определение частотных характеристик и электромагнитных параметров синхронных генераторов. Электрические станции. -1978. №1. стр.47-51.
4. Transients in Electrical Systems: Analysis, Recognition, and Mitigation by J.C. Das, McGraw-Hill Education, 2010. -736p.
5. Аллаев К.Р. Электромеханические переходные процессы. - Т.: ТГТУ, 2008. – 287 с. ил.
6. Овчиников В.В. Расчет и анализ устойчивости электрических систем Учебно методическое пособие по курсовому проектированию. – Киров, Изд. ВятГУ, 2007. - 74 с.
7. Крючков И.П., Старшинов В.А., Гусев М.В., Пираторов М.В. Переходные процессы в электрических системах /под ред. И.П. Крючкова/ учебник для ВУЗов М.: Издательский дом МЭИ, 2008 . – 416 с.
8. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2003. -283 с.
9. Макаричев, Ю.А. Проектирование турбогенераторов: учеб. пособие/ Ю.А. Макаричев. – Самара: СамГТУ, 2000. – 69 с
10. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. 3- е изд. / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – М.: Высш.шк., 2002. – 757 с.
11. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб., 2010. – 352 с.
12. Кацман, М.М. Справочник по электрическим машинам/М.М. Кацман. – М.: Академия, 2005.
13. Шевченко, В.В. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазонов мощности / В.В. Шевченко, Я.Р. Кулиш // Вестник НТУ ХПИ. – 2013. – № 65. – С. 1–9.
14. Тарпанов, И.А. Автономные асинхронные генераторные комплексы переменной частоты вращения: диссертация канд. тех. наук: 05.09.03 / Тарпанов Илья Александрович. – Нижний Новгород, 2012. – 120 с.
15. Соловьева, Е.П. Качественное исследование дифференциальных уравнений асинхронных электрических машин: диссертация канд. тех. наук: 01.01.02 / Соловьева Елена Павловна. – СПб., 2012. – 117 с.

*Бердақ номидаги Қорақалпоқ давлат
университети томонидан тақдим этилган.*

UDC 621.365

ENERGETIKADA QO'LLANILADIGAN DASTURIY TA'MINOTLAR

N.N. Qurbonov

Energetika tizimida qo'llaniladigan dasturlar juda ham katta hajmni tashkil etadi. Energetika sohasidagi ma'lum bir masalani yechish uchun dasturiy ta'minot izlayotgan foydalanuvchi, ko'plab dasturlardan birini tanlashda anchagina qiyinchiliklarga duch keladi, ya'ni keltirilgan dasturlardan qaysi biri maqsadiga muvofiqligini ajratib olish jarayoni qiyin kechadi. Ushbu holatlarni yengillashtirish uchun energetika qo'llaniluvchi dasturlarni guruhlariga bo'lib, tanlov uchun eng samarali va ko'p qo'llaniladigan dasturlarni izlanuvchiga taqdim etish maqsadga muvofiqdir. Biz izlanishlarimiz davomida bugungi kunda energetika tizimida keng qo'llaniluvchi 100 dan ortiq dasturiy ta'minotlarni tahlil qilib, ularni qo'llanilish sohasi bo'yicha 4 ta guruhga ajratib chiqdik. Ajratilgan guruhlar orasidan funktsionalligi, unversalligi, operatsion sistema tanlovchanligi, masalalarni hal etish qamrovi kabi kriteriyalarga to'liq javob bera oladigan dasturlardan har guruhga tegishli 3 tasini, ummumiy 12 tasini maqolada bayon etdik. Shu bilan birgalikda har bir keltirilgan dasturiy ta'minotning vazifalari, qo'llanilish sohalari, interfeysi berilib, ularning umumiylik jihatlari tahlil etildi va o'rganuvchiga qulay bo'lishi uchun ularning eng muqobili tanlab ko'rsatildi.

Программы, используемые в энергосистеме, очень большие. Пользователю, ищущему программное обеспечение для решения конкретной проблемы в области энергетики, будет сложно выбрать одну из множества программ, то есть процесс определения того, какая из этих программ подходит для его цели, будет затруднен. Чтобы смягчить эту ситуацию желательно разделить используемые программы в области энергетики на группы и предоставить соискателю наиболее эффективные и широко используемые программы для отбора. В ходе нашего исследования мы проанализировали более 100 программ, которые сегодня широко используются в энергетической системе, и разделили их на 4 группы в зависимости от области их применения. Из выделенных групп мы описали в статье по 3 программы для каждой группы, всего 12 из них, которые могут полностью соответствовать таким критериям, как функциональность, универсальность, избирательность операционной системы, охват решения проблем. При этом приводятся функции, области применения, интерфейс каждого из представленных программ, анализируются их общие черты и выбирается наиболее альтернативный вариант для удобства обучающегося.

The applications used in the power system have a very wide range. The user looking for software to solve a particular problem in the field of energy will have a hard time choosing one of the many programs, i.e. the process of determining which of these programs is suitable for their purpose will be difficult. To alleviate this situation, it is recommended to divide energy programs into groups and provide the applicant with the most effective and widely used programs for selection. In the course

of our study, we analyzed more than 100 programs that are widely used in power systems today and divided them into 4 groups according to their area of application. From the separated groups, we have described in the article 3 programs for each group, a total of 12 programs, which can fully meet the criteria such as functionality, versatility, operating system selection, problem-solving coverage. At the same time, the functions, areas of application, interface of each of the presented software are presented, their general aspects are analyzed and the most alternative is selected for the convenience of the reader.

Kirish. Energetika tizimini boshqarishni avtomatik tashkil etish, tahlil qilish, energiya iste'molini bashoratlash va shu kabi masalalarda bir nechta turdagi dasturiy ta'minotlar qo'llaniladi. Energetika dasturlari (Power engineering software) deganda elektr stantsiyalari, elektr uzatish liniyalari, uzatish linyalari, elektr tarmoqlari, yoritish tizimlari va boshqalarning modellarini tayyorlash, tahlil qilish yoki hisoblash uchun ishlatiladigan dasturiy ta'minotlar tushuniladi.[4]

Ularni qo'llanilish holatiga ko'ra quyidagi guruhlariga ajratdik.

1. *Simulyatsyalovchi dasturlar* – faqatgina modellar va simulyatorlar tuzgan holda, jarayonlarni tahlil qilish uchun mo'ljallangan dasturlar. (ETAP, Simulink, Ansys Maxwell va boshqalar)

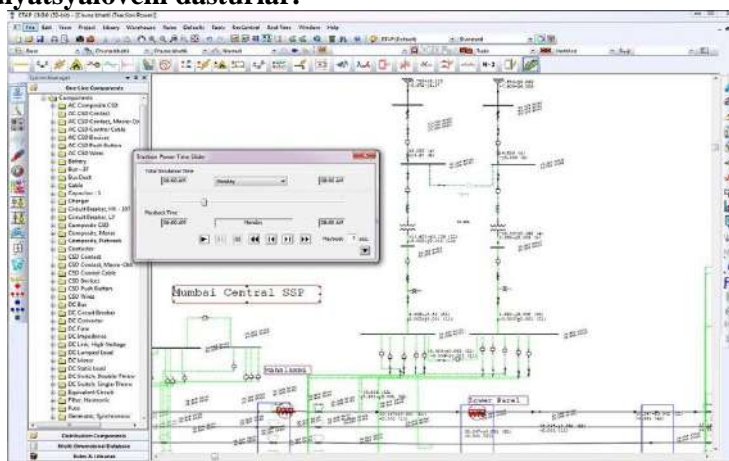
2. *Energiya menejmenti dasturi (inglizcha EMS-energy management system)* – bu barcha turdagi energiya bilan bog'liq masalalarni yechish uchun qo'llaniluvchi dasturdir. (AMI, Power SCADA Operation, Monitoring Expert, Wattics, XClarity Energy Manager, ETAP, Open DEM, EnergyCAP, N'VIEW, HOMER, Hybrid2, RETScreen, iHOGA va boshqalar) [5]

3. *Grafik dasturlar* – energetika tizimidagi faqatgina grafik ko'rinishidagi masalalarni hal qilish uchun qo'llaniladigan dasturiy ta'minotlar. (AutoCad electric, Edge va boshqalar)

4. *Office dasturlari* – umumiy hisob kitoblar va kichik modellar tayyorlash uchun mo'ljallangan dasturiy ta'minotlar (MS OFFICE, LIBRARY OFFICE, GOOGLE OFFICE)

Ushbu guruhlar tarkibiga kiruvchi dasturlardan eng ko'p ishlatiluvchi 3 tasini tanlab olgan holda tahlillarni amalga oshiramiz.

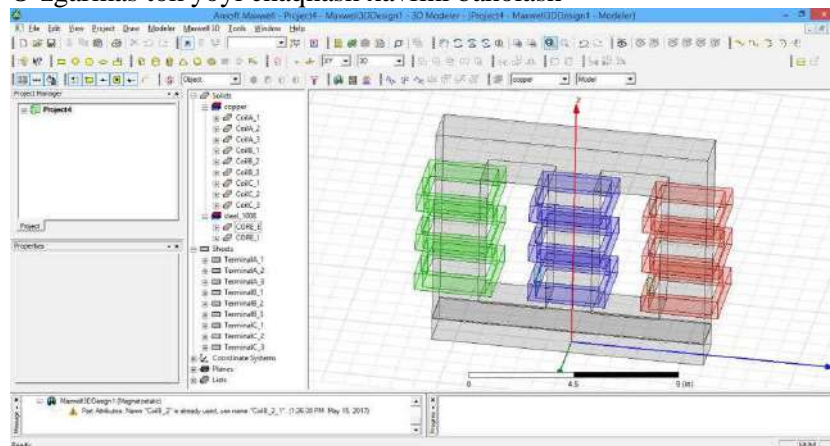
Simulyatsyalovchi dasturlar.



1-rasm. ETAP dasturining interfeysi

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) - ishlab chiqarish, taqsimlash va sanoat energiya tizimlarini loyihalash, modellashtirish, ishlatish va avtomatlashtirish uchun keng qamrovli tahliliy platforma. ETAP belgilangan sifat standartlariga muvofiq ishlab chiqilgan va butun dunyoda yuqori samarali dastur sifatida ishlatiladi. ETAP yakuniy ko'p tilli hisobotlarni tayyorlash imkoniyati bilan bir necha tillarda to'liq mahalliylashtirilgan dasturiy ta'minot hisoblanadi [6]. Imkoniyatlari:

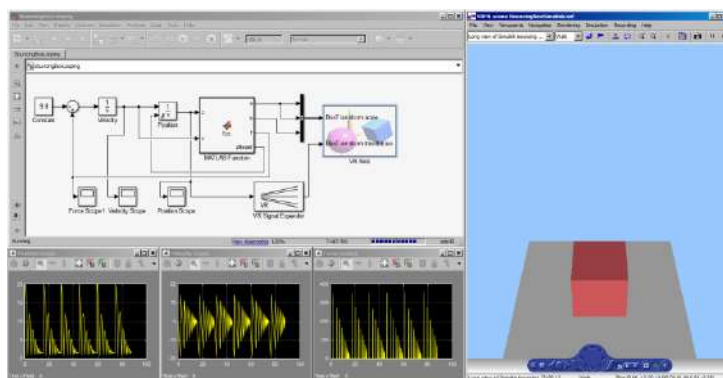
- Energiya oqimi yoki quvvat oqimini o'rganish
- Qisqa tutashuv yoki nosozliklarni tahlil qilish
- Himoya tizimlarini muvofiqlashtirish
- Vaqtinchalik yoki dinamik barqarorlikni shakllantirish
- Stansiyalarni loyihalash va tahlil qilish
- Garmonik yoki quvvat sifatini tahlil qilish
- Ishonchlilik
- Optimal quvvat oqimi
- Quvvat tizimining stabilizatorini sozlash
- Kondensatorni optimal joylashtirish
- Dvigatelni ishga tushirish va tezlashtirish tahlili
- Kuchlanish barqarorligini tahlil qilish
- Yong'in xavfini baholash
- Batareyani modellashtirish va simulyatsiya qilish
- O'zgarmas tok yoyi chaqnash xavfini baholash



2-rasm. Ansys Maxwell interfeysi

ANSYS Maxwell - bu turli xil ilovalar uchun motorlar, transformatorlar va boshqa ko'plab elektr va elektromexanik qurilmalar modellarini tahlil qilish uchun ishlatiladigan eng zamonaviy, yuqori samarali 2D va 3D elektromagnit maydon simulyatsiyasi dasturi [7]. Imkoniyatlari:

- Magnitli harakat jarayoni
- Elektromagnit o'zgaruvchan tok modelini tayyorlash
- Magnetostatik jarayonlarni modellashtirish
- Elektrostatik jarayonlarni modellashtirish
- O'zgarmas tok o'tkazuvchanligi jarayonlarni modellashtirish
- O'tkinchi jarayonlarni modellashtirish



3-rasm. Simulink interfeysi

Simulink - bu ko'p domenli dinamik tizimlarni modellashtirish, tahlil qilish uchun MATLAB-ga asoslangan grafik dasturlash muhiti. Uning asosiy interfeysi grafik diagramma vositasi va bloklar kutubxonalardan iborat.[8]

Imkoniyatlari:

- Tizimni tez simulyatsiya qilish va sinab ko'rish uchun virtual model tuzish
- Fizik modellar, qurilmadagi sinovlar va ularni baholash
- Ishlab chiqarish sifatidagi C, C ++, CUDA, PLC kodlarini tayyorlash va to'g'ridan-to'g'ri o'rnatilgan tizimingizga joylashtirish.
- Tizim arxitekturasi, komponentlar dizayni, kod va testlar orqali kuzatilishi mumkin bo'lgan qiymatlarni saqlash
- Taxminiy texnik xizmat ko'rsatish va xatolarni tahlil qilish uchun modellarni amaldagi tizimlarga kengaytirish.



4-rasm. Power SCADA interfeysi

Energiya menejmenti dasturlari:

SCADA (inglizcha *Supervisory Control And Data Acquisition* - dispecher nazorati va ma'lumotlarni to'plash) dasturi quyidagi vazifalarni o'z ichiga oladi[9]:

- Jarayondan olingan o'lchovlar va holat to'g'risidagi ma'lumotlarni yig'ish
- Jarayonga masofadan turib boshqarish
- Markazlashtirilgan tizim platformasi

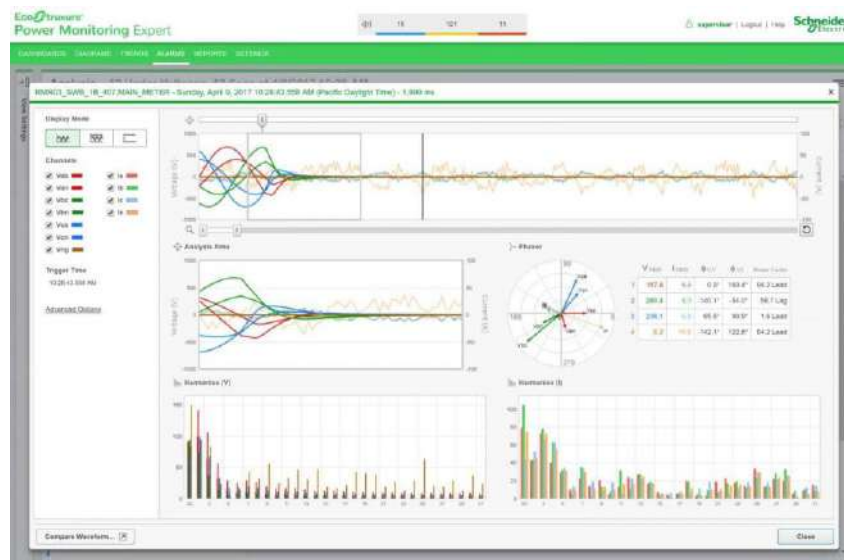
- Qurilmalarni nazorat qilish
Jarayonlarda qo'llanilishi:
- Energetika tizimini loyihalashda qo'llash
- Gaz, neft, kimyoviy moddalar yoki suv uchun quvur liniyalarini modellashtirish
- Temir yo'l / transport jarayonlarini avtomatlashtirish
- atom, gaz, uglerod ishlab chiqarish zavodlarini loyihalash

Wattics: Wattics platformasi orqali qurilish energiyasini boshqarishni sodalash-tiradi. Energiya tahlil vositalarini va xarajatlarni tejash imkoniyatlarini kashf qilishda yordam beradi, bu esa energetikada boshqaruv faoliyatini yaxshilaydi.

Dunyo bo'lab energiya bo'yicha maslaxatchilar, energetik xizmat ko'rsatuvchi kompaniyalar, energiya menejerlari, energiya yetkazib beruvchilar, kommunal xizmatlar, energiya auditorlari, ob'ektlar menejerlari tomonidan ishlatiladi. Energiyani tejash, energiya samaradorligi loyihalari, sertifikatlash bilan shug'ullanadi [10].



5-rasm. Wattics interfeysi



6-rasm. Power Monitoring Expert interfeysi

Xususiyatlari:

- Ko'p maqsadli ma'lumotlarni vizualizatsiya qilish
- Energiya iste'moli va xarajatlarni tejashni tekshirish, prognozlash, kuzatish va hisobot berish
- CO₂ va boshqa issiqxona gazlari chiqindilarini hisoblash, kuzatib borish va hisobot berish.
- Avtomatlashtirilgan hisobotlar va hisob kitoblar
- Foydalanuvchining, maxsus URL manzili, markali hisobotlar va elektron pochta xabarnomalari bilan moslashtirilgan energiya tahlillari paneli.
- Mijoz faolligini kuzatib borish, foydalanuvchilarni qo'shish/o'chirish, onlayn xabar almashish vositasi, hisobotlar, bildirishnomalar va boshqalar orqali muloqot qilish.

Power Monitoring Expert - bu zavodning energetikasi tizimidagi ma'lumotlarni to'playdigan va intuitiv web interfeysi orqali tushunarli ma'lumot sifatida taqdim etadigan to'liq energiya boshqaruv tizimi. EcoStruxure Power Monitoring Expert ochiq arxitekturasi sanoat standarti protokollaridan foydalanadi va uchinchi tomon qurilmalari bilan ishlash imkonini beradi. Dastur har qanday buxgalteriya hisobi, monitoring va avtomatlashtirish tizimlari (masalan, SCADA, BAC, DCS, ERP), shuningdek veb -xizmatlar bilan osongina birlashtirilishi mumkin [11].

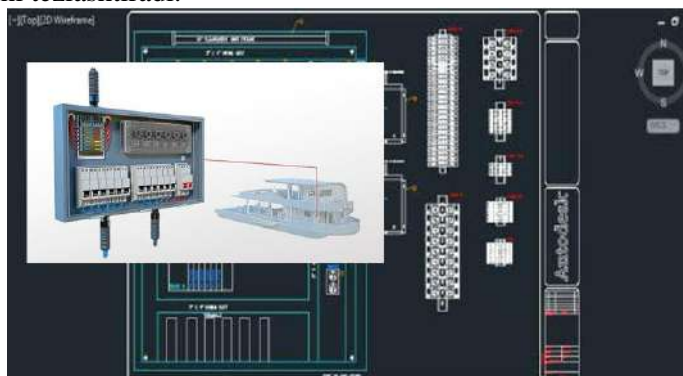
Vazifasi:

- Osonlik bilan kengaytiriladigan, moslashuvchan va ochiq tizim arxitekturasi orqali ma'lumot almashinish jarayonini rostlash
- To'liq ma'lumot to'plamini shakllantirish
- Ishonchli, ko'p foydalanuvchilarni veb-portal yordamida tarmoq parameterlarining joriy qiymatlarini kuzatish.
- Har qanday energiya manbalarini hisobga olish (suv, gaz, issiqlik, bug', elektr).
- Quvvat sifatini batafsil tahlil qilish va standartlar va etkazib berish shartnomasiga muvofiqligini tekshirish.
- Trendlar chizig'ini tuzish va bashorat qilish.
- Ogohlantirishlar va voqealar jurnallarini shakllantirish
- Oldindan tuzilgan va individual hisobotlarni yaratish.
- Tizimni qo'lda va avtomatik boshqarish.
- Intuitiv, sozlanishi veb -interfeys:
- Panellar - har qanday o'lchangan parametrlarni jozibali displey shakllari yoki slayd shoular ko'rinishida taqdim etish.
- Jadvallar - bir qarashda turli xil qurilmalardan o'lchangan qiymatlarni taqqoslash.
- Ogohlantirishlar va signallar - filtrlar bilan ogohlantirishni oson boshqarish.

Grafik dasturlar.

AutoCAD electric - bu arxitektorlar, muhandislar va quruvchilar aniq 2D va 3D chizmalarini tayyorlash uchun foydalanadigan kompyuter yordamida loyihalash dasturi bo'lib, komponentlarni joylashtirish va tahrir qilish, bir operatsiyada bir nechta sxemalarni tuzish, ularni turli varaqlarga ulash, komponentlarni parametrli tayyorlash, ma'lumotlar bazalari va grafik menyulardan foydalanish, komponentlar qismlari-

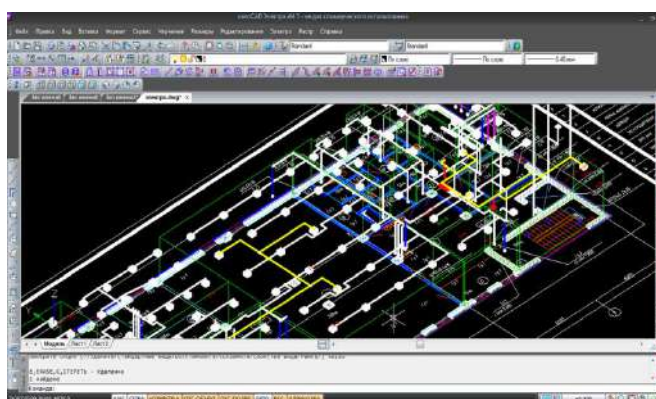
ni avtomatik belgilash va sxemalarni avtomatik raqamlash bo'yicha maxsus funksiyalar tayyorlashni tezlashtiradi.



7-rasm. AutoCAD electric interfeysi

Dasturdagi Elektr asboblarning vazifalari:

1. Elektr hujjatlar:
 - 1.1. Avtomatik hisobot yaratish.
 - 1.2. Mijozlar va etkazib beruvchilar bilan hamkorlik.
 - 1.3. Loyihalarni oson boshqarish.
2. Elektr sxematik dizayn:
 - 2.1. Simlarni raqamlash, komponentlarni markalash.
 - 2.2. Sxema va qayta foydalanish.
 - 2.3. Elektr zanjirlarining grafik tasvirlar kutubxonalari.
 - 2.4. Xaqiqiy vaqtda xatolarni teshqirish.
3. Elektr nazorat qilish dizayni:
 - 3.1. O'zaro aloqa moslamalari va kontaktlar.i
 - 3.2. Bo'limlar katalogi brauzeri.
 - 3.3. Inventor bilan muvofiqligi.



10-rasm. NanoCAD electric interfeysi

COMPAS-Electric-ning asosiy vazifalari: tizimni avtomatlashtirish va elektr ulanishlari (past kuchlanishli qurilmalar), o'zni himoyasi va avtomatlashtirish tizimlari) o'tkaziladigan simlar ishlatiladigan ishlab chiqarish ob'ektlarining elektr jihozlari

uchun hujjatlar to'plami (ularga diagrammalar va hisobotlar) berish uchun, texnologik jarayonlarni boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimlari va boshqalar), dasturlashtiriladigan mantiqiy kontrollerlar yordamida ishlab chiqarish ob'ektlarining elektr loyihalashni avtomatlashtirish.

NanoCAD elctro – NanoCAD Electro 20 ning joriy versiyasi o'zining grafik yadrosiga ega bo'lgan alohida dasturdir dastur hisoblanib, u quyidagi vazifalarni bajaradi:

- korxonadagi yorug'lik darajasini avtomatik ravishda hisoblash va yorug'lik manbalarini tartibga solish;
- uskunani o'rni belgilash, kabel yo'nalishlarini joylashtirish va kabel yo'nalishlarini belgilash;
- yorug'lik va elektr hisoblarini yuqori aniqlikda bajarish;
- himoya moslamalari, kabel kesimlarining sozlamalarini tanlash;

Office dasturlari. Office dasturlari ham Energetika sohasida ishlovchilar uchun asosiy dasturiy ta'minotlardan hisoblanadi. Uning imkoniyatlari haqida bugungi kunda har bir energetika sohasida ishlovchi personallar yaxshi ma'lumotga ega. Shuning uchun faqatgina, keng funksiyali 3 ta dasturni sanab o'tamiz:

1. MS Office – keng imkoniyatga ega, ammo narxi qimmat

1. Libre office – afzalligi: bepul va ochiq resursligidadir. Funksionalligi jihatdan MS Office ga eng yaqin dastur paketi hisoblanadi.

2. WPS office – afzalligi: bepul va ochiq resursligidadir.

Xulosa: Energetika sohasida tahsil olayotgan talabalar yoki shu soha bo'yicha faoliyat yurituvchi personallarda ko'p uchraydigan savollardan: ushbu masalalarni yechishda qaysi dasturdan foydalansam ekan? yoki qaysi dasturlarni o'rganishdan ishni boshlasam ekan?

Albatta, bunda bir qarashda barcha dasturiy ta'minotlarda ishlash uchun ko'nikma hosil bo'lishi juda muhimdek ko'rinadi. Ammo barcha dasturlarni bir vaqtning o'zida o'zlashtirish imkoniyati mavjud emas. Shuning uchun ham, energetika sohasida ish olib borish uchun uchraydigan masalalarning o'rniga ko'ra, biz dasturiy ta'minotlarni 4 guruhga ajratdik va ular orasidan, funksionalligi, moslashuvchanlig, qulay interfeysga egaligi jihatidan eng yaxshi variantning har bir guruhga tegishli 3 tasini ajratib chiqdik va siz o'quvchilarga havola qildik.

Ushbu dasturlarning ish prinsipiga e'tabor beradigan bo'lsak, ular orasidan birini o'rganish orqali boshqasiga nisbatan ko'nikma olish mumkin. Shuning uchun ham ular orasidan quyidagi har bir guruhga tegishli bo'lgan bittadan bo'lgan dasturiy ta'minotlarni o'rganish yoki ish olib borish uchun taklif qilamiz:

1. Simulyatsiyalovchi dasturlaridan –Simulink

2. Energiya menejmenti dasturi –Power SCADA Operation

3. Grafik dasturlar –AutoCad electric

4. Office dasturlari – MS OFFICE

Adabiyot

1. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi (2000-2005)
2. www.computer-hardware-explained.com/computer-hardware-articles.html
3. <https://searchapparchitecture.techtarget.com/definition/software>
4. <https://www.g2.com/categories/energy-management>

5. I.U.Raxmonov, N.N.Qurbonov / Analysis of automated **software** for monitoring energy consumption and efficiency of industrial enterprises
6. <https://etap.com/>
7. <https://cae-expert.ru/product/ansys-maxwell>
8. <https://www.mathworks.com/products/get-matlab.html>
9. <https://www.se.com/my/en/product-range/63067-ecostruxure%E2%84%A2-power-scada-operation-8.2/#overview>
10. <https://www.se.com/my/en>
11. wattics.com
12. <https://www.se.com/ru/ru/work/products/product-launch/power-monitoring-expert/>
13. <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-electrical>
14. <https://kompas.ru/kompas-3d/>
15. <https://glavkon.com/store/nanocad-ehlektro>
16. https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Office.
17. <https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice>
18. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:s4xuRbDoXYsJ:https://ru.libreoffice.org/+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=uz>.
19. <https://ilyarm.ru/uz/wps-office-proprietarnyi-ofisnyi-paket-s-otlichnoi-podderzhkoi-formatov-microsoft-office.html>.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.311

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.С. Попель, Н.Р. Авезова, А.Б. Тарасенко

Сўнги ўн йил ичида водород энергетикаси соҳасини ривожлантиришга уринишлар шиддат билан ривожланиб бормоқда. Ривожланишининг мазкур босқичи дунёда рўй бераётган кескин иқлим ўзгаришлари ва атмосферанинг карбонат ангидрид газини чиқиндилари билан “ифлосланиши”да муҳим манба ролини ўйнаётган транспорт ҳамда энергетика соҳалари мажмуасини ўз ичига олган иқтисодий улародсизлантириши анъанасининг кучайиши, шу билан бирга, қатор мамлакатларда ишлаб чиқариши ва энергия истеъмолини тартибга солиши учун энергия сақлаш ва жамлаш қурилмаларидан фойдаланишни талаб қилувчи, стохастик хусусиятга эга бўлган қайта тикланувчи энергия манбаларининг кенг жорий этилиши билан боғлиқ. Мақолада дунёдаги водород энергетикасини ривожлантириши анъаналарининг қисқача таҳлили келтирилган. Водород энергетикасини ривожлантириши истиқболлари ва қўламини белгилашда водород манбаларининг хусусиятларига, бирламчи энергия манбалари ва водород ишлаб чиқариши технологияларига, уни ишлаб чиқаришда турли ёндашувлардан фойдаланишда экологик оқибатлар (“углерод изи”), кутилаётган харажатлар, истеъмолчилар ва водород истеъмолчининг ҳажми, мамлакатда ва хорижда водородни сақлаш ва уни истеъмолчиларга етказиб бериши бўйича мавжуд технологиялар, водороднинг ички ва ташқи бозорларда энергия ташиувчи сифатида рақобатбардошлиги, барча зарур харажатларни ва “трансегаравий углерод солиги”ни ҳисобга олинган.

В последние десятилетия интерес к водородной энергетике претерпевал существенные колебания. Нынешний виток развития связан с обострением озабоченности климатическими изменениями и обозначившимся трендом декарбонизации мировой экономики, включая транспорт и энергетику, являющиеся одними из основных источников загрязнения атмосферы выбросами углекислого газа, а также с широким внедрением в ряде стран возобновляемых источников энергии со стохастическим характером выдачи мощности, требующих резервирования и использования эффективных накопителей энергии для регулирования графиков генерации и потребления энергии. В статье представлен краткий анализ тенденций развития водородной энергетики в мире. Обращается внимание на то, что перспективы и масштабы развития водородной энергетики в определяющей степени будут зависеть от особенностей предполагаемых к использованию источников водорода, первичных источников энергии и технологий получения водорода, экологических последствий при использовании разных подходов к производству водорода («углеродный след»), ожидаемых затрат на производство водорода, потенциальных потребителей и объемов потребления водорода внутри страны и за рубежом, технологий хранения и доставки водорода к потребителям, конкурентоспособности водорода как энергоносителя на внутреннем и на

внешнем рынках с учетом всех необходимых затрат и потенциального «трансграничного углеродного налога».

In recent decades, interest to hydrogen energy has undergone significant fluctuations. The current round of the development is associated with heightened concern about climate change and the emerging trend of decarbonization of the world economy, including transport and energy complex, which are the main sources of the atmosphere "pollution" with carbon dioxide emissions, as well as with the widespread introduction in a number of countries of renewable energy sources with a stochastic nature of output capacity, requiring the use of efficient energy storage and backup devices to regulate the schedules of generation and energy consumption. The article presents a brief analysis of the trends in the development of hydrogen energy in the world. Attention is drawn to the fact that the prospects and scale of the hydrogen energy development to a decisive extent will depend on the characteristics of the hydrogen sources, primary energy sources and technologies for producing hydrogen, environmental consequences when using different approaches to the production of hydrogen ("carbon footprint"), expected costs of hydrogen production, potential consumers and volumes of hydrogen consumption in the country and abroad, technologies for storage and delivering hydrogen to consumers, the competitiveness of hydrogen as an energy carrier in the domestic and foreign markets, taking into account all necessary costs and a potential "cross-border carbon tax".

До сих пор водород, объем использования которого в мире составляет около 75 млн т, в год [1, 2] относится к категории «промышленного газа», используемого на месте его производства при нефтепереработке, производстве аммиака, метанола, в некоторых отраслях химической и пищевой промышленности и т.п. Для производства промышленного водорода, отсутствующего на Земле в химически несвязанном виде, как правило, используются наиболее дешевые источники водорода (природный газ – ок. 70%, нефть – 15%), источники энергии (природный газ) и технологии (паровая конверсия природного газа и угля). Лишь небольшая доля (около 5%) водорода высокой чистоты, сегодня используемого в энергетике (охлаждение мощных электрогенераторов, топливные элементы) и в промышленности, производится электролизом воды. При этом проблемы выбросов CO₂ при производстве водорода всерьез не учитываются.

Впервые водород не как промышленный газ, а как универсальный энергоноситель привлек к себе внимание в связи с первым нефтяным кризисом в 70-ых гг. XX века и разработками водородных топливных элементов. Второй всплеск интереса к водороду проявился в 90-ых гг. в связи с разработками экологически чистого транспорта, прежде всего, для улучшения экологической обстановки в крупных городах. В начале XXI века интерес к водородной энергетике снизился отчасти в силу экономического кризиса 2008 г, отчасти из-за бурного развития литий-ионных батарей, находящих все более эффективное применение в системах накопления энергии различного масштаба на электрическом транспорте и в малой энергетике.

В соответствии с концепцией нового IV энергетического перехода, в начальную стадию которого, уже вступил ряд развитых стран с все

увеличивающейся долей экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергетическом балансе, водород должен стать (наряду с электроэнергией) новым важным вторичным источником энергии и энергоносителем, обеспечивающими экологически безопасное и без выбросов в атмосферу парниковых газов производство энергии при резервировании нестабильных генераторов на ВИЭ, накопление энергии и транспортировку ее на большие расстояния.

Конечной целью в более отдаленном будущем видится переход к экологически чистой «водородной экономике» [3], предполагающей экологически чистое производство водорода в крупных масштабах из воды электролизом с использованием ВИЭ с последующим экологически чистым синтезом из H_2 и имеющихся в обилии в природе C , CO_2 и N_2 моторных топлив и большинства других необходимых химических продуктов, сегодня получаемых из нефти, газа и угля со значительным загрязнением окружающей среды.

Мировая потребность в чистом водороде увеличилась с менее 20 млн тонн в 1975 году до более 74 млн тонн в 2019 году и ожидается увеличение до 370 млн тонн в год к 2050 году (Его углеродный след в 2019 году составил более 500 млн тонн CO_2).

В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода: паровая конверсия природного газа, газификация угля, использование энергии ВИЭ и АЭС, электролиз воды, водород из биомассы.

В зависимости от вида промышленного производства, водород принято разделять на «серый» – из угля, нефти и газа, на «голубой» – ПГУ ТЭС с технологией улавливания и хранения углерода (УХУ - CCS), и на «зеленый» – из воды (ВИЭ и АЭС).

В настоящее время в мире все больше стран пересматривают свою энергетическую политику в связи с развитием отрасли водородной энергетики. Стратегия Японии в данном контексте разрабатывалась начиная с 2017 года, а в 2019 году последовала «Стратегическая дорожная карта для водорода и топливных элементов». В 2019 году стратегические планы по развитию водорода обнародовала Республика Корея. Национальная водородная стратегия Австралии и Новой Зеландии были приняты также в 2019 году. В марте 2020 года утверждена стратегия Нидерландов, в июне – Германии и Норвегии, в июле – Португалии и ЕС в целом, а в сентябре последовала стратегия Франции и России.

Закон и стратегия о водороде, принятой в ЕС, фокусируется на инфраструктурных и рыночных аспектах, описывая три фазы развития: фазу быстрого старта, фазу наращивания мощности и фазу роста рынка. Ожидается установка 40 ГВт мощности электролизера в Европе к 2030 году для производства «зеленого» водорода, плюс дополнительные 40 ГВт мощности электролизера в южных и восточных районах Европы. При этом удельная стоимость «зеленого» возобновляемого водорода прогнозируется в пределах (2,5-5,5) евро/ kgH_2 .

Стратегии и долгосрочные планы в области энергетики рассматриваются и в странах СНГ. Так, например в Российской Федерации, в связи с наблюдаемыми трендами генерации электрической энергии до 2035 года в следующем контексте: ГЭС – почти на 20%, АЭС – на 23%, углём – на 9,5%, газом – на 40%, ВИЭ – на 4,5%, ожидается, что к 2050 году их соотношение составит: ГЭС – 19%, АЭС –

25%, газ – 43%, ВИЭ – 12,5%, возникает необходимость перехода на более низкоуглеродную и водородную энергетику в ближайшей перспективе. И в этой связи в 2020 году принята «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года», в которой рассматривается «развитие и распространение прорывных технологий, касательно возобновляемых источников энергии и накопители энергии, а также гибридных автомобилей и электромобилей, включая автомобили на водородном топливе».

Согласно тенденции, наблюдаемой в рамках глобального энергоперехода к 2050 году ожидается достижение углеродно-нейтрального сектора электроэнергетики и в этом контексте Республика Узбекистан также придерживается Цели устойчивого развития, принятых во всем мире.

Необходимо отметить, что в рамках концепции нового энергетического перехода и декарбонизации мировой экономики развитие водородной энергетики рассматривается в тесной увязке с опережающим развитием экологически чистой возобновляемой энергетики (ВЭ).

За последние 20 лет ВЭ, базирующаяся, прежде всего, на использовании солнечной энергии, энергии ветра и энергии биомассы, доказала свою состоятельность и заняла устойчивое место в мировой энергетике, демонстрируя значительные успехи в улучшении технико-экономических показателей и повышении конкурентоспособности в сравнении с энергетическими технологиями, основанными на использовании традиционных органических топлив.

В этом контексте необходимо отметить важность и перспективность производство водорода и развитие водородной энергетики для оказания поддержки энергосистем, интегрированных с ВИЭ с целью их бесперебойного и надежного энергообеспечения.

По данным международных энергетических агентств, начиная с 2012 года, ввод энергоустановок на ВИЭ в мире стал устойчиво превышать ввод традиционных энергоустановок. В 2020 году на ВИЭ пришлось 2/3 вновь введенных электрогенерирующих мощностей в мире. Суммарная установленная мощность энергоустановок на новых технологиях использования ВИЭ (без учета объектов крупной гидроэнергетики) сегодня приблизилась к 1,5 ТВт (более 20% суммарной мощности всех действующих в мире энергоустановок), в то время как в 2009 году она составляла всего 300 ГВт. Приоритетное развитие ВЭ имеет место в регионах и странах импортерах энергоресурсов (лидеры: Китай – 420 ГВт; ЕС – 350 ГВт, в т.ч. Германия – 120 ГВт; США – 200 ГВт; Индия – 80 ГВт; Великобритания – 45 ГВт), имеющих, как правило, высокие внутренние цены на энергоресурсы и/или значительную господдержку экологически чистых технологий, обуславливающие конкурентоспособность ВЭ с традиционной энергетикой. В ряде стран доля выработки электрической энергии на ВИЭ уже составляет значительную величину: Дания – 52%, Уругвай – 36%, Ирландия – 30%, Германия – 27%, Португалия – 23%, Испания и Греция – 22%, Великобритания – 21%). Многие из перечисленных стран заявили о намерении к 2030 году достичь вклада ВИЭ в энергетический баланс до 50% и более, в связи с чем освоение технологий водородной энергетики становится все более аргументированным.

Вместе с тем водородная энергетика, как и другие сектора энергетической отрасли, включая возобновляемую энергетику, относится к наукоемким и высоко инерционным сферам экономики, в которых новые технологии достигают рыночного уровня лишь в результате многолетних исследований и разработок, и их экспериментальной и опытно-промышленной отработки. Поэтому внимание таким технологиям необходимо уделять заблаговременно, развивать исследования и разработки и реализовывать опытно-демонстрационные проекты, чтобы не отстать от научно-технологического развития передовых стран. Важно отслеживать мировые тренды развития водородной энергетике и учитывать особенности национальной экономики и энергетики.

Реализация государственной программы по развитию ВИЭ в России началась с 2015 года. Основными целями программы являются: накопление в стране научно-технологических компетенций по перспективным технологиям использования ВИЭ и недопущение технологического отставания от передовых стран в этой быстро развивающейся области мировой энергетики; создание отечественных наукоемких промышленных производств основных компонентов возобновляемой энергетики с высокой долей локализации производств, ориентированных в том числе на экспорт конкурентоспособной продукции; создание предпосылок для уже сегодня экономически эффективного применения энергоустановок на ВИЭ для энергоснабжения удаленных от сетей централизованного энергоснабжения потребителей (Арктика, Дальний Восток и др.). В ее рамках за последние годы в стране введены десятки объектов ВЭ (в основном солнечные электростанции) суммарной установленной мощностью около 1 ГВт. К 2035 году предполагается ввести в различных регионах страны около 3 ГВт ветровых, 2,2 ГВт солнечных электростанций и около 200 МВт малых ГЭС. При этом доля выработки электрической энергии объектами ВЭ в энергобалансе России составит всего около 1,5%. Более долгосрочные прогнозы развития ВЭ в России до 2050 года и далее свидетельствуют о целесообразности (в первую очередь, экономической) развивать ВЭ умеренными темпами, прежде всего, в связи с наличием в стране больших запасов относительно дешевых углеводородных топлив и планами развития атомной энергетики, поддерживая при этом высокий научно-технологический уровень в этой перспективной области.

Международный опыт свидетельствует, что при доле ВИЭ в энергобалансе страны/региона менее 20% особых проблем с резервированием генераторов ВЭ и необходимостью масштабного аккумулирования энергии не возникает.

Вышесказанное диктует в целях расширения возможностей практического использования возобновляемых источников энергии и стабильного развития водородной энергетике, необходимость усиление научного потенциала данной сферы.

В этом контексте необходимо отметить стратегию правительства Республики Узбекистан, с целью развитие в стране инфраструктуры по водородной энергетике и научно-технического потенциала по части, касающейся в Узбекистане создан Национальный научно-исследовательский Институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики

Узбекистана, при котором организован научно-исследовательский Центр водородной энергетики и лаборатория по испытанию и сертификации технологий возобновляемой и водородной энергетики.

В “Концепции обеспечения электрической энергией Республики Узбекистан на 2020-2030 годы” отмечается, что к 2030 году установленная мощность энергосистемы РУз составит 29,2 ГВт, а суммарная мощность ВИЭ будет равна 8 ГВт (соответственно СЭС – 5 ГВт, а ВЭУ – 3 ГВт), что составляет 27,4% от установленной мощности энергосистемы. В то же время предусматривается резервная мощность в размере 4,4 ГВт, что составляет 15% установленной мощности энергосистемы РУз к 2030 г.

В Узбекистане в содействии МФИ разработана Техническая дорожная карта по достижению углеродной нейтральности республики в отраслях экономики, согласно которой ожидается достижения углеродно-нейтральности сектора электроэнергетики в Узбекистане к 2050 году, с важной ролью использования возобновляемых источников энергии и природного газа в ближайшие 20 лет.

Ускорение внедрения возобновляемых источников энергии в республике сопровождается установкой более крупных хранилищ электроэнергии (15 ГВт, обеспечивающих 1,3 ТВт-ч в год.), что поможет сбалансировать систему.

Для достижения нулевого уровня выбросов углекислого газа в Узбекистане, энергосистема требует значительных ветровых и солнечных мощностей, а также значительного запаса электроэнергии (39 ГВт, обеспечивающих более 44 ТВт-ч в год.), который будет выдавать большие объемы накопленной электроэнергии в периоды низкой ветровой и солнечной доступности. В данном контексте целесообразно рассматривать пути покрытия резервной мощности, долговременного хранения энергии за счет водородной энергии, получаемой с помощью ВИЭ и АЭС.

В последние годы более чем 20 странами и 50 крупными энергетическими корпорациями приняты амбициозные долгосрочные программы развития водородной энергетики. В качестве наиболее ярких примеров следует отметить национальную программу Японии, целью которой провозглашено строительство «общества, основанного на водороде», а также принятую в июле 2020 г. водородную стратегию Европейского Союза, предусматривающую использование водорода как экологически чистого источника энергии в секторах экономики, для которых не годится электрификация. При этом получение водорода предполагается наиболее чистым путем – электролизом воды с использованием ВИЭ. В период до 2050 года планируется направить в водородную отрасль до 500 млрд Евро. Крупные программы развития водородной энергетики приняты Южной Кореей и другими странами.

Важно отметить, что ни в странах ЕС, ни в Японии и Южной Корее собственные территории не обеспечивают возможности размещения солнечных и ветровых генераторов необходимой для производства водорода в запланированных объемах потребления суммарной мощности. В этой связи предполагаются значительные объемы импорта водорода из других стран, масштабы которого уже к 2030 году могут достичь десятков миллионов тонн в

год на сотни миллиардов долларов в год с одновременным соответствующим сокращением импорта органических энергоресурсов (природного газа и нефти).

Разработки новых водородных технологий активно ведутся во всех сферах энергетики.

В крупной энергетике изучается возможность перехода от использования природного газа к использованию «хитана» («hythane» - смесь метана с водородом) с постепенным переходом к чистому водороду в качестве экологически чистого топлива. Так, в июне 2020 года в Японии пущена водородная ГТУ-электростанция мощностью 80 МВт, компания Siemens модифицирует промышленную газовую турбину SGT-400 для сжигания чистого водорода. Все крупные производители энергетических газовых турбин: Mitsubishi, Hitachi Power Systems, GE Power, Siemens Energy и Ansaldo Energia, - сегодня разрабатывают модели ГТУ, способные работать на чистом водороде как при постоянной нагрузке, так и на пиках потребления. Аналогичные разработки недавно инициированы компанией «Силовые машины» и в России.

В малой распределенной энергетике ведутся исследования и разработки по использованию высокоэффективных когенерационных энергоустановок на топливных элементах (ТЭ). Лидером по данному направлению является Япония, где уже сегодня работает 220000 малых (мощностью от нескольких сотен ватт до нескольких киловатт) водородных энергоустановок на ТЭ с твердооксидным и твердополимерным электролитом и планируется довести их число до нескольких миллионов для электро- и теплоснабжения домохозяйств.

В области транспортной энергетики активно прорабатываются варианты перевода автомобилей на водородное топливо. Международной ассоциацией воздушного транспорта (IATA) разработаны программы модернизации инфраструктуры аэропортов для внедрения водородных технологий начиная с 2025 г., а с 2030 года планируется широко использовать водород в малой авиации (ГТД на водороде и электросамолеты на ТЭ). Поставлена цель сократить выбросы CO₂ к 2050 году на 50%. В ЕС, Японии и США эксплуатируется несколько тысяч транспортных средств на водородном топливе, создано несколько сотен водородных заправочных станций, отпускающих водород по цене 10-15 долл./кг. Тестируются поезда на топливных элементах. В Китае разрабатываются программы по внедрению пассажирского транспорта на водороде к зимней Олимпиаде 2022 г [4].

В автономной и специальной энергетике водород используется в качестве долгосрочного накопителя энергии, а энергоустановки на ТЭ находят все более широкое практическое применение для энергоснабжения различных потребителей.

Транспортировка водорода к потребителям – одно из ключевых направлений развития водородной энергетики при ожидаемых ее масштабах. В ЕС рассматриваются проекты строительства и использования существующих трубопроводных сетей для транспортировки водорода [5]. Реализуются пилотные проекты дальнего (межконтинентального) транспорта водорода. Среди них:

- проект NEDO - поставка танкерами химически связанного водорода в Японию из Брунея. В Брунее построен завод по гидрогенизации (связыванию водорода, получаемого конверсией из природного газа, в толуоле), а в Японии

создана установка по дегидрогенизации с последующим сжиганием водорода в ранее упомянутой ГТУ мощностью 80 МВт. К 2030 году после отработки технологии на пилотных системах планируется ежегодно поставлять в Японию до 350 тыс. т H_2 из природного газа в качестве топлива для электростанции гигаваттного уровня мощности;

- проект Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project (HESC) (Австралия), в котором водород получают в результате паровой конверсии дешевого угля, сжижают его и танкерами поставляют в Японию (Кобе);

- проект NEOM (Саудовская Аравия), в рамках которого будет построен крупнейший в мире завод по электролизному производству H_2 из воды (650 т H_2 в день) и аммиака на электроэнергии от фотоэлектрических и ветровых энергоустановок суммарной мощностью 4 ГВт, с планируемым экспортом водорода и аммиака в ЕС.

При этом для того, чтобы определиться с тем, какие технологии в первоочередном порядке развивать и использовать в конкурентной борьбе за рынки поставок водорода, необходимо проведение обстоятельных технико-экономических исследований, обосновывающих выбор источников водорода (вода, природный газ, биомасса и др.), первичных источников энергии (природный газ, ВИЭ, электроэнергия АЭС и т.п.) и технологий получения водорода (конверсия или пиролиз природного газа, электролиз воды, др.), оценивающих экологические последствия при использовании разных подходов к производству водорода («углеродный след»), ожидаемые затраты на производство водорода, потенциальные объемы потребления водорода внутри страны и экспорта за рубеж, технологии транспортировки водорода к потребителям и, в конечном итоге, конкурентоспособность водорода как энергоносителя на внутреннем и на внешнем рынках с учетом всех необходимых затрат и потенциального «трансграничного углеродного налога».

Развитие водородной энергетики должно осуществляться с учетом требований декарбонизации экономики. В этой связи приоритетными экологически чистыми источниками водорода являются вода и биомасса, а приоритетными первичными источниками энергии для производства водорода – ВИЭ и энергия от АЭС. Однако комбинации этих источников водорода и первичной энергии на современном технологическом уровне пока приводят к более высокой стоимости водорода (в 3-5 раз) по сравнению с его производством на базе природного газа. При этом следует учитывать, что при использовании технологии паровой конверсии природного газа выбросы CO_2 в расчете на 1 ГДж энергии, содержащейся в получаемом водороде по сравнению с исходным природным газом, возрастают в 1,5-2 раза (с 46,5 кг CO_2 до 80-90 кг CO_2 на 1 ГДж), что обуславливает необходимость разработки и применения технологий утилизации выбросов CO_2 CCUS (Carbon Capture, Use and Storage) [7].

В условиях практического освоения ВИЭ использование технологий CCUS должно стать одним из важных направлений решения задач декарбонизации в сочетании с продолжением реализации мер по повышению энергоэффективности энергетики [8] и других отраслей экономики. Перевод транспорта на использование газового топлива сулит немалые перспективы по улучшению экологических показателей, причем стоимость энергоэффективных

мероприятий будет ощутимо меньше повсеместного внедрения водородных технологий. Отметим, что технологии CCUS должны найти применение не только при производстве водорода, но и в других отраслях экономики с высокими выбросами CO₂, в том числе в перспективной энергетике. В качестве примера перспективной технологии CCUS приведем разработку [9-14], предполагающую сжигание органического топлива в кислороде и реализацию регенеративного термодинамического цикла с выводом углекислого газа из цикла в жидком виде, удобном для хранения, транспортировки, закачки в подземные хранилища и/или использования в химических производствах. В предлагаемой электростанции практически полностью отсутствуют выбросы CO₂ и других вредных окислов в атмосферу, а энергетическая эффективность станции и ее основные технико-экономические показатели, по оценкам, не уступают лучшим современным тепловым электростанциям.

Литература

- [1] “Technology Roadmap - Hydrogen and Fuel Cells”. IEA 2017. Электронный ресурс: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells>.
- [2] Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. «Fan va tehnologiyalar». 2021, 953 стр. (<http://tdtu.uz/2021/11/03/sovremennaya-energetika-i-perspektivy-ee-razvitiya/>).
- [3] P.M. Falcone, M. Hiete, A. Sapio. “Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insights”, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v.31, p. 100506, 2021.
- [4] Guoqiang Zhang, Juan Zhang, Tian Xie, “A solution to renewable hydrogen economy for fuel cell buses - A case study for Zhangjiakou in North China”, *Int. J. Hydrogen Energy*. v. 45, pp.14603-14613, 2020.
- [5] Dimitrios Apostolou, “Optimisation of a hydrogen production–storage–re-powering system participating in electricity and transportation markets. A case study for Denmark”, *Applied Energy*. v. 265, p. 1148002, 2020.
- [6] План мероприятий "Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года". <http://government.ru/docs/all/130498>.
- [7] “CCUS in Clean Energy Transitions”. IEA, September 2020. <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>.
- [8] С.П. Филиппов, М.Д. Дильман, “Технологическое обновление ТЭЦ России на базе газотурбинных технологий”, *Газотрубинные технологии* №2 (161), сс. 14-17, 2019.
- [9] Косой А.С., Зейгарник Ю.А., Попель О.С. и др. “Концептуальная схема парогазовой установки с полным улавливанием диоксида углерода из продуктов сгорания”. *Теплоэнергетика* № 9, с. 23-32, 2018.
- [10] В.В. Даценко, Ю.А. Зейгарник, Е.А. Калашникова и др. “Парогазовые установки с полным улавливанием диоксида углерода для чистой энергетики”. *Теплофизика и аэромеханика*. т. 27. №5, С 815- 822, 2020.
- [11] “Analysis of the Working Conditions of the Recuperative and Heat Recovery Systems of a Compressor-Less Combined Cycle Gas Turbine” / M. V. Sinkevich, Yu. A. Borisov, A. A. Kosoy, et al. *AIP Conference Proceedings* v. 2141, p. 030066, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5122116>

[12] Sinkevich M., Borisov Y., Kosoy A., Ramazanov E. Potential advantages of using compressorless combined cycles in power engineering. *E3S Web of Conferences*. v. 209, p. 03022, 2020.

[13] M.Sinkevich, A.Kosoy and O.Popel “Comparative analysis of the Allam cycle and the cycle of compressorless combined cycle gas turbine unit”, *Материалы международной научной конференции «Энергетика XXI века: устойчивое развитие и интеллектуальное управление»*. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf_energy-212020_03023.pdf.

[14] М.В. Синкевич, Э.Р. Рамазанов, Ю.А. Борисов и др. “Анализ влияния параметров на эффективность термодинамического цикла бескомпрессорной парогазовой установки”. *Теплофизика высоких температур*. №5, 2021. (в печати).

[15] Матренин В.И., Овчинников А.Т., Поспелов Б.С., Соколов Б.А., Стихин А.С. От энергетики космического корабля «Буран» к энергетике космических кораблей и станций. *Космическая техника и технологии* № 3, с. 57-65, 2013.

[16] Giulio Guandalinia, Stefano Forestia, Stefano Campanaria, Jorg Coolegemb, Jan ten Have, “Simulation of a 2 MW PEM Fuel Cell Plant for Hydrogen Recovery from Chlor-Alkali Industry”. *Energy Procedia* v. 105, p. 1839 – 1846, 2017.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.383:539.231

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСИСТРУКТУРНЫХ
ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С МИКРОГЕТЕРУТИКАМИ В Si «Ge»**

Н.Ф. Зикриллаев, Э.Б. Саитов, О.Б. Курбонбоев, Д.Ш. Курбонов

Ушбу мақолада кремний материалларини Ge атомлари билан бойитишда, усуллари келтирилган бўлиб, нисбатан диффузия усулининг имкониятлари ва афзаллик томонлари ёритилди. Хозирги вақтда Si«Ge» микро-гетероўтишли намунанинг волт ампер таснифи (ВАТ) ва электро физик катталиклари ўрганилди. Si«Ge» микро-гетероўтишли намунадан фотоэлемент тайёрлаш имкониятлари ва дастлабки микро-гетероўтишли фотоэлемент мавжудларига нисбатан самарадорлиги юқори бўлиши лабаратория шароитида ўз тасдиқини топди. Ўзбекистон шароитида муқобил энергия манбаларининг ривожланига, янги яратилган Si«Ge» микро-гетероўтишли фотоэлементлар оламини очиб беришда хизмат қилади.

В данной статье описываются методы кремниевых материалов для обогащения атомов Ge, методом диффузии, чем возможности и преимущества покрытия. Существующие в настоящее время технологические методы изготовления и используемые полупроводниковые материалы при разработке эффективных солнечных элементов (СЭ) со стабильными параметрами и максимальным коэффициентом полезного действия (КПД) практически достигли своего предела. Для дальнейшего повышения основных параметров СЭ необходимо использовать принципиально новые полупроводниковые материалы или новые физические явления. Создавать нового технологический диффузионного процессов можно нового микро гетеропереходов фотоэлемент развитием альтернативных источник энергии в Узбекистане.

This article describes the methods of silicon materials for enriching Ge atoms, by diffusion, than the possibilities and advantages of coating. The currently existing production methods and semiconductor materials used in the development of efficient solar cells (SC) with stable parameters and maximum efficiency have practically reached their limit. To further increase the basic parameters of the solar cell, it is necessary to use fundamentally new semiconductor materials or new physical phenomena. It is possible to create a new technological diffusion process of a new micro-heterojunction photocell by the development of an alternative energy source in Uzbekistan.

Доля альтернативных источников энергии в электроэнергетике растет день ото дня. Ряд научных проектов и производственного оборудования создается в связи с научными исследованиями промышленных предприятий и научно-исследовательских институтов. По инициативе профессоров кафедры «Альтернативные источники энергии» и «Цифровая электроника и микро-электроника» Ташкентского государственного университета и ныне покойного академика АН РУз М.К. Боходирханова реализовано множество практических

проектов по микро- и наноструктурным и микрогетеропроводящим материалам. фотоэлементы внедряются [1,2].

Когда дело доходит до квантовой механики, созданной лауреатом Нобелевской премии Ричардом Фейнманом, многие считают, что это сложный набор формул. Как зрелый специалист, ученый смог увидеть высокие перспективы квантовой механики. «В будущем люди смогут научиться управлять отдельными атомами и создавать (синтезировать) то, что они хотят», - сказал он. Дальнейшее развитие поля. Если мы ограничим движение частиц тела любым размером или направлением, то есть если мы его квантуем, то его законы движения будут полностью отличаться от законов движения свободной частицы. Продолжая квантование и ограничивая движение частицы двумя измерениями (одномерные структуры), а затем всеми тремя измерениями (нульмерные структуры), возникнут совершенно новые явления и законы. В частности, открытие в 1987 г. квантовых и дробных квантовых эффектов Холла в двумерном электронном газе вызвало интерес к низкоразмерным структурам. Рассеяние и поглощение большого количества света двумерными структурами, огромное магнитное сопротивление в тонких пленках и перспектива открытия больших квантовых молекул на основе углерода фуллерен и их практическое применение внесли большой вклад в исследования в этой области. поле [3,4].

Демонстрация размерного квантования в полупроводниках проводится с использованием высоких технологий (диффузия и молекулярная световая эпитаксия) путем выращивания на подложке очень тонких слоев, различающихся не только кристаллографической структурой, но и химическим составом. Исследования в этой области начались в 70-х годах прошлого века. Примечательно, что исследования по образованию бинарных неоднородностей $Al_xGa_{1-x}As$, в основном на основе вымерших соединений, были проведены, и в 2003 г. немецкий ученый Бимберг и российский ученый Й.Алферов были удостоены Нобелевской премии. Согласно современной технологии вводные атомы вводятся в полупроводниковые материалы тремя различными способами. Они выполняются во время роста материалов, методом диффузии и путями ионной имплантации [5,6].

Положение дополнительного энергетического слоя между основными зонами кристалла оказывает сильное влияние на проницаемость кристалла, даже когда вводимая величина очень мала. Атомы таких элементов, как пентавалентный фосфор, мышьяк и сурьма, образуют дополнительные донорные слои, расположенные вблизи зоны проницаемости в германии и кремнии. При низких температурах входные слои заполнены электронами, но при высоких температурах электроны переходят из этого слоя в зону проводимости за счет теплового движения. В этом случае они остаются свободными и, следовательно, подвижными, и участвуют в электропроводности кристалла.

Если электрон в валентной связи по какой-то причине (например, из-за тепловой энергии или другой внешней энергии) переходит из этой связи в зону проводимости, то атом, теряющий этот валентный электрон, становится положительным ионом, то есть единственным в этом атоме появляется положительно заряженная полость. Если электрон проходит через полость этой связи, он захватывается этой полостью, и в результате полость электронного пространства теряется из-за рекомбинации.

Трехвалентный вход называется акцепторным входом, потому что он принимает электроны из валентной зоны. Так почему же эта инициатива берет на себя электрон? Как упоминалось выше, поскольку атом кремния является четвертичным, кристаллическая решетка образует ковалентную связь с четырьмя электронами. Теперь он заменен 3-валентным атомом, в котором отсутствует единственный электрон для образования полной ковалентной связи, т.е. образуется полость. Теперь, когда появилась возможность каким-то образом добавить один электрон, вводный атом осознает эту возможность. Такие электроны постоянно генерируются флуктуациями теплового движения кристалла при данной температуре. Следовательно, в единице объема кристалла имеются полости с концентрацией, соответствующей концентрации введенных в него акцепторных атомов [7,8].

Поскольку электропроводность кристалла в этом случае в основном определяется полостями, такой полупроводник называется полупроводником р-типа или полым полупроводником. В полупроводнике р-типа дырки являются основными носителями заряда, а электроны - неосновными носителями заряда.

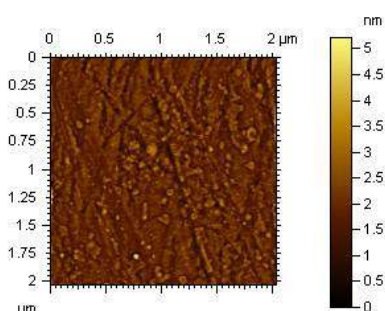


Рис.1. Топология внедрения германия в образец кремния.

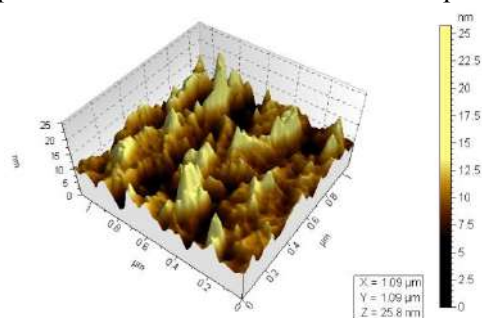


Рис.2. Трехмерное распределение кластеров проникновения германия в образце кремния

В эксперименте в качестве вводных атомов был выбран элемент германий (Ge), а введение было выбрано на пластине из кремния (Si) марки КДБ-0,1 на основе диффузионного метода. Мы знаем, что температура плавления кремния 1417°C , германия 937°C . Причина выбора изобретения германия заключается в том, что атомы этого введения имеют различную природу и связаны с образованием заряженных микро- и нанокластеров и микрогетеропереходов. Это, в свою очередь, позволяет получать идеальные микро- и наногетеропереходы, а также р-п-переходы без поверхностных и оксидных слоев [9,10].

Процесс легирования кремния германием осуществлялся диффузией в газовой среде. Температура легирования была выбрана соответственно $T=1250^{\circ}\text{C}$. Помимо полученных образцов, они были обработаны при разных температурах. Образец кремния с включениями германия исследовали с помощью микроскопа ASM. Распределение и топология введения Ge в кремнии показаны на рисунках 1 и 2.

Когда мы обрабатывали образцы при разных температурах, было замечено, что их распределение варьировалось. Когда мы исследовали образцы при выбранных температурах, было замечено, что кластеры не только

образовывались, но и рассортировывались. Это, в свою очередь, позволяет получать совершенные микрогетерогенные интегрированные фотоэлементы, датчики температуры и счетчики фотонов.

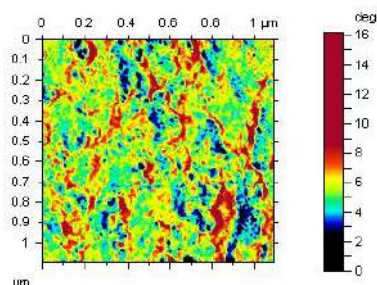


Рис.3. Карта внедрения германия в образец кремния.

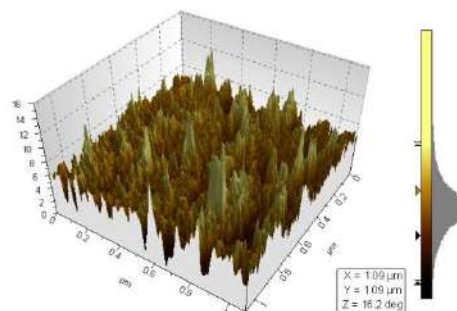


Рис.4. Пространственное трехмерное изображение внедрения германия в образец кремния.

Одним из преимуществ недавно разработанной диффузионной технологии была возможность получения идеальной микрогетеропереходной структуры в кремнии в обмен на введение германия. Было замечено, что одновременно сортируется изменение размера кластеров в обрабатываемом образце при дополнительных температурах. Например, когда мы изучаем наш образец, обработанный при дополнительной температуре 900°C в ASM, мы можем увидеть четкое доказательство нашей точки зрения. На рисунках 3 и 4 показаны пространственная карта и карта кластеров германия на поверхности кремния. Есть 4 разных цвета, мы можем видеть зеленый чистый кремний, синий введение германия, желтый и красный другие введения.

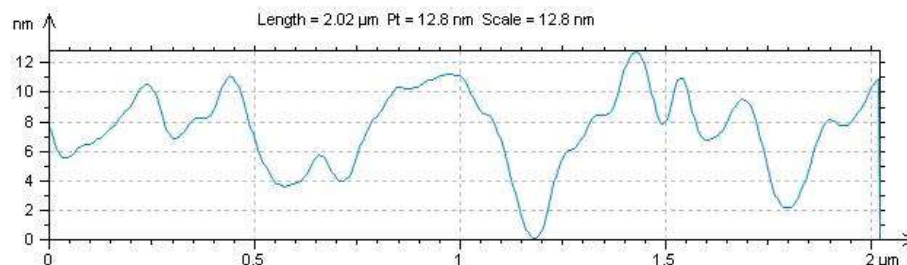


Рис.5. Секционное распределение кластеров германия в образце кремния

Формирование структуры $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, которая изменяет ширину запрещенной зоны на определенной глубине на кремниевой пластине, можно увидеть на изображениях выше. Создаваемые на их основе конструкции приводят к расширению спектра солнечного света, падающего на солнечные элементы, и увеличению к.п.д. солнечных элементов.

На основе диффузии создан новый тип кремниевого материала с микро- и наногетропроводностью. На основе разработанной технологии в лабораторных условиях доказана возможность изготовления и использования высокоэффективных фотоэлементов на основе пластин микро- и наногетерогенного кремния.

Авторы посвящают эту статью светлой памяти ныне покойного академика М.К. Баходирханова.

Литература

1. Yu.M Kurbonov, E.B Saitov, and B M Botirov. Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station. ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012034
2. Saitov E.B. Optimal model for additional operation of the storage system for photovoltaic wind power plants. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001080
3. E.B.Saitov. Renewable Energy Development in Uzbekistan: Current Status, Problems and Solutions. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01134 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601134
4. E.B.Saitov., J.B.Toshov., A.O.Pulatov., B.M.Botirov., Yu.M.Kurbanov. Networked interactive solar panels over the roof photovoltaic system (PVS) and its cost analysis at Tashkent state technical University. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01133 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601133
5. Bakhadyrkhanov, M.K., Valiev, S.A., Zikrillaev, N.F., Saitov, E.B., Tachilin, S.A. Silicon photovoltaic cells with clusters of nickel atoms. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2016, 52(4), стр. 278–281. DOI: 10.3103/S0003701X1604006X
6. Zikrillayev Nurullo, Saitov Elyor. Silicon materials -the future of photovoltaics. Monograph - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019, ISBN: 987-620-0-50311-4.
7. N.F.Zikrillaev, E.B.Saitov, O.B. Tursunov A.J. Khusanov, K.K. Kurbonaliev, Features Of Self-Oscillatory Processes In A Strongly Compensated Silicon With Nanoclusters Of Impurity Atoms. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.935-939, 2021.
8. E.B.Saitov, N.F.Zikrillayev, Photovoltaic Effect In Silicon With Schottky Micro-Barriers Created On The Basis Of Nickel Impurity Atoms And Spectral Characteristics. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.982-992, 2021.
9. Saitov E.B, Toshov J.B, Umarov Sh.B., Fayzullayev B.H., Abdullabekov I.A, Nasriddinov B.A. Optimization of Solar Power Systems in Different Regions. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.
10. Saitov Elyor Bakhridinovich, Pulatov Abror Obidovich. Development of an Experiment Control System at a Laboratory Installation of a Photovoltaic Station in a Remote access Mode Based on Web Technologies. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК. 620.97

**ПЕРЕНОСНАЯ АВТОНОМНАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Ж.Б. Тошов, Э.Б. Саитов, Ш. Тохиржанов, Ф. Отакулов

Kam quvvatli ishonchli portativ va arzon quyosh stansiyalarini yaratish va rivojlantirish fermerlar, yozgi aholi, geologlar va sayohatchilarda katta qiziqish uyg'otmoqda. Shu bilan birga, asosiy vazifa har xil sharoitlarda tashish paytida qurilmalarning ishonchliligini, foydalanish va qulayligini ta'minlash, shuningdek, ularning har xil sharoitlarda keng ko'lamda ishlatilishini ta'minlaydigan minimal o'lchamlarda, og'irligi jihatdan engil va maqbul narxini ta'minlashdir.

Создание и разработка надежных переносных и недорогих солнечных станций с небольшой мощностью представляет большой интерес для фермеров, дачников, геологов, путешественников. При этом основной задачей является обеспечение надежности установок при транспортировке в различных условиях, удобство и простота в эксплуатации, а также обеспечение минимальных размеров, массы и приемлемой цены, что позволит обеспечить их широкомасштабное использование в различных условиях и применениях.

Development and design of low power mobile and inexpensive solar stations are important for farmers, individuals, geologists and trotters. The most important aspect is ensuring reliability of units in times of transportation, convenience and operational ease as well as minimum dimensions, low price. All the above will ensure large-scale implementation of solar stations in various applications and utilizations.

В данной статье мы рассмотрим мобильные солнечные электростанции, основанные на солнечных батареях – посредством которых, любой из нас, находясь вдали от дома, способен наладить нормальную связь с родными и близкими людьми, а также обеспечить свои другие, минимальные энергетические потребности [1-5].

В современном обществе есть много людей, которые по призванию своей души или профессионально по роду деятельности – вынуждены постоянно передвигаться. К ним относятся такие, достойные восхищения и уважения профессии, как геологи, нефтяники, участники различных научно-исследовательских экспедиций, а также любители туризма, охоты и пр.

Именно для таких, ведущих активный образ жизни людей и предназначены мобильные переносные электростанции. Они существенно повышают комфорт и безопасность таких групп людей, находящихся вдали от цивилизованного мира и его достижений [6-10]. В случае потребности, такие устройства способны обеспечить надежную связь с «большой землей», а также навигацию и работу приборов с минимальным потреблением электроэнергии, для обеспечения выполнения поставленных перед группой задач. Расчеты показывают, что использование АИЭ в удаленных районах республики дает не только социальный и экологический эффект, но и прямой экономический эффект [11].

Технические характеристики разработанной переносной солнечной станции: Целью данной работы являлась разработка переносных солнечных станций, обеспечивающих освещение помещения в течение как минимум 8 часов, зарядку сотовых телефонов. Вместе с тем, данные станции должны быть удобными при транспортировке [12-15]. При этом необходимо было точно рассчитать мощность солнечного потока, который не только должен был бы обеспечить необходимой энергией систему для освещения в ночное время с длительностью 8-10 часов, но также подзаряжать аккумулятор. Вместе с тем, устройство должно было иметь оптимальные размеры для удобства при транспортировке и размещении.

В соответствии с требованиями нами была разработана универсальная переносная автономная солнечная электростанция индивидуального использования, предназначенная для электрификации фермерских хозяйств и дачных участков, а также для использования в удаленных и трудно доступных местах, где отсутствует традиционное электроснабжение [16].

Мощность солнечной панели составляет 20 Вт. Мощность инвертора максимальная 300 Вт. Действующее выходное напряжение инвертора 220 В с частотой 50 герц. Емкость аккумуляторов 14 А×час. Максимальная длительность работы одного телевизора и освещения комнаты в течение 4 часов. Максимальная длительность освещения комнаты в течение 20 часов. Оборудование размещено в чемодане с размером 15×20×30 см³ в защищенном исполнении.

В настоящее время во всем мире активно осваивается производство эффективных солнечных элементов для разработки и ввод в эксплуатацию аналогичных мини солнечных станций. Однако, следует отметить, что непосредственное использование данных источников не представляет возможности в силу ряда факторов, так как энергия, вырабатываемая фотоэлектрическим генератором, имеет ряд специфических особенностей:

Нестационарный характер выработки энергии, а это значит, что необходима система аккумуляции энергии (электрохимический аккумулятор). Как правило, электрическая энергия вырабатывается в виде постоянного напряжения в диапазоне от 12 до 48 вольт.

В то же время большинство бытовых потребителей (холодильники, телевизоры, насосы и другие) требует переменного напряжения частотой 50 герц и напряжением 220 вольт. Для преобразования постоянного напряжения солнечных станций в переменное с необходимыми характеристиками, требуются *инверторы* [17].

Инверторы для солнечных станций по своим характеристикам должны существенно отличаться от простейших инверторов и устройств бесперебойного питания, которые широко представлены на рынке. Их должен отличать высокий уровень надежности, большая перегрузочная способность, встроенные электронные системы защиты [18].

В настоящее время «солнечные» инверторы в Республике Узбекистан промышленностью не производятся, и их приходится приобретать за валютные средства. Отсутствует также производство некоторых других узлов солнечных и ветровых станций – контроллеров заряда аккумуляторов, опорных конструкций, то есть имеется существенное отставание в этой области.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Разработка собственного производства таких инверторов необходима для успешного внедрения солнечных электростанций малой (до 1 кВт) мощности для фермеров и населения, удаленного от промышленных электрических сетей.

Нами на кафедре «Цифровая электроника и микроэлектроника» разработаны комплексные решения по созданию целой линейки «солнечных» инверторов мощностью вплоть до 2 кВт для различных применений и установок различных мощностей (зарядки сотовых телефонов, мобильные солнечные электростанции и т.д.) [19-21]. Эксплуатационные характеристики разработанного инвертора мощностью до 2 кВт приведены в таблице.

Мини солнечные станции с такими инверторами прошли успешные испытания в реальных условиях и зарекомендовали себя как надежные устройства с достаточно длительным сроком службы. При внедрении разработанного инвертора и перехода к его промышленному выпуску, можно будет отказаться от закупки инверторов для солнечных электростанций за рубежом. Это позволит существенно сэкономить валютные средства. Возможно широкомасштабное использование разработанного инвертора во всех регионах Узбекистана.

Эксплуатационные характеристики разработанного инвертора

Наименование параметра	Значение параметра
Мощность номинальная	2000 Вт
Мощность максимальная (в течение 3 минут)	2500 Вт
Кратковременная (до 5 секунд) перегрузочная способность от номинального значения	50 %
Входное напряжение постоянного тока	от 21 до 30 В
Выходное напряжение переменного тока (частотой 50 герц)	220 В
Защита от короткого замыкания нагрузки 220В	Автоматический выключатель 15А
Форма выходного напряжения	Синусоидальная, с ограничением вершин устройством защиты
Коэффициент гармоник (при номинальной мощности)	не более 5%
Стабильность выходного напряжения (при полной зарядке исправного аккумулятора) и максимальной нагрузке	от +5 до -10 %
Масса	не более 20 кг
Срок эксплуатации	не менее 10 лет
Время непрерывной эксплуатации	не ограничено
Необходимость технического обслуживания	Проверка вентилятора охлаждения и воздушного фильтра

Упрощенная схема силовой части инвертора представлена на рис.1. Силовой блок инвертора (рис. 2) был изготовлен на основании из алюминия толщиной 4 мм, на котором закреплялись изолированные теплоотводящие радиаторы силовых транзисторов и диодов, а также другие элементы силовой части. Вся схема блока управления разделена на четыре части по функционально–узловому принципу.

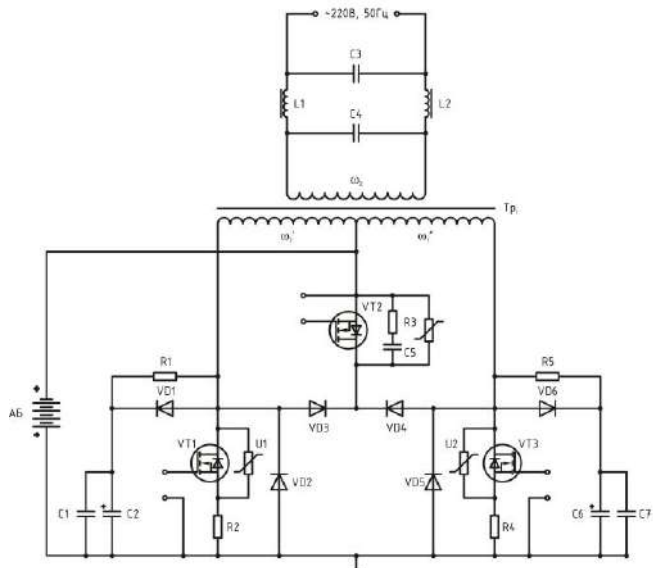


Рис.1. Упрощенная схема силовой части инвертора

Были выделены следующие узлы:

- микроконтроллерная часть, объединяющая микроконтроллер, элементы индикации режимов работы и элементы управления,
- узел быстродействующей защиты и формирования импульсов управления силовыми транзисторами,
- узел гальванической развязки с тремя каналами,
- узел питания, формирующий необходимые параметры питающих напряжений.

Что касается аккумуляторов, то аккумуляторная батарея (собирается из готовых батарей параллельно-последовательным соединением на нужное напряжение и емкость).



Рис.2. Конструкция силовой части инвертора

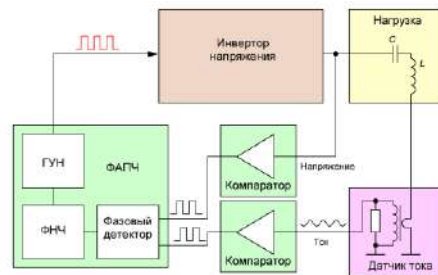


Рис.3. Схема контроля и управления



Рис.4. Торoidalный выходной трансформатор

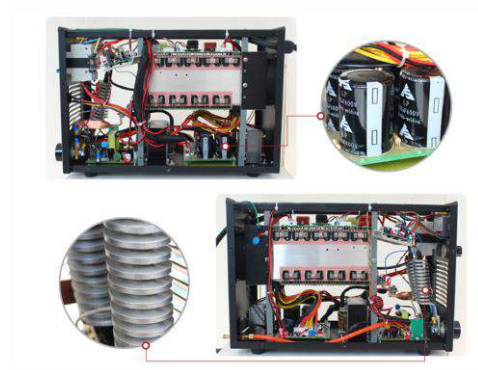


Рис.5. Внешний вид силовой части инвертора

Здесь следует отметить, что солнечная батарея – это источник электрической мощности, свойства которого сильно зависят от освещенности. Для случая идеального р-п перехода $I = I_s \left(e^{\frac{U}{kT}} - 1 \right) - I_\phi$. Из этой формулы следуют основные зависимости: $U_{xx} \sim \ln \Phi$, а $I_{кз} \sim \Phi$, где Φ - освещенность солнечной батареи (СБ).

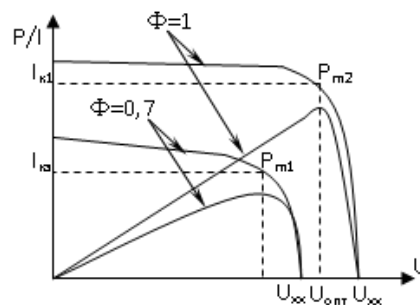


Рис.5. ВАХ солнечного батарей

На рисунок 5 показано ВАХ СБ всегда имеется точка, в которой ее выходная мощность максимальна, но положение этой точки меняется (см. рис.) от освещенности Φ , которая в случае неподвижной установки СБ меняется в течение дня сильно. Для увеличения общего К.П.Д. можно использовать специальный зарядный регулятор, оптимизирующий рабочую точку СБ.

Такая солнечная станция обеспечивает непрерывную работу одного телевизора и освещение комнаты в течение 4 часов, а без телевизора освещает комнату и обеспечивает зарядку сотовых телефонов в течении 20 часов. Для обеспечения работы таких станций необходимо размещение солнечной панели на солнце от 6 до 10 часов в зависимости от условий погоды. Проведенные нами эксперименты показали, что срок службы таких солнечных станций составляет не менее 20 лет, возникает время от времени необходимость лишь замене аккумуляторов. На рис.6. показана ниже представлен внешний вид и устройство таких солнечных станций.



Рис.6. Наружный вид и устройство солнечных станций

Данная солнечная станция предназначена для индивидуального пользования, а также для использования в удаленных и трудно доступных местах, где отсутствует традиционное электроснабжение. Возможными потребителями продукции могут быть Министерство обороны, "Узэлтехсаноат" ассоциация компаний, Министерство внутренних дел, Главгидромет, Министерство сельского хозяйства, Узбекгеология, Государственный комитет ветеринарии и развития животноводства, а также организации или частные лица спецификой деятельности которых является проведение работ в удаленных и трудно доступных местах, где отсутствует традиционное энергоснабжение.

Литература

1. I Sapayev, E Saitov, N Zoxidov, B Kamanov. Matlab-model of a solar photovoltaic station integrated with a local electrical network. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 883, 1, 012116, IOP Publishing, 2020/7/1.
2. Javoxir Toshov., Elyor Saitov. Portable autonomous solar power plant for individual use. E3S Web of Conferences 139 01087. 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012116
3. Bakhadyrkhanov, M.K., Valiev, S.A., Zikrillaev, N.F., Saitov, E.B., Tachilin, S.A. Silicon photovoltaic cells with clusters of nickel atoms. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2016, 52(4), стр. 278–281. DOI: 10.3103/S0003701X1604006X
4. Toirov, O., Bekishev, A., Urakov, S., Mirkhonov, U. Development of Differential Equations and their Solution Using the Simulink Matlab Program, which Calculate the Self-Swinging of Synchronous Machines with Traditional and Longitudinal-Transverse Excitation. E3S Web of Conferences this link is disabled, 2020, 216, 01116
5. Zikrillayev Nurullo, Saitov Elyor. Silicon materials -the future of photovoltaics. Monograph - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019, ISBN: 987-620-0-50311-4.
6. Toirov, O., Alimkhodjaev, K., Pirmatov, N., Kholbutaeva, A. Mathematical model to take into account the influence of saturation of the magnetic circuit on the

starting characteristics of a synchronous motor. E3S Web of Conferencesthis link is disabled, 2020, 216, 01119

7. N.F.Zikrillaev, E.B.Saitov, O.B. Tursunov A.J. Khusanov, K.K. Kurbonaliev, Features Of Self-Oscillatory Processes In A Strongly Compensated Silicon With Nanoclusters Of Impurity Atoms. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.935-939, 2021.

8. Afrisal, H., Setiyono, B., Yusuf, M.F., Suin, R.M., Toirov, O. Trajectory Planning with Obstacle Avoidance of 3 DoF Robotic Arm for Test Tube Handling System. 7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, ICITACEE 2020 - Proceedings

9. E.B.Saitov, N.F.Zikrillayev, Photovoltaic Effect In Silicon With Schottky Micro-Barriers Created On The Basis Of Nickel Impurity Atoms And Spectral Characteristics. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.982-992, 2021.

10. Saitov E.B, Toshov J.B, Umarov Sh.B., Fayzullayev B.H., Abdullabekov I.A, NasriddinovB.A. Optimization of Solar Power Systems in Different Regions. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.

11. Saitov Elyor Bakhridinovich, Pulatov Abror Obidovich. Development of an Experiment Control System at a Laboratory Installation of a Photovoltaic Station in a Remote access Mode Based on Web Technologies. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.

12. Zikrillayev Nurullo, Saitov Elyor. Silicon materials -the future of photovoltaics. Monograph - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019, ISBN: 987-620-0-50311-4.

13. YU.M Kurbonov, E.B Saitov, and B M Botirov. Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station. ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012034

14. Karimov, R., Bobojanov, M. Analysis of voltage stabilizers and non-contact relays in power supply systems. E3S Web of Conferencesthis link is disabled, 2020, 216, 01162

15. Saitov E.B. Optimal model for additional operation of the storage system for photovoltaic wind power plants. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001080

16. Karimov, R. Study of the state of the issue of increasing the quality of electric energy in the power supply systems. E3S Web of Conferencesthis link is disabled, 2020, 216, 01163

17. Saitov E.B., Sobirov Y.B., Yuldoshev I.A., Jurayev I.R., Kodirov S. Study of Solar Radiation and Wind Characteristics in Various Regions of Uzbekistan. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001061

18. Karimov, R., Bobojanov, M., Tairova, N., Egamov, A., Shamsiyeva, N. Non-contact controlled voltage stabilizer for power supply of household consumers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineeringthis link is disabled, 2020, 883(1), 012120

19. E.B.Saitov. Renewable Energy Development in Uzbekistan: Current Status, Problems and Solutions. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01134 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601134

20. Shoguchkarov, S., Yuldoshev, I., Saitov, E., Boliev A. The effect of the surface geometry of a photovoltaic battery on its efficiency. E3S Web of Conferences. Volume 216, 14 December 2020 Rudenko International Conference on Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems, RSES 2020; Kazan; 21 September 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202021601149

21. E.B.Saitov., J.B.Toshov., A.O.Pulatov., B.M.Botirov., Yu.M.Kurbanov. Networked interactive solar panels over the roof photovoltaic system (PVS) and its cost analysis at Tashkent state technical University. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01133 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601133

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.314

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

И.Р. Жураев, И.А. Юлдошев, З.И. Жураева

Ushbu maqolada I.Karimov nomidagi ToshDTU AEM kafedrasining geliopoligonida o'rnatilgan turli xil fotoelektrik modullarning (FEM) elektrofizik parametrlarini eksperimental o'rganish natijalari va o'lchash natijalarini qiyosiy tahlil qilish keltirilgan. 2021 yil Iyul, avgust, sentyabr va oktyabr oylarida ochiq quyoshli kunlarda FEM parametrlarining eksperimental o'lchovlari o'tkazildi. Barcha parametrlarning o'zgarish dinamikasi qayta ishlangan va grafik tasvirlarda taqdim etilgan. Quyosh nurlanishining maksimal qiymatida o'rganilayotgan FEM turlarining sirtlari harorati tahlil qilindi, CdTe va CIGS FEM turlarining FEM turlari orasida harorat ta'siriga afzalliklari aniqlandi. Analitik ma'lumotlar avtonom va tarmoq maqsadidagi fotoelektrik stansiyalarni loyihalash va qurishda foydali bo'lishi mumkin.

В данной статье приведены результаты экспериментального исследования и сравнительный анализ результатов измерений электрофизических параметров различных типов фотоэлектрических модулей (ФЭМ), установленных на гелиополигоне кафедры АИЭ ТашГТУ им. И.Каримова. В ясные солнечные дни июля, августа, сентября и октября месяцев 2021г., были проведены экспериментальные измерения параметров ФЭМ. Динамика изменения всех параметров были обработаны и представлены в графических изображениях. Анализируются температуры поверхностей ФЭМ при максимальном значении солнечной радиации, определена преимущества к температурным воздействиям ФЭМ типа CdTe и CIGS среди типов ФЭМ. Аналитические данные могут быть полезными в проектировании и построении фотоэлектрических станций автономного и сетевого назначения.

This article presents the results of an experimental study and a comparative analysis of measurement results of electrophysical parameters of various types of photovoltaic modules (FEM) installed on the heliopolygon of the Department of AES of TashSTU named after I.Karimov. During the clear sunny days of July, August, September and October of 2021, were carried out experimental measurements of the parameters of the PVM. The dynamics of changes in all parameters were processed and presented in graphical images. The temperatures of the PVM surfaces at the maximum value of solar radiation are analyzed, the advantages to the temperature effects of CdTe and CIGS type PVM among the types of PVM are determined. Analytical data can be useful in the design and construction of photovoltaic plants for autonomous and network purposes.

Введение

Как известно, основной причиной превышения концентрации выбросов CO₂ и других вредных газов и веществ в атмосфере является производства электроэнергии сжиганием углеводородных источников ископаемого топлива в

виде угля, нефти и природного газа. Задачи обеспечения охраны окружающей среды, предотвращения изменения климата и парникового эффекта, из-за увеличения глобального потепления атмосферы на сегодняшний день является большой озабоченностью мирового сообщества. В этих целях международная организации ООН в сентябре 2021 г., по проблемам климата и окружающей среды, проводила диалог по энергетике, посвященной сокращению использования углеводородных источников для производства энергии в мире и до 2050 года обозначены намерения перехода от традиционных способов генерации электроэнергии к экологически чистым видам, в частности возобновляемой энергетике [1].

Международная организация по возобновляемой энергетике также разработала дорожную карту до 2050 года по активному внедрению и рациональному использованию всех видов возобновляемых источников энергии [2]. В масштабах мировой энергетической системы доля использования солнечной, ветровой энергии, гидроэнергии, энергии водных течений и волн морей, океанов, геотермальную энергию, энергию биомассы увеличивается с каждым годом. Возрастающий интерес к возобновляемой энергетике обусловлена экологической чистотой данных видов энергии и отсутствия воздействия на загрязнения атмосферы [3,4,5].

Особенно, фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии является одним из основных и перспективных направлений энергообеспечения по возобновляемой энергетике. Использование солнечной энергии для производства электроэнергии находит широкое внедрение также и в Узбекистане. Так, впервые в энергетической отрасли запущена солнечная электростанция мощностью 100 мВт в Карманинском районе Навоийской области [6].

В течение ряда лет в мировой науке были разработаны множества технологий фотоэлектрических модулей. Работа фотоэлектрических модулей непосредственно связана с внешними факторами, такие как погодные и климатические условия географической местности. В географических регионах с континентальным климатом наблюдается сухая экстремально-жаркая погода с повышенной концентрацией запыленностью воздуха. В таких условиях эксплуатация фотоэлектрических модулей (ФЭМ) затрудняется из-за снижения эффективности выходных параметров. Такая ситуация приводит к нагреву ФЭМ и резкому ухудшению их параметров, к снижению коэффициента полезного действия (КПД) [7].

С ростом рабочей температуры, каждый тип солнечной панели ведет себя по-разному. Например, у кремниевых элементов номинальная мощность падает с каждым градусом превышения номинальной температуры на 0,43-0,47%, солнечные элементы из теллурида кадмия теряют всего 0,25% [8]. Кроме того, использование ФЭМ в экстремально жарких условиях чрезмерный перегрев модулей ускоряет процесс их деградации и приводит к потери выходной мощности, частым выходам из строя установок и снижению их срока службы. Разработка и создание ФЭМ, тепло-фотоэлектрических установок, стабильно и эффективно работающих в условиях жаркого климата является актуальными задачами научных исследований в области использования солнечной энергии [9]. В связи с этим, в данной работе приводим результаты

экспериментального исследования наиболее часто используемых типов ФЭМ в естественных условиях эксплуатации.

Методы и средства исследования

В целях сравнительного анализа электрофизических параметров различных типов фотоэлектрических модулей (ФЭМ) был выбран метод экспериментального исследования в естественных условиях работы ФЭМ. Для этих целей были проведены экспериментальные измерения параметров ФЭМ в ясные солнечные дни - 26.07.2021, 19.08.2021, 29.09.2021, 30.10.2021г.

Объектом экспериментального исследования были выбраны следующие типы ФЭМ:

- Кремниевый монокристаллический ФЭМ, Sky(AR) 290W;
- Кремниевый поликристаллический ФЭМ, ODA50-18-P 50W;
- Тонкопленочный ФЭМ на основе CIGS, SC-50MDF 48W;
- Тонкопленочный ФЭМ на основе CdTe, ASP-S1-90.

Данные ФЭМ были установлены на гелиополигоне кафедры “АИЭ” ТашГТУ им.И.Каримова под углом наклона 45° к горизонту (рис.1).

Целью экспериментального исследования являлось проведения измерений характеристик и параметров различных фотоэлектрических модулей(ФЭМ) при эксплуатации в одинаковых условиях окружающей среды. А также, проведение анализа полученных данных и сравнения показателей по датам разных месяцев. Сравнения различных типов ФЭМ осуществляются в режиме холостого хода по ток короткого замыкания и напряжения холостого хода [10].



Рис.1. Общий вид различных типов ФЭМ, установленных на гелиополигоне кафедры АИЭ ТашГТУ им.И.Каримова для экспериментального исследования

В ходе экспериментальных исследований фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в качестве средств измерений соответствующих параметров были использованы нижеследующие приборы (рис.1-3).

Для измерения значений напряжения и тока использовали мультиметр цифровой марки UYIQA0 UA78+(рис.1) с диапазоном измерения по напряжению до 1000 В, по току до 20 А.

Для измерения температуры на поверхностях панелей был использован тепловизор марки FLIR E5(рис.1) с диапазоном измерения температуры от -20°C до $+250^{\circ}\text{C}$.



Рис.1. Мультиметр и тепловизор



Рис.2. Пиранометр



Рис.3. Анемометр

Солнечная радиация, как известна до земли доходит в виде прямого, рассеянного и отраженного от поверхности излучения [11]. Спектральная чувствительность различных типов ФЭМ требует детального изучения изменения значений падающего на их поверхности солнечного излучения [12, 13]. Для измерения суммарной солнечной радиации использовали пиранометр марки Solar Power Meter Di-LOG SL101 (рис.2) с диапазоном измерения до 2000 Вт/м^2 . Для измерения скорости ветра и температуры воздуха использовали анемометр марки UNI-T UT363 Mini (рис.3) с диапазоном измерения скорости ветра $0-30 \text{ м/с}$, температуры воздуха $10 - 50^{\circ}\text{C}$.

Результаты и обсуждения

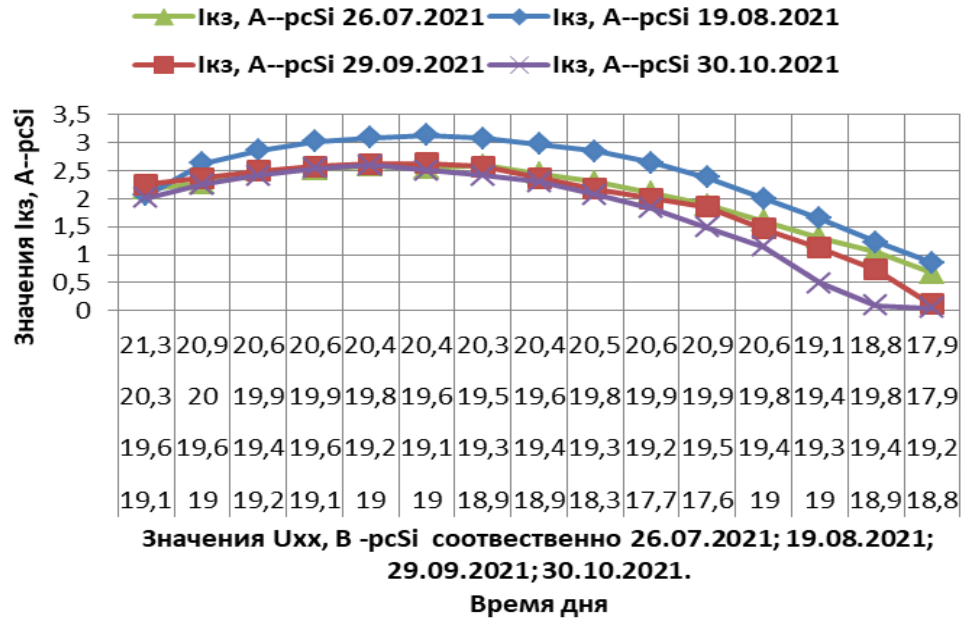
Как известно из научных работ предыдущих исследований различные типы ФЭМ используются разные полупроводниковые материалы, которые имеют разные ширины запрещенной зоны. Например, ширина запрещенных зон у кремний $1,12 \text{ эВ}$, диселенид-меди-индия $1,0 \text{ эВ}$, теллурид кадмия $1,44 \text{ эВ}$, которые оказывают существенное влияние на способность поглощения солнечной радиации [14, 15, 16].

Одним из основных электрофизических параметров ФЭМ является вольтамперные характеристики, нагрев модулей, внешние факторы- влияющие на них погодные условия, солнечная радиация, температура воздуха, ветер [17, 18]. Измерения значений электрических характеристик, солнечной радиации, падающей на поверхность ФЭМ, температуры нагрева поверхностей ФЭМ, температуры воздуха, скорости ветра, осуществлялась 26-июля 2021 г., 19-августа 2021 г., 29-сентября 2021 г., и 30-октября 2021 г., в течение светового дня в промежутке времени с 10-00 до 17-00 дня с повторяемостью в каждые полчаса. Результаты измерений параметров и динамику их изменения в зависимости от соответствующих параметров приводим в виде графических изображений ниже (рис.4-7).

Из графиков изменения вольтамперной характеристики ФЭМ значения тока короткого замыкания можно увидеть их пропорциональную связь с величиной падающей солнечной радиации. Соотношение измеренных величин $I_{\text{кз}}$ к номинальным показателям тестовых значений по STC для всех типов ФЭМ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

составляет следующее, рсSi-70,8%, CdTe-74,1%, mcSi-70,7%, CIGS-64,9%. Среди ФЭМ наибольшее приближение к номинальному значению имеет ФЭМ типа CdTe -74,1%.



**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

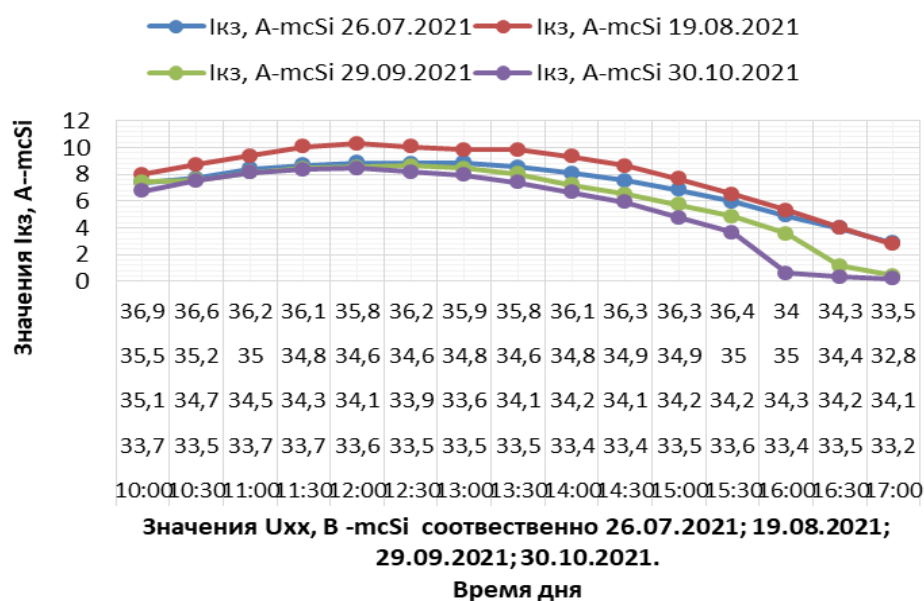


Рис.6. График изменения вольтамперной характеристики (тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжения холостого хода $U_{хх}$) ФЭМ mcSi типа в течение светового дня в соответствующих периодах

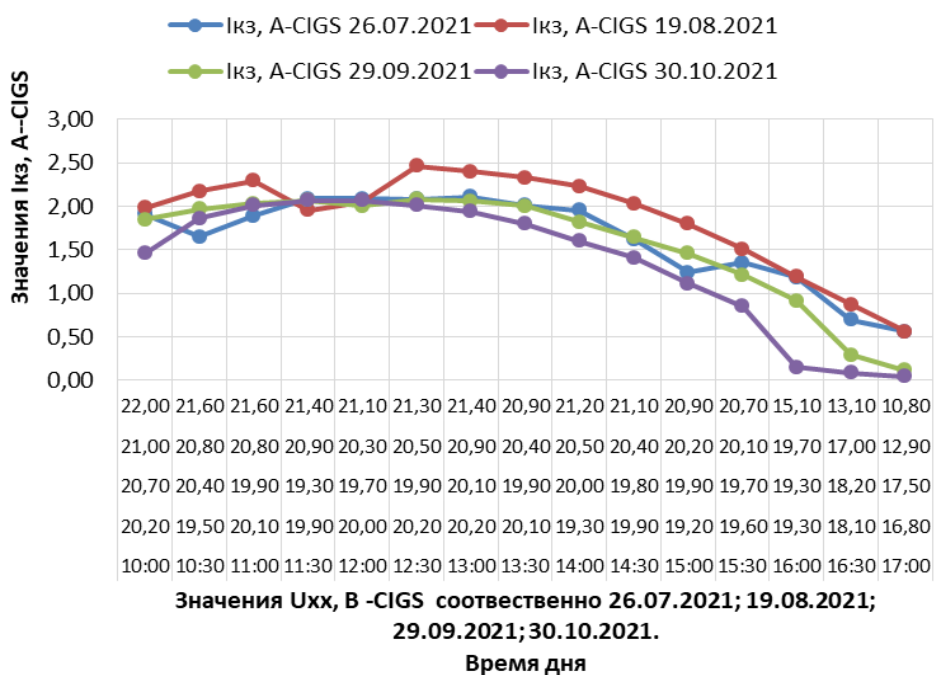


Рис.7. График изменения вольтамперной характеристики (тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжения холостого хода $U_{хх}$) ФЭМ CIGS типа в течение светового дня в соответствующих периодах

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Ниже, в графических изображениях приводим температуры нагрева поверхностей в часы максимального падения солнечного излучения на поверхности всех рассматриваемых типов фотоэлектрических модулей(ФЭМ) в течение светового дня, согласно результатов измерений, проведенных в разных датах месяцев (рис.8-11).

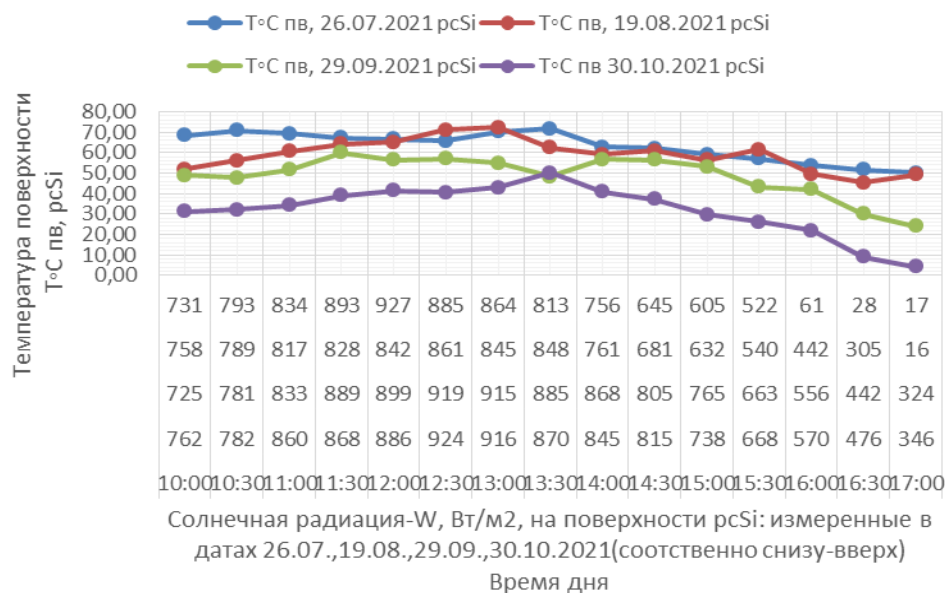


Рис.8. Динамика изменения температуры нагрева передней поверхности ФЭМ pcSi типа в зависимости от значения приходящей солнечной радиации в течение дня

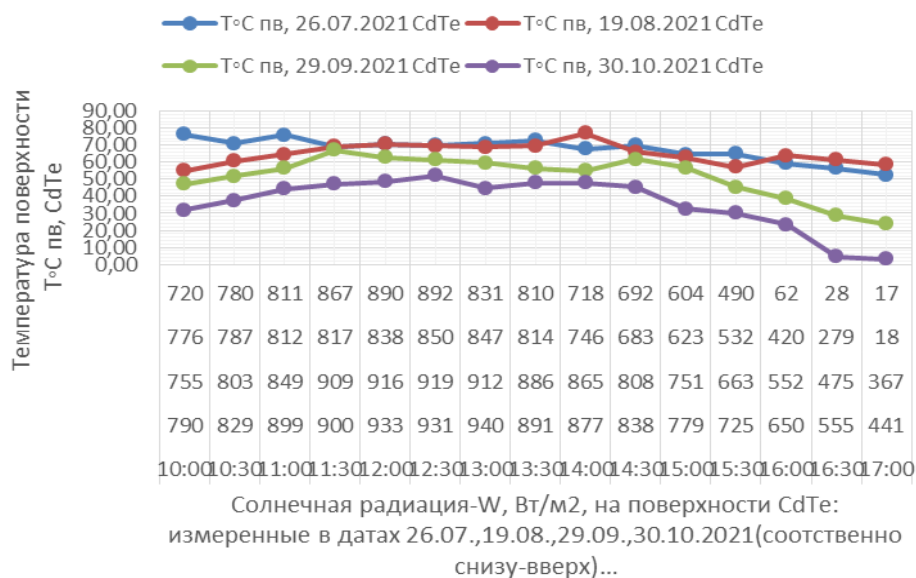


Рис.9. Динамика изменения температуры нагрева передней поверхности ФЭМ типа CdTe в зависимости от значения приходящей солнечной радиации в течение дня

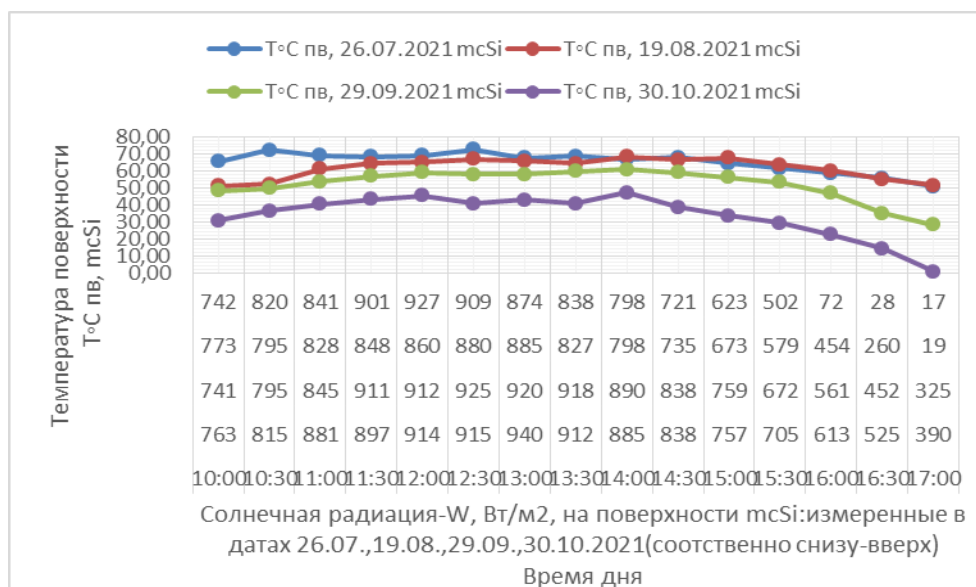


Рис.10. Динамика изменения температуры нагрева передней поверхности ФЭМ mcSi типа в зависимости от значения приходящей солнечной радиации в течение дня

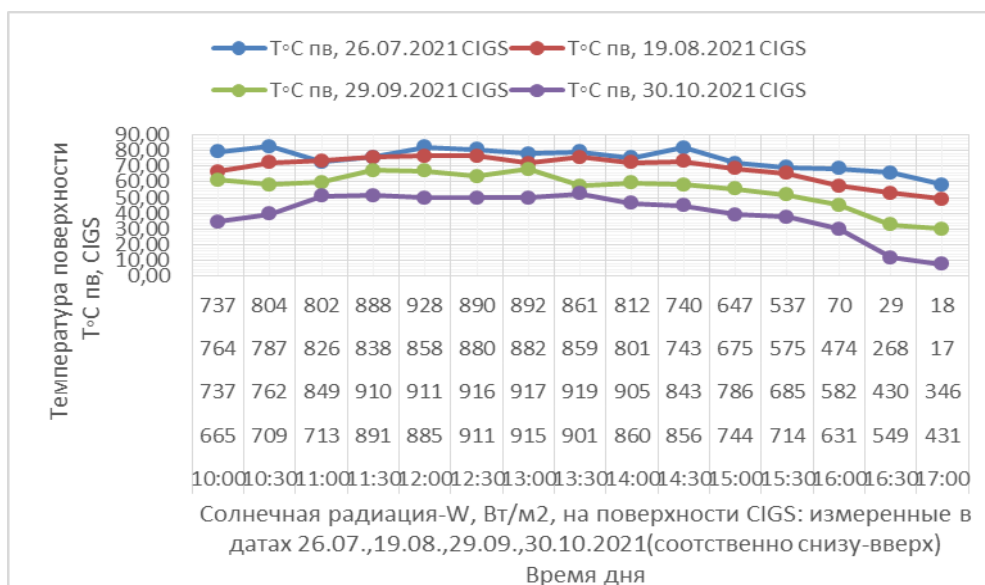


Рис.11. Динамика изменения температуры нагрева передней поверхности ФЭМ типа CIGS в зависимости от значения приходящей солнечной радиации в течение дня

На нагрев поверхности и на вольтамперные характеристики ФЭМ оказывает значительное влияние температура воздуха и скорость ветра. В многих научных работах рассматривались проблемы влияния внешних факторов на характеристики фотоэлектрических модулей.

В нашем экспериментальном исследовании также изучали изменения параметров погодных условий. Так, на рис.12 приведен график изменения

температуры воздуха и скорости ветра, измеренные в течение дня соответственно в различные даты месяцев 2021 года.

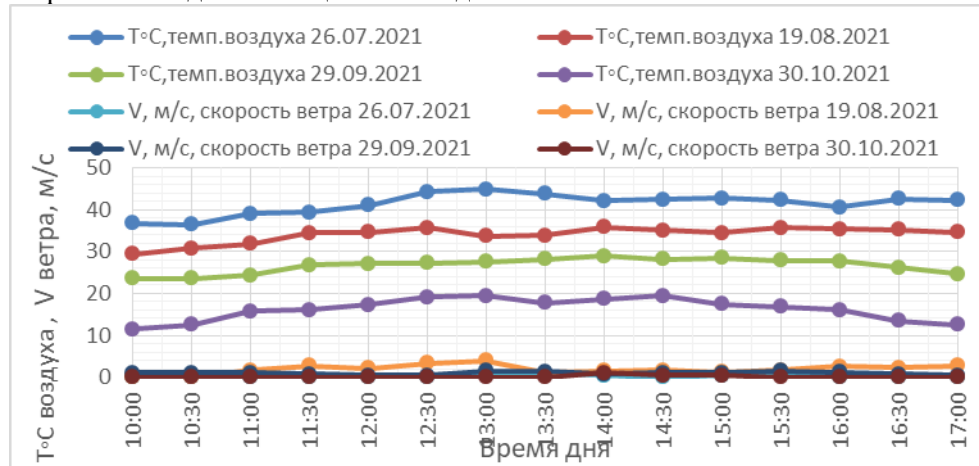
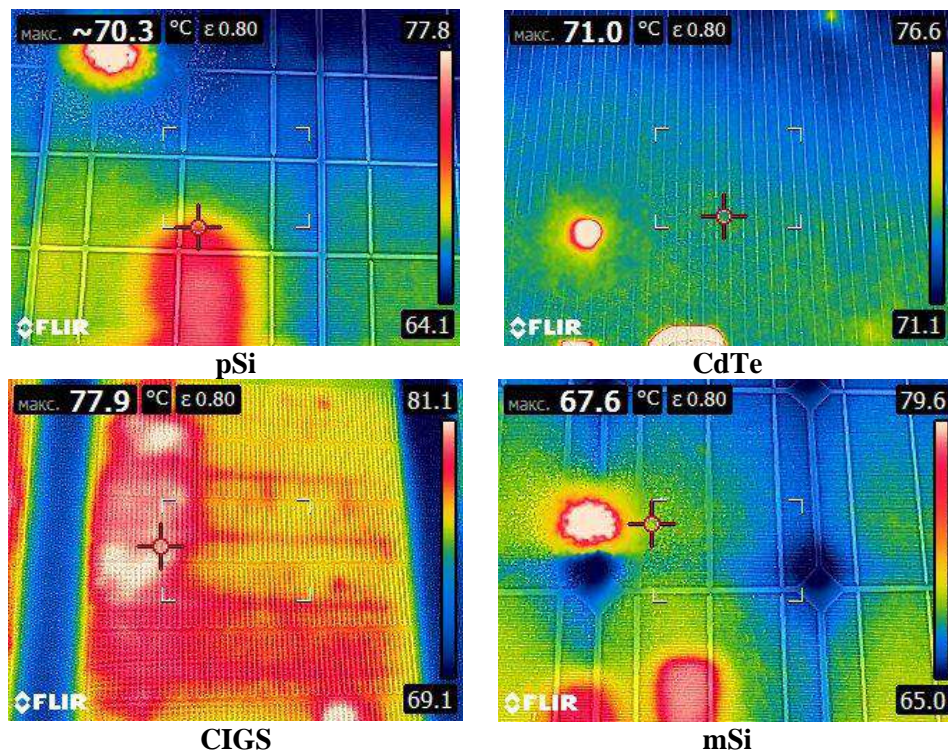
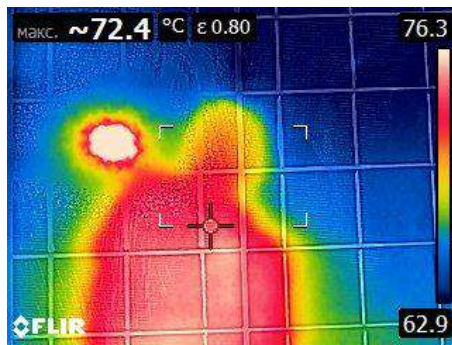


Рис.12. Динамика изменения температуры воздуха и скорости ветра в течение дня в различные даты месяцев

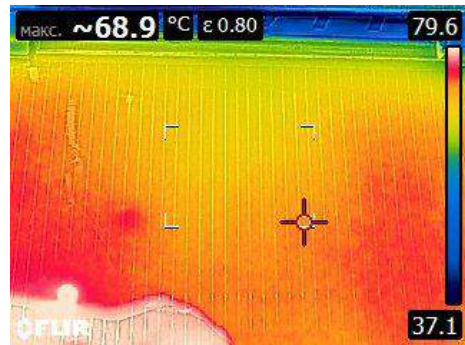
На рис.13 приводим тепловизионные снимки изображений нагрева поверхностей ФЭМ, снятые в 13-00 дня в соответствующих датах месяцев, при максимальных значениях солнечной радиации падающей на поверхности ФЭМ.



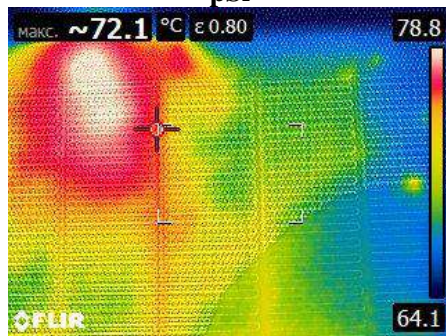
а)



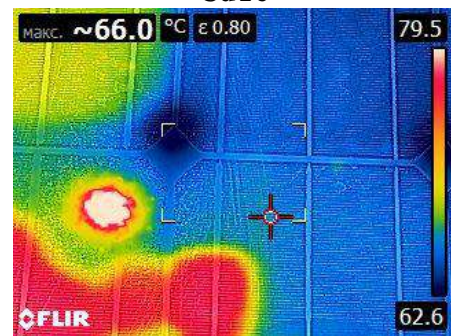
pSi



CdTe

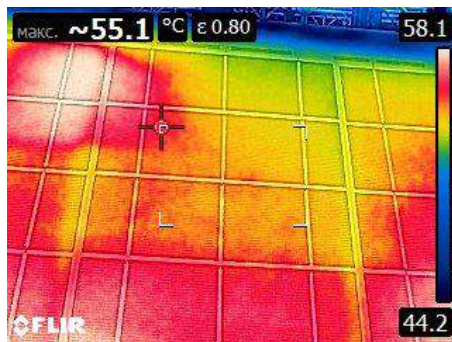


CIGS

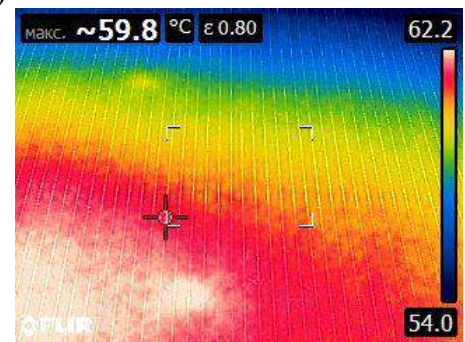


mSi

б)



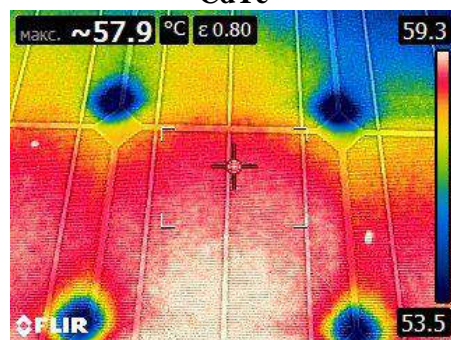
pSi



CdTe



CIGS



mSi

в)

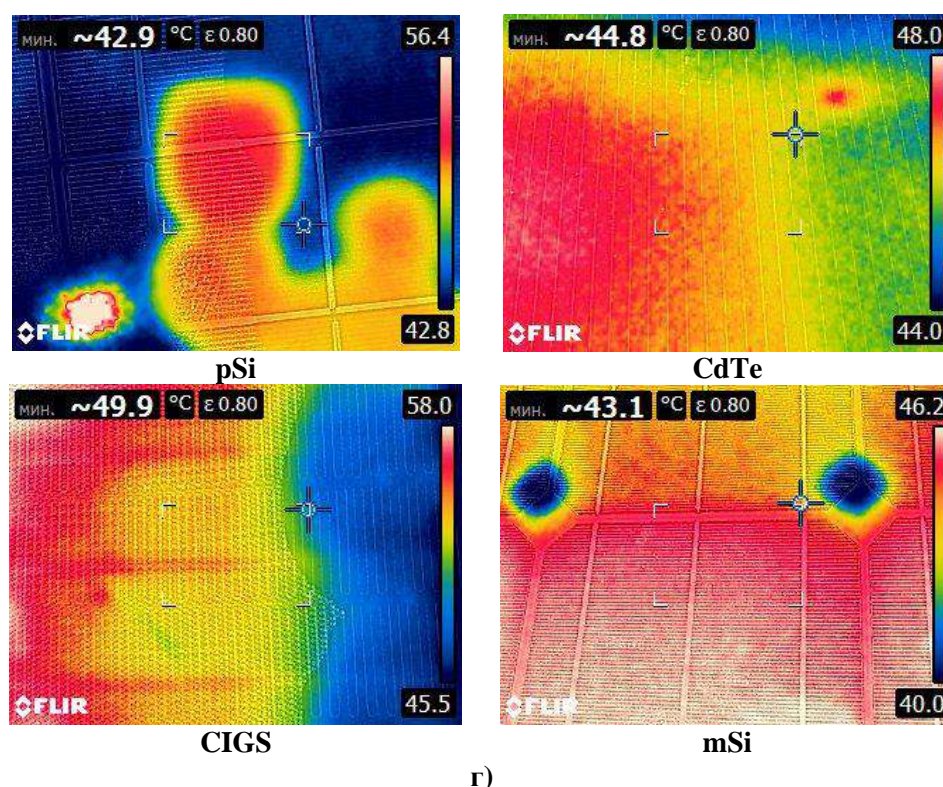


Рис.13. Изображения фронтальной поверхности различных типов ФЭМ, снятые с помощью тепловизора FLIR-E5, в часы максимального прихода солнечной радиации: а) 26.07.2021г., б) 19.08.2021г., в) 29.09.2021г. г) 30.10.2021г.

Анализ измеренных значений температуры на поверхностях ФЭМ в пиковое время падения солнечных лучей показывает, что средние значения за период измерений распределяются по следующему: pSi-60,2°C, CdTe-61,1°C, mSi-58,6°C, CIGS-67°C.

Как видно из экспериментальных данных, изменения температуры нагрева поверхностей прямо пропорциональна величине падающей на поверхность ФЭМ солнечной радиации. А величина падающей на поверхность ФЭМ солнечной радиации зависит от положения солнца на небосклоне, т.е высотой над горизонтом, азимута, склонения солнца по сезонам года.

Заключение: Данное исследование проводилось в рамках фундаментального проекта ФЗ-2020100798 “Разработка научных основ создания солнечных когенерационных установок на основе фотоэлектрических тепловых батарей” с целью изучения влияния изменения значения солнечной радиации на электрофизические параметры фотоэлектрических модулей различных типов. В частности, исследован нагрев поверхностей ФЭМ в различные месяцы сезона года. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о целесообразности внедрения ФЭМ на основе тонкопленочных технологий типа CdTe и CIGS. Особенностью конструкции и технологии данных типов ФЭМ позволяет создать эффективные солнечные фотоэлектрические установки для производства электрической и тепловой энергии.

Литература

- [1] Будущее должно начаться сегодня – в ООН проходит Диалог по энергетике/<https://news.un.org/ru/story/2021/09/1410612/>
- [2] Преобразование глобальной энергетической системы. <https://irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/>
- [3] Sims R.E.H. Renewable energy: a response to climate Change // Solar Energy. 2004. – Vol. 76. – P. 9-17.
- [4] Sen, Z. Solar energy in progress and future research trends / Z. Sen // Progress in Energy & Combustion Science. – 2004. – Vol. 30. – P. 367-416.
- [5] Mukhammadiev M.M, Urishev B.U Autonomous Power Complexes Based on Renewable Energy Sources // Applied Solar Energy.2004. – Vol.40, 2. P. 71-73.
- [6] В Узбекистане запущена первая в стране солнечная электростанция [https://podrobno.uz/Электронный ресурс/Дата обращения 10.11.2021г.](https://podrobno.uz/Электронный_ресурс/Дата_обращения_10.11.2021г.)
- [7] Green M., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. Solar cell efficiency tables // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2012. V. 20. – P. 12-20.
- [8] Жураева З.И. Обзорный анализ основных видов солнечных элементов и выявление путей повышения эффективности их работы и применения. Universum: Технические науки Москва. № 10(55), октябрь 2018 г.
- [9] М.Н.Турсунов, И.Юлдошев. Разработка фотоэлектрических батарей, установок эффективно работающих в условиях Центральной Азии // Проблемы энерго-ресурсосбережения. – Ташкент, 2011. – Специальный выпуск. – С. 160-165.
- [10] Gremenok V.F., Tivanov M. S., Zalesski V.B Solar cells based semiconductor materials// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology – 2009 – Vol.69. №1. – P. 59-124
- [11] Бессель В.В., Кучеров В.Г., мингалеева Р.Д. Изучение солнечных элементов: Учебно-методическое пособие. -М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) им.И.М.Губкина, 2016, 90 с.
- [12] Колтун М.М Оптика и метрология солнечных элементов // - М.: Наука.1984. – С.25
- [13] Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент // Пер. с англ. Под. ред. М.М. Колтуна. – М. Энергоатомиздат. 1987. – С.27
- [14] King D.L., Boyson W.E., Kratochvil I.A Photovoltaic Array Performance model// Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico 87/85-0752. P. 1-43.
- [15] Мейтин М. Пусть всегда будет Солнце// Электроника: Наука, технология, Бизнес. – 2000. – №6. – С.40-46 .
- [16] Колтун М.М Солнечные элементы // Издательство «Наука» Москва.1987. – С.192.
- [17] IEC International Standard 60904-1. Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics. – Second edition; intr. 2006-09. – International Electrotechnical Commission. 2006. – P.1-23

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 62.621.313.2

**ОБ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ
ИСТОЧНИКАМ ЭНЕРГИИ**

К.Т. Тергемес, А.Н. Султанов, А.Ж. Сагындикова

Мақолада қайта тикланувчи энергия манбаларини жахонда ва хусусан Қозоғистон Республикасида ривожлантириши зарурлиги қайд этилган. Қайта тикланадиган энергия манбаларининг бугунги ҳолати, қуёш ва шамол энергияси потенциаллари таҳлил қилинди. «Гумарбек Даукеев номидаги Олмаота энергетика ва алоқа университети» НАК "Электр таъминоти ва қайта тикланадиган энергия манбалари" кафедрасининг асосий ютуқлари тақдим этилган. Олмаота энергетика ва алоқа университетида ЭВИЭ ва ВИЭ полигонининг лабораториясида ВИЭ ускуналари тасвирланган..

В статье отмечается необходимость развития возобновляемых источников энергии в мире и в частности в Республике Казахстан. Анализировано современное состояние ВИЭ и потенциалы солнечной, ветряной энергии. Представлены основные достижения кафедры «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии» НАО "Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева". Показаны иллюстрация оборудования ВИЭ в лаборатории кафедры ЭВИЭ и Полигона ВИЭ при Алматинский университет энергетики и связи.

The article notes the need for the development of renewable energy sources in the world and in particular in the Republic of Kazakhstan. The current state of renewable energy sources and the potentials of solar and wind energy have been analyzed. The main achievements of the department "Power supply and renewable energy sources" of the NJSC "Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev" are presented. Shown is an illustration of RES equipment in the laboratory of the Department of RESE and RES polygon at the Almaty University of Energy and Communications.

Современная традиционная энергетика базирована на ископаемых органических топлив (уголь, нефть, газ, древесина). Мировое потребление человечеством органического топлива возрастает высокими темпами, существенно повышается спрос на электрическую, тепловую энергию. По прогнозам может существенно уменьшить ресурсы в ближайшей перспективе. При этом с увеличением потребления энергии в атмосферу выбрасывается большое количество парниковых газов, при чем доля углекислого газа (CO₂) составляет до 56%. Кроме того, выработка энергии традиционными способами (ТЭС, АЭС) требуют большие капиталовложения, а экономическая ситуация при этом усложняется. Существенного роста потребления энергии на базе невозобновляемых источников достичь не удастся из-за их ограниченности запасов природных топлив и нежелательного воздействия на окружающую среду.

Поэтому мировые специалисты обращаются к экологически чистым нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). возможности которых чрезвычайно велики. В более 70 стран мира действуют законы и меры государственного регулирования в поддержку ВИЭ, в том числе в США, Китае, Испании, Норвегии, Германии, Дании, и т.д. Использование энергии возобновляемых источников в качестве альтернативы традиционным источникам энергии является жизненно важным и необходимым.

В этой связи Казахстан, имеющий значительный ресурс ВИЭ в виде гидроэнергии, энергии ветра, солнца, биомассы, не может оставаться в стороне от быстрого освоения возобновляемых источников обеспечивающих переход на качественно новый эколого-экономический уровень. Казахстан обладает большими потенциалами солнечной энергии (150 кВт/ч электро-энергии в год) ветряной энергии (920 млрд. кВт/ч в год), а гидропотенциал Казахстана оценивается в 170 млрд.кВт/ч в год. В 2009 году принят Закон РК «О государственной поддержке использования источников энергии», что позволяет значительно увеличить генерирующие мощности ВИЭ и улучшить экологическую обстановку в стране.

На сегодняшний день в Республике Казахстан действует 116 объектов ВИЭ, установленной мощностью 1685МВт, из них 29 объектов ветровых электростанций мощностью 486 МВт, 44 объекта солнечных электростанций мощностью 962 МВт, 38 объектов гидростанций общей мощностью 229 МВт, 5 объектов биоэлектростанций общей мощностью 8 МВт. Согласно Концепции РК по переходу к зеленой экономике, к 2025 году доля ВИЭ в производстве электроэнергии по республике достигнет до 6%, и до 10% к 2030 году. А к 2050 году планируется не менее половины от всего совокупного производства электроэнергии произвести возобновляемыми источниками энергии.

В этих условиях коллектив кафедры «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева вносит свой вклад в подготовке кадров для обслуживания объектов ВИЭ. Опрос Кластерного Бюро ЮНЕСКО в Алматы по Казахстану, Кыргызстану, Таджикистану и Узбекистану о подготовке специалистов в области ВИЭ в высших учебных заведениях Республики Казахстан показал, что из 55 технических ВУЗов нет ни у одной отдельной специальности по изучению вопросов использования ВИЭ. Но в 3-х из 14 ВУЗов имеются отдельные направления (специализация) по ВИЭ. В Алматинском университете энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева под руководством доктора технических наук профессора А.В.Болотова, отдельные бакалавриаты и магистранты по ВИЭ. Сам Болотов А.В. разработал и сконструировал вертикальную ветроэнергетическую установку, так называемый «Виндротор Болотова» различной мощности, установленные и внедренные в различных объектах страны. Одна из разработок профессора Болотова А.В. участвовала на всемирной выставке «Экспо-2017» и установлено на трассе «Аэропорт Назарбаев- Нур Султан» в г.Нур-Султан, питает освещение трассы.

Однако после переименования кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сел» на кафедру «Электроснабжение и возобновляемые источники энергии» в 2017/2018 учебном году, коллектив кафедры, учитывая быстрого темпа развития ВИЭ в мире и соответственно в

Республике Казахстан, целенаправленно начал подготовку кадров в этом направлении.



Рис. 1. Комбинированная электростанция «BPTB – Болотов»

В мае 2018 года была встреча с руководством USAID - Агентства США по международному развитию, где была достигнута договоренность о заключении «Меморандум о взаимопонимании между USAID и АУЭС», о повышении квалификации профессорско-преподавательского состава, о приобретении учебных и исследовательских стендов по ВИЭ. В последствии с помощью приглашенных высококвалифицированных специалистов по ВИЭ (Маркус Страшлишка, Промод Джейн, PhD, США), начиная с июля 2018 года, в течении двух лет, были повышены квалификации магистрантов, докторантов, преподавателей кафедры. В дальнейшем АУЭС был выбран в качестве «Региональный центр по ВИЭ в Казахстане и Средней Азии» (Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан), для продвижения знаний по ВИЭ. По результатам сотрудничества были изменения в учебной программе по ВИЭ, внедрены новые дисциплины в программу.

Весной 2019 года USAID для нашей кафедры ЭВИЭ закупил и безвозмездно передал оборудование по ВИЭ, на сумму 12500 долларов США.

Дальнейшее сотрудничество USAID (вторая двухлетка) убедило необходимость разработки специальной образовательной программы по ВИЭ. На данный момент образовательная программа «6B07118,7M07118 – Современные и инновационные технологии ВИЭ» (бакалавриат, научная и профильная магистратура) одобрена и размещена в реестре Министерства образования и науки Республики Казахстан. На 1, 2 курсы приняты свыше 40 студентов и 15 магистрантов зачислены на первый курс этого учебного года.



Рис. 2. Солнечная электрическая станция с мощностью 10 кВт, установленная на крыше корпуса «А» Алматинского университета энергетики и связи

Итогом дальнейшей работы стало создание Полигона ВИЭ при АУЭС кафедры ЭВИЭ. Полигон имеет одну учебную и два научно-исследовательских лабораторий, где имеются два стенда модели ветроэнергетической установки,

комплект учебного оборудования «Солнечная фотоэлектрическая система с системой бесперебойного питания», «Солнечная электрическая станция» с мощностью 10 кВт, «Ветроэнергетическая станция» с мощностью 5 кВт, а также отдельные оборудования для ВИЭ – инверторы, контроллеры заряда, аккумуляторы и т.д. на сумму более 100000 долларов США.



Рис. 3. Контроллер заряда, аккумуляторы и инвертор от солнечной электрической станции

На сегодня лаборатории кафедры ЭВИЭ по ВИЭ имеют большую возможность для полноценного обучения как бакалавров, магистрантов, так и для повышения квалификации производителей, обслуживающих оборудования солнечных и ветроэнергетических установок, генераторов большой мощности, а также персонала гидроэнергетиков. В перспективе эти оборудования даст возможность проведения глубоких научных исследований докторантами, научными сотрудниками кафедры ЭВИЭ, а также служат экспериментальной лабораторией между ВУЗами. Солнечные маломощные электрические станции вполне удовлетворяют электроснабжению отдельностоящих отдаленных фермерских хозяйств и жилых домов фермеров.

Литература

1. Закон Рес. Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (Утвер. Указом Президента РК., №165-IV от 4.07.2009 г.).
2. Закон Республики Казахстан от 14 января 2015 года № 279-V «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Рес. Казахстан по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности».
3. Закон Рес. Казахстан от 9 июля 2004 года № 588-II «Об электроэнергетике» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 21.04.2016 г.).
4. Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.03.2016 г.).
5. Геворкиан П. Альтернативные источники энергии в проектировании зданий. 2012 г. – 320 с.
6. Холлоуэй Д. Пассивный солнечный дом: проектирование. Пер. с англ. О. Б. Меньшенин. 2006 г. – 210 с.
7. <https://solareview.blogspot.ru>.

*Представлено Алматинским университетом
энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева*

УДК 621.314

**ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИДАН ФОЙДАЛАНИШНИНГ ИҚТИСОДИЙ
ВА ЭКОЛОГИК САМАРАДОРЛИГИ (УЙ ХЎЖАЛИГИ МИСОЛИДА)****Д.И. Абдунабиев, Г.Р. Рафиқова**

Ушбу илмий мақолада уй хўжалигида қуёш панелидан фойдаланишнинг энергетик, экологик ва иқтисодий самарадорлиги ўрганилган. Бунда уй хўжаликларини электр энергияга бўлган талаби ва ундан фойдаланиш ҳолати таҳлил қилинган. Хонадонда электр энергияга бўлган кунлик эҳтиёжи монографик кузатувлар асосида ҳисоб-китоб ишлари олиб борилди ва унинг ўртача кунлик истеъмоли 1508 Вт/кун экани аниқланди. Электр энергияга бўлган эҳтиёжни тўла қоплаш учун қуёш панелларининг техник кўрсаткичлари (ток кучи, қуввати, аккумуляторнинг сизими, инвертор ва бошқаларнинг ўзаро муносиблиги) асосланди. Қуёш панели орқали ишлаб чиқариладиган электр энергиянинг энг кам кўрсаткичи декабрь ойида, энг юқори кўрсаткич июнь-июль ойида тўпланиши мумкинлиги аниқланди ва истеъмоли кўрсаткичлари аксинча эканлиги билан боғлиқ қонуният аниқланди. Қуёш энергиясидан самарали фойдаланишга оид таклиф ва тавсиялар илмий асосланди.

В этой научной статье исследуются энергетическая, экологическая и экономическая эффективность использования солнечных панелей в доме. Анализируется потребность домашних хозяйств в электроэнергии и состояние ее использования. Суточная потребность в электроэнергии в квартире была рассчитана на основании монографических наблюдений, и было определено, что ее среднесуточное потребление составляет 1508 Вт / день. Чтобы полностью удовлетворить спрос на электроэнергию, были основаны технические параметры солнечных панелей (ток, мощность, емкость аккумулятора, пропорциональность инвертора и т.д.). Было обнаружено, что самый низкий уровень выработки электроэнергии солнечными панелями может быть накоплен в декабре, самый высокий - в июне-июле, и было обнаружено, что регулярность противоположна потреблению. Предложения и рекомендации по эффективному использованию солнечной энергии научно обоснованы.

This scientific article explores the energy, environmental, and cost-effectiveness of using solar panels in a home. The need of households for electricity and the state of its use are analyzed. The daily electricity requirement in the apartment was calculated on the basis of monographic observations, and it was determined that its average daily consumption is 1508 W / day. In order to fully meet the demand for electricity, the technical characteristics of solar panels (current, power, battery capacity, inverter proportionality, etc.) were based. It was found that the lowest level of electricity generation from solar panels can be accumulated in December, the highest in June-July, and it was found that regularity is the opposite of consumption. Suggestions and recommendations for efficient use of solar energy are scientifically based.

Кириш. Республикамизда сўнгги йилларда ёқилғи-энергетика тармоғида амалга оширилаётган туб ислохотлар натижасида энергия ресурсларига бўлган талабнинг ортиб бораётган эҳтиёжни тўлароқ таъминлаш мақсадида комплекс чора-тадбирлар амалга оширилмоқда ва энергия манбаларини диверсификация қилиш бўйича изчил ишлар амалга оширилмоқда.

Бутун жаҳон миқёсида долзарб муаммо бўлиб турган электр ва иссиқлик энергиясига кундан кунга эҳтиёж ошиб бормоқда. Бунга сабаб анъанавий энергия қазилма бойликлармизнинг (нефт, кўмир, табиий газ захираларининг) камайиб бориши, уларнинг таннархи қимматлашиши, экологиянинг бузилиши ва шунга ўхшаш турли омилларни келтиришимиз мумкин. Хозирги кунда дунёнинг ривожланган давлатлари ҳам муқобил энергия манбаларидан (МЭМ) фойдаланиш бўйича дастурлар ишлаб чиққан [1,2,3]. Жумладан, Европа Иттифоқи давлатларида 20 фоизга, Хитой эса 15 фоизга етказиш ва МЭМдан фойдаланишни қўллаб-қувватлаш бўйича чора-тадбирларни амалга оширмоқда [4].

Энергия ресурсларидан самарали фойдаланиш йўналишида бир қатор олимлар илмий изланишлар олиб борган. Жумладан, Р.А.Захидов, Г.К. Саидова, Д.Б.Қодировлар [5,6,7,8,9]. Шунингдек, энергия ресурсларини тежаш бўйича кишлоқ хўжалигида А.Раджабов, М.Ибрагимов, ва бошқалар томонидан тадқиқотлар олиб борган [10,11,12].

Мамлакатимизда куёш ва шамол энергияларидан фойдаланишга катта эътибор қаратилмоқда. Куёш энергияси анъанавий ишлаб чиқиётган энергияларга қўшимча манба бўлиб хизмат қилади. Бу борада Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.Мирзиёевнинг 2017 йил 8 ноябрдаги “Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ҳамда 2019 йил 9 июлдаги “Аҳоли ва иқтисодиётни энергия ресурслари барқарор таъминлаш, нефть-газ тармоғини молиявий соғломлаштириш ва унинг бошқарув тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари бунга мисол бўла олади [13,14].

Ушбу қарорларда белгиланган айрим вазифаларни амалга ошириш билан боғлиқ бўлган муаммолар ва уларни бартараф этиш йўллари тадқиқ этиш ва илмий асосланган таклифлар ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Жумладан, хонадонларни куёш панели ёрдамида узлуксиз электр билан таъминлаш имкониятлари, истеъмолчи (фойдаланувчи)ларнинг талаби ва мавжуд тўловларнинг афзалликлари ва камчиликларини таҳлил қилиш ва мақбул таклиф ҳамда тавсиялар ишлаб чиқишдан иборат.

Амалга оширилган тадқиқотлар Фаргона вилоятининг Ўзбекистон, Боғдод, туманларида амалга оширилган кузатувлар ва монографик тадқиқотлар асосида тўпланган маълумотлар эмпирик ҳисоб-китоб қилинган. Электр энергияси учун амалга ошириладиган тўловлар белгиланган тариф асосида динамик ўзгаришлари таҳлил қилинди ва базис даврга нисбатан таққослаб ўрганилди.

Тадқиқот методологияси. Ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланиш борасидаги қарашлар ва бозор тамойиллари асосида улардан фойдаланиш билан боғлиқ бўлган ёшдашувларни таҳлил қилиш. Ушбу энергия манбаларини анализ ва синтез қилиш усуллари ёрдамида ўрганиш ҳамда илмий асосланган таклифлар ишлаб чиқиш асосида, куёш энергиясидан

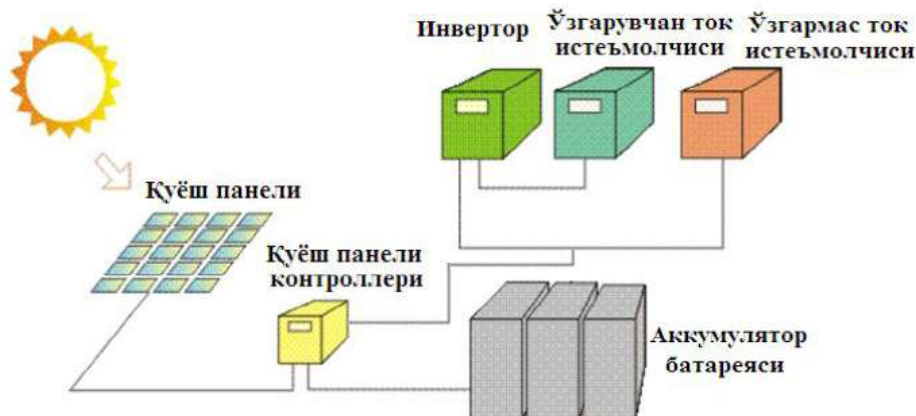
фойдаланувчилар учун афзаллик ва имкониятлар таҳлил қилинади. Шунингдек, қуёш энергиясидан фойдаланишнинг ижтимоий, иқтисодий аҳамиятини инобатга олган ҳолда турли хил сценерийлар асосида тизимли таҳлил қилишни талаб этади.

Қуёш панелларидан фойдаланишнинг самарали усуллари илмий тадқиқот натижаларига асосланган ҳолда ёки эмпирик таҳлил асосида энг самарали йўналишлари аҳоли турар жойлари учун тақлиф этилади.

Уй-жойларни қуёш энергияси билан таъминлаш лойиҳаси. Аҳоли турурар жойларини қуёш энергияси билан таъминлашда унга қўйиладиган талаблар мавжуд. Жумладан, мустақил энергия таъминотини ташкил этиш, қуёш панелларини ўрнатиш учун жой ажратиш, ёруғлик тушишига максимал эришиш ва энергия ресурсларини бошқариш имкониятларига эга бўлиш ва ҳ.к. Шунингдек, уй-жойларни лойиҳалаштиришда энергиянинг кунлик истеъмоли ва ундан фойдаланиш ҳақида тўлиқ маълумотга эга бўлиш талаб этилади.

Фотоэлектрик тизимлар ҳақида маълумот ва уларни лойиҳалаштириши.

Фотоэлектрик тизимлар асосий қисмлари: қуёш панели, контроллер, аккумулятор батарея ва инвертор ҳисобланади (1-расм).



1-расм. Фотоэлектрик тизимнинг уланиш схемаси

Улардан фақатгина ўзгармас тўк ҳосил бўлади. Ишлаб чиқарилаётган электр энергияси миқдори қуёш элементларининг ФИК боғлиқ. Бирлик юзада ҳосил қилинаётган электр энергиясини одатда 10 мВт/см^2 дан 25 мВт/см^2 гача қийматлар оралиғида бўлади бу мос ҳолда 10 фоиздан 25 фоизгача ФИК тенг. Ҳозирда ишлаб чиқарилаётган қуёш элементларининг юзаси $15,6 \text{ см} \times 15,6 \text{ см} = 243,4 \text{ см}^2$ катталикларда бўлади. 19 фоиз ФИКли фото элементи энг юқори кўрсаткичда ишлаб чиқараётган қувват 4,6 Вт бўлади. Ҳозирги пайтда фотоэлектрик модулларнинг (ФЭМ) 3 Вт дан 400 Вт қувватлилари мавжуд (2-расм).

Билиб қўйган яхши: Фотоэлектрик тизимлар - қуёшдан келаётган энергияни ярим ўтказгичли қуёш элементларидан фойдаланилган ҳолда электр токи олиш учун ишлатиладиган қурилмадир.

Фото элементлар – яримўтказгичлар асосидаги мураккаб қурилма.

Контроллер – фотоэлектрик тизимларда аккумулятор батареясининг (АКБ) зарядини назорат қилувчи қурилма.

Инвертор – ўзгармас токни ўзгарувчан токга айлантириб берувчи курилма.



2-расм. Фото элемент

АКБ чуқур разрядланишдан (энергия кўп микдорда ишлатилганда) ва ўта зарядланишдан (АКБ тўлиқ зарядланган аммо ФЭМ ток ишлаб чиқарганда) химояловчи курилма.

Лойиҳалаш: Фотоэлектрик тизимларни (ФЭТ) лойиҳалашда Фарғона вилоятида амалга оширилган кузатувлар ва тадқиқот натижаларига асосан истеъмолчиларнинг ўртача кунлик электр энергиясига бўлган эҳтиёжи ҳисобга олинди. Улар қуйидаги 1-жадвалда ўз аксини топган.

1-жадвал

Электр курилманинг қуввати, [Вт]	Курилмалар сони [дона]	Кунлик фойдаланиш [Соат]	Кунлик энергияга, [Вт·соат]
Ёритиш лампаси - 7 Вт	7	5	245
Телевизор 32` - 80 Вт	1	4	320
Сув насоси - 300 Вт	1	0.2	60
*Музлаткич - 643 Вт (кун)	1	10/24	643
Электр чойнак – 700 Вт	1	0,2	140
Бошқа курилма - 100 Вт	-	-	100
<i>Жами:</i>			1508

* А++ типдаги совутгичларнинг ўртача йиллик қуввати 235 кВт.

Акумулятор батареяси (АКБ) ўлчамларини лойиҳалаш: Акумулятор батареяси ўлчамларини танлашда керакли бўлган электр энергияни тизимнинг кучланишига бўлинади.

$$АКБ [Ампер·соат] = 1508 Вт : 12 В = 126 Ампер·соат \quad (1)$$

АКБ зарядлаш кўрсаткичи: Бу кўрсаткич АКБнинг зарядланиш кўрсаткичини кўрсатади. ФЭ тизимларда аккумулятор зарядини 80 фоизгача ишлатилиши мумкин.

$$Акум. бат. сизими [Ампер·соат] = 126 Ампер·соат : 0.8 = 158 Ампер·соат \quad (2)$$

ФЭМлардан талаб қилинадиган энергия микдори куёшнинг ёритиш соатидан олинади. Ўзбекистонда бу кўрсаткич 8 соатга яқин ҳисобланади.

Бунда (1) қийматни куёш ёритиш соатига бўламыз.

$$I [Ампер] = 158 Ампер·соат : 8 соат = 20 Ампер·соат \quad (3)$$

ФЭМ дан чиқаётган ток кучи куёш модул чангланиш (5%) ва ишлаб чиқарувчининг хатоликлар (5%) инobatга олганда камаяди.

$$I [Ампер] = 20 Ампер : 0.95 : 0.95 = 22 Ампер \quad (4)$$

Демак, ФЭ тизим 1 соатда 22 Ампер ток бериши керак экан. Бугунги кунда кенг тарқалган ФЭМ ўртача қуввати 130 Вт эканлигини инobatга олиб, унинг ток кучини қуйидагича аниқлаш мумкин:

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

$$I_{\text{ФЭМ}} [\text{Ампер}] = S \text{ Вт} : 12 \text{ В} = 130 \text{ Вт} : 12 \text{ В} = 11 \text{ Ампер} \quad (5)$$

Тизимдаги модуллар сони: Электр энергияси ишлаб чиқиш учун керакли ток (4) кучини ФЭМ ток кучига (5) нисбати орқали ФЭМ сонини аниқлаш мумкин.

$$N [\text{дона}] = 22 \text{ Ампер} : 11 \text{ Ампер} = 2 \text{ дона} \quad (6)$$

Инвертор қувватини аниқлаш: Инвертор қувватни бир вақтда уланиши мумкин бўлган юкларлар қувватига тенг миқдорда олса бўлади ва у тизим кучланиши билан бир хил катталikka эга бўлиши лозим. Бунда катталик юқорирак олинса кейинчалик тизимни кенгайтириш мумкинлиги таъминланади.

Контроллер танлаш: Контроллерни параметрларини танлашда унинг тизимдаги кучланишида ишлаши ва умумий токнинг 125 фоизгача ўткази олиш керак.

$$I_k [\text{Ампер}] = 1,25 \cdot 22 \text{ Ампер} = 27,5 \text{ Ампер} \quad (7)$$

2-жадвал

Фотоэлектрик тизимнинг таркиби

	Қурилма номи	Техник кўрсаткичлари	Сони	Нархи (млн. сўм)
	ФЭМ	130 Вт	2	1,5
	Контроллер	27,5 Ампер	1	0,2
	Акумулятор Батарея	200 Ампер·соат	1	1,55
	Инвертор (12-220 В)	1500 ВА	1	1,5
	<i>Жами:</i>		4,75	

Қуёш энергиясидан фойдаланишнинг иқтисодий самарадорлиги: Лойиҳа бўйича 1508 Вт/сут электр билан таъминлаш имкониятлари мумкинлиги асосланди. Бироқ ушбу сарф-харажатлар 4 750 минг сўмни ташкил этмоқда. Ҳозирги кунда 1 кВт соат электр энергияси учун тўлов 295 сўмни ташкил этишини [15] инobatга оладиган бўлсак, асосий харажатларни қоплаш муддати 15-20 йилни ташкил этади (жорий нархларда).

Электр энергиясидан фойдаланганлик учун тўлов ва ёндашувлар: Энергия манбааларидан фойдаланганлик учун амалга ошириладиган тўлов тарифлари табақалашган ҳолда гуруҳларга ажратилган. Аҳоли истеъмоли учун тўловлар йиллар давомида ўзгариб келган (3-жадвал) [16].

Ушбу жадвал маълумотларига асосан шуни таъкидлаш жоизки, электроэнергиядан фойдаланганлик учун тўловлар (4-устун) йилдан йилга ошиб борганини кўришимиз мумкин. Ўтган йиллар давомида энергиядан фойдаланганлик учун тўловлар (5-устун) қарийиб 2,8 марта ошганини кўриш мумкин. Тўлов суммасининг ўртacha ўсиш динамикаси 115,9 фоизни ташкил этмоқда.

Республикада электр энергиясининг нархи деярли ҳар йили бир ёки икки марта ўзгараётгани ишлаб чиқариш ва истеъмол харажатларига бевосита таъсир қилмоқда. Агар 2-3 йил мобайнида энергия учун тўловларни ўзгармас нархларда таъминлашга эришилса, бунда белгиланган тарифлар иш ҳақи ва бошқа ресурслар ҳисобига ўзгармасдан қолса нархлардаги ўзгариш қандай бўлиши мумкин. Биринчидан, 2-3 йил мобайнида нархлар ўзгаришсиз қолиши учун мавжуд кўп йиллик статистик кўрсаткичлар асосида эмпирик ҳисоб-китоблар амалга оширилди. Натижада, ушбу йиллар мобайнида нархнинг ўзгариш

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

интервали 290-330 сўм/кВт атрофида бўлиши мумкинлиги аниқланди (2018 йилгача бўлган даврдаги нархларни ўзгариш динамикасига асосан).

3-жадвал

Маиший истеъмол учун электр энергиясининг нархларини ошганлиги тўғрисида
маълумот

Тр	Йиллар	Ойлар	Тариф учун тўлов	Базис даврга нисбатан ўзгариши (Y_t/Y_{2012})	Олдинги йилга нисбатан ўзгариши, % ($Y_t/Y_{t-1} \cdot 100$)
1	2	3	4	5	6
1	2012	Октябрь	104,0	1,00	113,5
2	2013	Октябрь	120,0	1,15	115,4
3	2014	Апрель	131,4	1,26	114,8
4	2014	Октябрь	144,3	1,39	
5	2015	Май	155,0	1,49	116,9
6	2015	Октябрь	167,4	1,61	
7	2016	Апрель	182,0	1,75	115,7
8	2016	Октябрь	191,0	1,84	
9	2017	Июль	204,3	1,96	109,5
10	2018	Апрель	228,6	2,20	117,1
11	2018	Ноябрь	250,0	2,40	
12	2019	Август	295,0	2,84	123,3

Иккинчидан, 5 йил мобайнида нарх сиёсатини барқарорлаштиришга эришилса, ўзоқ муддатли нарх белгилашда Марказий банкнинг қайта молиялаштириш ставкасидан кўп бўлмаган миқдорда ўзгариши, белгиланган таъриф нархларининг 440 сўм/кВт соат бўлиши мумкинлиги аниқланди.

Демак, нархларнинг муайян муддатга ўзгаришсиз белгилаш муқобил (альтернатив) энергия ресурсларидан фойдаланишга имконият беради. Натижада, аҳолининг энергия ресурсларига бўлган талаби бозор тамойиллари — ўзаро рақобат ва талаб-таклиф асосида шаклланади. Энергетика соҳасини ривожлантириш учун инвестицияларни фаол жалб қилиш имконини оширади.

Муҳокама ва таклифлар: Юқорида амалга оширилган таҳлиллар ва олинган натижалар асосида шуни айтиш мумкинки, мавжуд табиий ресурсларни асраш, уларни келажак авлодга етказиш асосий вазифа сифатида қаралади. Бироқ, ҳозирги ҳолатда имконсиз ишнинг ўзи йўқ [17,18,19]. Шу боис, ушбу жараённи ҳам иқтисодий, ҳам ижтимоий, ҳам экологик нуқтаи назардан таҳлил қилиш муҳим аҳамият касб этади.

Биринчидан, қуёш панелларини ўрнатиш ва таъмирлаш харажатлари юқорилиги боис ундан фойдаланиш *иқтисодий жиҳатдан кам самара* келтиради. Мисол учун, умумий харажат 4,75 млн сўмни ташкил этган ҳолда нисбий авфзаллик йўллари таҳлил қиламиз. Бунда асосий эътибор банк фоизларига қаратилади. Жумладан, банк омонатлари ўртача 20 фоизни ташкил этсин. Бир йиллик ҳисобланган фоиз миқдори 1,12 млн сўмни ташкил қилади. Бир ойланинг йиллик тўлов миқдори эса 273,75 минг сўмни ташкил қилмоқда. Агар нархлар ўзгармас деб олинса, бир йиллик банк фоизи ўртача 4 йиллик тўловни амалга оширишга имкон беради.

Иккинчидан, куёш энергиясидан фойдаланишда давлат томонидан таъминлаш қийин бўлган тоғ ва тоғ олди ҳудудлар, паст текисликлар, чўл ҳудудлар, қўриқхоналар ва бошқа объектларни давлат-хусусий шерикчилик асосида амалга ошириш мумкин. Шунингдек, кўп тармоқли касалхоналар, дам олиш масканлари ва бошқа ижтимоий соҳа объектларини доимий равишда (узлуксиз) энергия билан таъминлаш, бу йўналишга давлат субсидияларини йўналтириш талаб этилади. Чунки, *ижтимоий жиҳатдан* муҳим ва давлатнинг ташкилий вазифаси сифатида долзарб масала ҳисобланади.

Учинчидан, экологик тоза ва атроф-муҳитни мусаффолигига таъсир қилмайдиган энергия манбалари сифатида куёш ва шамол энергиясини айтиш мумкин. Ҳозирги шароитда ушбу технологиялар ёрдамида энергия ишлаб чиқариш қимматга тушиши мумкин, бироқ табиий ресурслар тугаганидан кейин уни бошқа манбалар билан таққослаш имкони бўлмайди. Шу боис, ноанъанавий энергия манбаларидан фойдаланишни қўллаб-қувватлаш, *экологик жиҳатдан* фойдали ҳисобланади ва экологияни асраш – келажак авлод олдидаги бурч ҳисобланади.

Куёш энергиясини қўлаш тизимини ривожланиши истиқболли ҳисобланади, шу билан бирга юқори харажат талаб қилади. Демак, куёш панелларидан фойдаланишни самарали йўллари излаш ва мавжудларини такомиллаштириш лозим. Бунинг учун ушбу соҳани давлат томонидан қўллаб-қувват ва молиялаш тизимини соддалаштириш талаб этилади.

Куёш панелларидан фойдаланишни давлат томонидан қўллаб қувватлашнинг асосий йўналишлари:

- куёш коллекторлари ва панелларини мамлакатимизда ишлаб чиқаришни рағбатлантириш;

- истеъмолчилар (фойдаланувчилар) учун сифатли ва юқори самара келтирадиган қурилмаларни ишлаб чиқариш;

- куёш, шамол ва бошқа ноанъанавий энергия ресурсларидан мустақил (автоном) фойдаланувчилар учун қўшимча солиқ имтиёзларини жорий этиш (жумладан, мол-мулк солиғини 50 фоизга пасайтириб ҳисоблаш ва б.к.);

- куёш панелларидан фойдаланишни қўллаб-қувватлаш мақсадида банк кредитларини қайта молиялаштириш ставкасидан ошмаган миқдорда бериш тартибини ишлаб чиқиш;

- куёш энергиясидан алоҳида фойдаланиш, биргаликда фойдаланиш ва давлат хусусий шерикчилики асосида фойдаланиш бўйича қонун ости хужжатларига ўзгартириш ва қўшимчалар киритиш;

- хизмат кўрсатиш инфратузилмасини яратиш ва малакали кадрлар билан таъминлаш ва бошқа хизматларни ташкил этиш.

Хулоса: Демак, хулоса сифатида шуни айтиш мумкинки, аҳолини энергия ресурсларига бўлган эҳтиёжини ўзини-ўзи автоном таъминлаш учун шарт-шароитлар яратиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Бунинг учун куёш панелларини ишлаб чиқарувчиларга имтиёзлар бериш, куёш панели ва куёш коллекторларни ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш каби чора-тадбирларни амалга ошириш талаб этилади.

Амалга оширилган ҳисоб-китобларга кўра муайян муддат давомида электр энергияси учун тўловларни барқарорлаштириш тавсия этилади (2-3 йил давомида).

Шунингдек, куёш панелларини сотиб олиш ва ундан фойдаланувчиларга банк кредитларини ажратиш бўйича қонун ости ҳужжатларига ўзгартиришлар киритиш лозим.

Куёш энергиясидан фойдаланувчиларни рағбатлантириш мақсадида уларга ажратилган кредит қарзларини сўндиришда солиқ тўловларидан бонуслар ажратиш тизимини жорий этиш тавсия этилади.

Адабиётлар

1. International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, May 2013, SHC Solar Heat Worldwide Reports (Gleisdorf, Austria: 2005–2013 editions)
2. Проект ПРООН UZB/02/M01. «Чистая энергия для сельских общин Каракалпакстана». Информационный доклад. Ташкент, 2004 г.
3. REN21 2017. Renewables Global Status Report 2016. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/170607_GSR_2017_Highlights.pdf
4. Всемирная программа по Солнечной энергии. 1996-2005 гг. Всемирная комиссия по солнечной энергии. 1997 г.
5. Захидов Р.А. Энергетика стран Центральной Азии и роль ВИЭ. Труды международной конференции «Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности», Бишкек, 2008 год.
6. М.М.Мухаммадиев, К.Д.Потаенко Возобновляемые источники энергии // Учебное пособие.- Ташкент, Таш ГТУ. 2005 г, с.213.
7. Г.К.Саидова Аналитический доклад. Альтернативные источники энергии: возможности использования в Узбекистане. - Ташкент, ПРООН, 2011/3., с.74.
8. Захидов Р.А., Саидов М.С. Возобновляемая энергетика в начале 21-го века, состояние и перспективы развития гелиотехники в Узбекистане. Международный журнал «Гелиотехника». №1, 2009 г.
9. Dilshod Kodirov, Obid Tursunov Calculation of Water Wheel Design Parameters for Micro Hydroelectric Power Station // E3S Web of Conferences 97 FORM-2019, 05042 (2019)
10. Bakhadir Mirzaev, Farmon Mamatov, Obid Tursunov A Justification of Broach-Plow's Parameters of the Ridge-Stepped Ploughing // E3S Web of Conferences 97 FORM-2019, 05035 (2019)
11. Mirsaidov, M., Sultanov, T., Yarashov, J., Toshmatov, E. Assessment of dynamic behaviour of earth dams taking into account large strains// E3S Web of Conferences 97 FORM-2019, 05019 (2019)
12. S.Slavchev, Waterwheel power generating device, Patent, US6534881B1, USA, (2003)
13. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 8 ноябрдаги “Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ- сонли қарори (Ўз.Р. ҚХТ, www.lex.uz).
14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 9 июлдаги “Аҳоли ва иқтисодиётни энергия ресурслари барқарор таъминлаш, нефть-газ тармоғини молиявий соғломлаштириш ва унинг бошқарув тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4388 сонли қарори (Ўз.Р. ҚХТ, www.lex.uz).

15. Ўзбекистон Республикаси Молия вазирлиги томонидан 2018 йил 1 ноябрдаги 19-03-22-06-ЎзР-67-2018 сонли Рейстри билан тасдиқланган (www.uzbekenergo.uz).

16. Ўзбекистон Республикаси Молия вазирлиги томонидан тасдиқланган Рейстр маълумотлари, 2012-2018 йй. (www.uzbekenergo.uz).

17. Renewable Energy World, July–August 2012, pp. 47–49

18. Renewable Energy World, March–April 2013, pp. 18–24

19. <http://social.csptoday.com>

20. www.uzbekenergo.uz

21. www.lex.uz

*Тошкент давлат техника университети ва
Қўқон филиали томонидан тавқдим этилган*

УДК 621.311

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
МНОГОЭТАЖНЫХ ДОМОВ**

Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова, М.А. Куралов

Ушбу мақолада аҳолининг электр энергиясига бўлган талабини кондиршиш, айниқса, сўнгги йилларда юзага келган энергия тақчиллигини қоплаш учун намунавий кўп қаватли бинолар томларига ўрнатилган фотоэлектрик станцияларининг зарур қувватини аниқлаш бўйича ҳисоб-китоблар натижалари келтирилган. 2019 йил давомида мамлакатимизда жами 45 082 та кўп қаватли уй қурилганини ҳисобга олган ҳолда, ёқилғини қоплаш коэффициенти тахминан 30% деб қабул қилинса, жами 1,4 ГВт қувватли қуёш фотоэлектрик станцияларини ўрнатиш талаб қилиниши, бу эса ўз навбатида қайта тикланувчи энергия манбалари соҳасини ривожлантириш борасида Ҳукуматимиз томонидан 5 ГВт қуёш фотоэлектрик станцияларини ўрнатиш вазифасини қарийб 30% ини аҳоли яшаш жойлари томларига ўрнатиш ҳисобига амалга оширилиши мумкинлиги кўрсатиб берилган.

В данной статье представлены результаты расчетов по определению необходимой мощности фотоэлектрических станций, устанавливаемых на крыши типовых многоэтажных домов в целях обеспечения спроса на электрическую энергию населения, особенно для покрытия энергодефицита, возникшего за последние годы. Если учесть, что в 2019 году в стране было построено 45 082 многоквартирных домов, для замещения 30% топлива за счет ФЭС, необходимо установить ФЭС мощностью около 1,4 ГВт, что в свою очередь около 30% требуемой цели по установлению мощности ФЭС согласно целям Правительства по установке 5ГВт солнечной энергии можно осуществить за счет населения.

This article presents the results of calculations to determine the required power of photovoltaic plants installed on the roofs of typical multi-storey buildings in order to meet the demand for electric energy of the population, especially to cover the energy shortage that has arisen in recent years. Considering that in 2019, 45,082 apartment buildings were built in the country, to replace 30% of the fuel with PV power plants, it is necessary to install a PV power plant with a capacity of about 1.4 GW, which in turn show that, about 30% of the required goal to establish the PV power plant capacity in accordance with the goals Governments to install 5GW of solar energy can be carried out at the expense of the population.

За последние годы возобновляемые источники энергии (ВИЭ) достигают паритета цены в отношении и производительности в сравнении с традиционными, а также их использование рассматривается как пути сбалансирования нагрузку на энергосети, в связи с чем установленные мощности ВИЭ год за годом возрастают и по состоянию на конец 2020 года

составили 2 799 ГВт во всем мире [1]. Правительства более активно продвигают практическое применение ВИЭ во всех секторах экономики, увеличение доли ВИЭ в качестве ключевых показателей эффективности как для частных, так и для государственных процессов принятия решений, а также ключевых мер для достижения прогресса в борьбе с изменением климата и энергетические цели [2-3], что касается и Узбекистана.

Согласно данным Министерства энергетики Республики Узбекистан (МинЭнерго), с 2010 по 2019 год, абсолютный объем выбросов парниковых газов в Узбекистане увеличился на 30,6%, в том числе выбросы за счет работы электростанций увеличились на 65,2% и по состоянию на конец 2019 года на энергетический сектор приходилось 19,5% общих выбросов парниковых газов в стране. В рамках неблагоприятной возникшей ситуации в области выбросов парниковых газов, Правительство Республики умножило усилия для продвижения «зеленой» повестки страны, согласно которой поставила цель достичь двукратного повышения показателя энергоэффективности и снижение углеродоемкости валового внутреннего продукта [4].

Инфраструктура суботрасли возобновляемой энергетики в стране совершенствуется, приняты ряд законодательных актов и положений для поддержки и стимулирования производства и широкомасштабного использования энергетических систем и установок на основе ВИЭ.

Согласно экспертам МинЭнерго, с 2010 по 2019 производство электроэнергии (ЭЭ) выросло на 22,4%, что сопоставимо с темпами прироста населения в 21,1% за этот же период. Несмотря на рост общей выработки, потребление ЭЭ не было покрыто в полном объеме, и согласно официальным данным, в 2012-2019 гг., дефицит электроэнергии составлял порядка 9,4% от общей потребности. Часть дефицита ЭЭ покрывался за счет импорта, который в 2019 году составил 5,5% от общей выработки.

Для смягчения возникшей ситуации с энергодефицитом, в рамках «Концепции обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы» предусматривается увеличить выработку электричества к 2030 году почти вдвое – с нынешних 63,6 млрд.кВт·ч до 120,8 млрд.кВт·ч, путем модернизации и реконструкции существующих электростанций, строительства новых с использованием энергоэффективных технологий, совершенствования систем учета ЭЭ; развития ВИЭ, особенно солнечной энергии, а также правовых реформ по совершенствованию тарифной политики и обеспечению перехода на оптовый рынок.

Принимая во внимание стабильный рост спроса на ЭЭ, в целях обеспечения устойчивого энергоснабжения отраслей экономики, объектов социальной сферы и населения, а также смягчения последствий изменения климата вышеуказанным постановлением предусмотрено довести долю производства электроэнергии с использованием ВИЭ в Узбекистане к 2030 году до уровня не менее 25%.

С учетом способности потребителей вырабатывать ЭЭ для собственных нужд и предоставленной возможности поставки излишка ее объема в единую электроэнергетическую систему, утверждена целевая программа по установке ежегодно порядка 150 тысяч солнечных ФЭС (мощностью по 1-2 кВт) и водонагревателей (в среднем 200 литров) в 2-2,5 процентах домохозяйств и к

2026 году с учетом установки частично изолированных объектов ВИЭ населением прогнозируется покрытие потребления 4,3 процентов домохозяйств по республике в объеме порядка 800 млн. кВт·ч в год [5].

Для этой цели, установлены порядок и правила подключения к единой электроэнергетической системе субъектов предпринимательства, производящих ЭЭ, в том числе из ВИЭ [6], а также Правительством предусмотрено выделение средств на компенсацию до 30% стоимости солнечных панелей и водонагревателей для физических лиц [7].

Вышеуказанные цели и задачи диктуют необходимость определить возможностей покрытия энергодефицита за счет индивидуальных пользователей, для чего требуется провести расчетные исследования по выявлению необходимой мощности устанавливаемых энергетических установок и систем в многоэтажных домах, строящихся на территории страны.

В данной статье приведены результаты расчетов необходимой мощности ФЭС для обеспечения спроса на энергопотребление многоэтажных домов. В качестве примера был выбран четырехэтажный типовой дом, построенный в сельской местности в рамках проекта Министерства строительства Республики Узбекистан, ПРООН/ГЭФ «Содействие в развитии строительства энергоэффективного сельского жилья в Узбекистане» (рис.1).



Рис.1. Энергоэффективный типовой четырехэтажный дом в сельской местности

Расчеты показывают, что при допущении месячного энергопотребления в 300 кВт·час и коэффициенте замещения 30%, (согласно нормам, установленным Министерством энергетики), для электрообеспечения всего дома, состоящего из 24 квартир, требуется 7200 кВт·час в месяц. При условии 30% ного замещения электрообеспечения за счет ФЭС, возникает необходимость генерации 2160 кВт*час.

Для достижения вышеуказанного показателя генерации ЭЭ даже при низких значениях интенсивности солнечной радиации, на крыше четырехэтажного здания необходимо установить ФЭС мощностью 31,68 кВт, что вытекает из расчетов, проведенных исследователями на примере ФЭС мощностью 2,24 кВт, установленного в южном направлении и под углом 30° к горизонту.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Для ФЭС мощностью 31,68 кВт требуются всего 88 модулей при выборе фотоэлектрических модулей с характеристиками 360W Mono, $\eta=20\%$, 1955x998 mm, для установки которых на крыше вышеуказанного дома под углом 30° , необходимо 264 м² площади (эксплуатируемая площадь крыши здания равна 306 м²).

В таблице 1 приводятся показатели генерированной ЭЭ в течение года в разрезе месяцев и соответствующий коэффициент замещения.

Таблица 1.

Показатели генерации электрической энергии ФЭС мощностью 31,68 кВт, установленной на крыше четырехэтажного дома и коэффициент замещения спроса на электрическую энергию

Месяцы	Генерированная ЭЭ, кВт*час	Коэффициент замещения, %
Январь	2667	37
Февраль	3219	45
Март	3709	52
Апрель	3786	53
Май	5809	81
Июнь	5349	74
Июль	5748	80
Август	6069	84
Сентябрь	5211	72
Октябрь	3525	49
Ноябрь	2483	34
Декабрь	2115	29
Всего в году	49690	58

При этом, удельная экономия природного газа и Ангреновского угля составляет 6388 Нм³ и 16 т в год, соответственно. Уменьшение выбросов CO₂ в течение года при сжигании природного газа составляет 8,7 т и Ангреновского угля (в зависимости от процентного содержания углерода в составе угля) от 55 т до 84 т, соответственно.

Заключение: Если учесть, что в 2019 году в стране было построено 45 082 многоквартирных домов, для замещения 30% топлива за счет ФЭС, необходимо установить ФЭС мощностью около 1,4 ГВт, что в свою очередь приводит к уменьшению 392213 т CO₂ в течение года при сжигании природного газа и экономии около 19,6 млн.долл.США при условии оценивания тонны CO₂ \$50 согласно [8].

Результаты расчетов показывают, что при условии, если ФЭС мощностью 1,4 ГВт генерирует 2,2 млрд.кВт·час в год, около 30% требуемой цели по установлению мощности ФЭС согласно целям Правительства по установке 5ГВт солнечной энергии можно осуществить за счет населения.

Литература

1. В мире создан рекордный объем новых мощностей возобновляемых источников энергии в 2020 году. ПРЕСС-РЕЛИЗ IRENA. Электронный ресурс:

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2021/Apr/IRENA-Capacity-Stats-2020_Press-Release_Russian.pdf?la=en&hash=976273E11_B874271F07271D84925D2CAC9DC3ABC

2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. Т. «Fan va tehnologiyalar». 2021, 953 стр. Электронный ресурс: <http://tdtu.uz/2021/11/03/sovremennaya-energetika-i-perspektivy-ee-razvitiya/>.

3. Доклад о состоянии возобновляемой энергетики в мире за 2021 год. <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/doklad-o-sostoyanii-vozobnovlyemoy-energetiki-v-mire-za-2021-god>

4. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4477 «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 – 2030 годов» от 04.10.2019 г.

5. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 23.08.2019 г.

6. №ПКМ-610 «Об утверждении Регламента подключения к единой электроэнергетической системе субъектов предпринимательства, производящих электрическую энергию, в том числе из возобновляемых источников энергии» 22.07.2019 г.

7. №ПКМ-217 «Об утверждении Положения о порядке предоставления компенсации за счет средств Государственного бюджета Республики Узбекистан на приобретение энергоэффективных и энергосберегающих устройств и покрытия части процентных расходов по кредитам, полученным на эти цели» от 14.04.2021 г.

8. Н.Р.Авезова, Н.Н. Далмурадова, Э.Б.Халтурсунов, Н.А. Матчанов. Экологические аспекты развития возобновляемых источников энергии в Узбекистане. //Инновационные технологии. Спец.выпуск, 2020. стр. 92-97.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.92

**КОМПЛЕКСНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ МАЛОМОЩНЫХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

С.К. Шеръязов, Р.Ф. Юнусов, Ш.Б. Юсупов, А.Х. Доскенов

Maqolada agrosanoat majmuasi, xususan, nasos stansiyasi iste'molchilarini energiya bilan ta'minlash uchun turli xil an'anaviy va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (quyosh va shamol energiyasidan foydalanadigan qurilmalar) birgalikda qo'llash imkoniyatlari baholanadi. Amaldagi energiya resurslarining oqilona tuzilishi qayta tiklanadigan manbalar bilan almashtiriladigan energiyaning samarali ulushiga bog'liq. O'zgartirilgan energiya ulushini aniqlash uchun funktsional tuzilma tahlil qilingan va integratsiyalashgan energiya ta'minoti tizimida qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanadigan quyi tizim ishlashining umumlashtirilgan modeli taqdim etiladi.

В работе проведена оценка возможности совместного применения традиционных и возобновляемых источников энергии разных типов (установок, использующих энергию солнца и ветра) для энергоснабжения потребителей производств агропромышленного комплекса, в частности насосной станции. Рациональная структура используемых энергоресурсов зависит от эффективной доли замещаемой энергии возобновляемыми источниками. Для определения доли замещаемой энергии рассмотрена функциональная структура и приведена обобщённая модель функционирования подсистемы, использующей возобновляемую энергию в системе комплексного энергоснабжения.

The paper assesses the possibility of joint application of traditional and renewable energy sources of different types (installations using solar and wind energy) for energy supply to consumers in the agro-industrial complex, in particular, a pumping station. The rational structure of the energy resources used depends on the effective share of the energy being replaced by renewable sources. To determine the share of replaced energy, a functional structure is considered and a generalized model of the functioning of a subsystem using renewable energy in the integrated energy supply system is presented.

Электроснабжение в сельской местности решает целый ряд задач и прежде всего повышает эффективность агропромышленного производства, улучшает условия жизни населения. Учитывая все возрастающее потребление тепловой и электрической энергии в сельском хозяйстве, необходимо совершенствовать системы электрооборудования теплоэнергоснабжения, рационально использовать топливно-энергетические ресурсы и искать новые методы и технологии получения энергии на основе современных энергосберегающих технологий.

Насосные станции подключаются к линиям электропередач (ЛЭП) с напряжением 6,3-35 кВ. Насосные станции первой категории подключаются не

менее чем к двум ЛЭП. Потребители малой мощности (дренажные насосы, система освещения, вентиляция, отопление, пожарно-охранная сигнализация, контрольно-измерительная аппаратура, ремонтно-эксплуатационное оборудование и др.) обычно присоединяются к ЛЭП через понизительные трансформаторные подстанции [1-4].

Для эффективного развития производств агропромышленного комплекса (АПК), в частности насосной станции, необходимо обосновать рациональную структуру потребляемых энергоресурсов путём комплексного использования возобновляемых источников. Рациональная структура используемых энергоресурсов зависит от эффективной доли замещаемой энергии возобновляемыми источниками. Для определения доли замещаемой энергии рассмотрена функциональная структура и приведена обобщённая модель функционирования подсистемы, использующей возобновляемую энергию в системе комплексного энергоснабжения.

Потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) велик и в различных по производительности и мощности насосных станциях для энергоснабжения маломощных потребителей их доля может составить до 10% [2-5].

Из ВИЭ наиболее перспективной по признаку доступности потребителям является солнечная и ветровая энергия. В мире действуют огромный парк гелио- и ветроэнергетических установок и их установленная мощность составляет более 100 ГВт. Однако сложно переносить опыт отдельных стран в другие регионы. Каждый раз необходимо изучать возможности использования ВИЭ в конкретных условиях.

В агропромышленном комплексе, по разным причинам, использование солнечной и ветровой энергии весьма незначительно. Недостаточная проработка методологической основы и методических положений по проектированию систем энергоснабжения, использующих ВИЭ, является сдерживающим фактором в развитии возобновляемой энергетики. В условиях развитой гелио- и ветротехники наиболее актуальными становятся вопросы их использования в системе энергоснабжения.

Существующая система энергоснабжения производственных потребителей АПК представляет собой совокупность специализированных схем электро-, газо-, угле- и нефтеснабжения. Структура системы энергоснабжения зависит от вида используемого энергетического ресурса. Для повышения эффективности системы энергоснабжения необходимо определить рациональную структуру потребляемых энергоресурсов.

Фундаментом для определения рациональной структуры потребляемых первичных и преобразованных энергоносителей является системная методология. Задача системного исследования объекта заключается в выявлении механизма функционирования и развития объекта. Системное исследование сложного объекта требует учёта не только внутренних связей, но и внешних связей с другими подсистемами более широкой системы. Совокупность традиционных и возобновляемых источников энергии для электро- и тепло-снабжения образует (рис.1) систему комплексного энергоснабжения (СКЭ), которая должна обладать основополагающими признаками: совокупностью элементов и их иерархичностью; целостностью; наличием внутренних связей между элементами системы.

Возобновляемые источники рассматриваются как дополнительные источники в системе энергоснабжения. Исходя из опыта использования ВИЭ, гелиоэнергетическая установка (ГЭУ) используется для теплоснабжения, ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – для электро- и теплоснабжения [1-5].

В СКЭ подсистемы энергоснабжения на базе традиционных источников изучены достаточно хорошо. Исключение составляет подсистема энергоснабжения на основе возобновляемых источников. В дальнейшем требуется исследование данной подсистемы, чтобы выявить механизм ее функционирования в составе системы комплексного энергоснабжения.

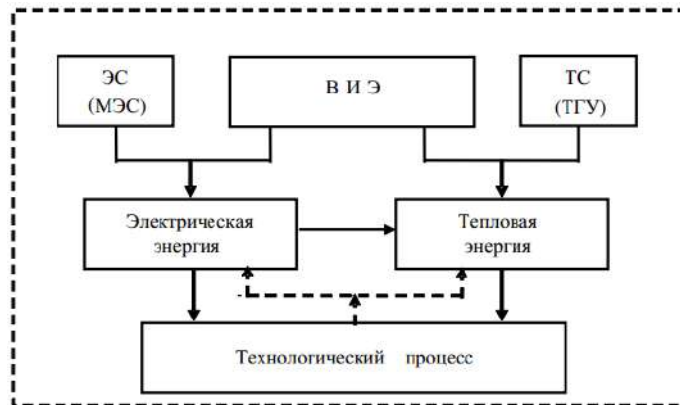


Рис. 1. Система комплексного энергоснабжения с использованием возобновляемых источников:

– энергетические связи; – информационно-управляющие связи;
 ЭС, ТС – централизованная система электро- и теплоснабжения; МЭС – местная автономная электростанция; ТГУ – теплогенерирующая установка на органическом топливе; ВИЭ – возобновляемый источник энергии

Для исследуемой системы комплексного энергоснабжения граница определяется количеством поступающих энергетических ресурсов на входе и потоком энергии от каждого источника на выходе. При этом необходимо обеспечить выполнение заданной функции энергообеспечения.

Уравнение энергетического баланса для рассматриваемой системы может быть представлено как

$$Q_{п} = Q_{п.эл} + Q_{п.тэ} = Q_{эс} + Q_{мэс} + Q_{тс} + Q_{тгу} + \sum_{i=1}^n Q_{в.i} \quad (1)$$

где $Q_{п.эл}$, $Q_{п.тэ}$ – потребная электрическая и тепловая энергии; $Q_{в.i}$ – энергия получаемая от i -го возобновляемого источника.

Потребляемая электрическая и тепловая энергия может обеспечиваться от конкретного источника. Традиционно электрическая энергия может быть получена от двух источников, от централизованной системы (ЭС) или децентрализованной системы электроснабжения, местной электростанции (МЭС). Потребная тепловая энергия может быть получена от централизованной системы теплоснабжения (ТС) и (или) собственного источника (ТГУ), а также путём преобразования электроэнергии.

Таким образом, в рассматриваемой системе энергоснабжения потребная энергия может быть получена от возобновляемых Q_B и традиционного источников Q_T :

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^n Q_{B,i} + Q_T \quad (2)$$

Исходя из опыта использования солнечной и ветровой энергии:

– для электроснабжения используется ВЭУ и потребная электроэнергия:

$$Q_{\Pi,эл} = Q_{T,эл} + Q_{ВЭУ}, \quad (3)$$

– для теплоснабжения используются ГЭУ и ВЭУ и потребная энергия:

$$Q_{\Pi,тепл} = Q_{T,тепл} + Q_{ГЭУ} + Q_{ВЭУ}. \quad (4)$$

Возобновляемый источник покрывает только часть потребной энергии. Долю потребной энергии, замещаемой возобновляемым источником, можно представить как

$$f_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{Q_{\Pi}} \quad (5)$$

Для рационального использования энергетических ресурсов необходимо определить соответствующую долю замещаемой энергии от ВИЭ и оптимальную структуру СКЭ. Доля потребной энергии, замещаемой ВИЭ, зависит от технологии использования возобновляемых источников. Определение эффективной доли замещаемой энергии являются предметом системного исследования подсистемы энергоснабжения от ВИЭ.

Для подсистемы ВИЭ необходимо выделить её границы. Входом рассматриваемой подсистемы являются неуправляемые потоки возобновляемой энергии, выходом – преобразованная тепловая или электрическая энергия. Самой подсистемой является гелио- и ветроэнергетическая установка. Внешней средой для данной подсистемы являются другие подсистемы энергоснабжения от традиционных источников.

Подсистема ВИЭ может рассматриваться с морфологической и функциональной точки зрения.

Подсистема энергоснабжения на основе ВИЭ с морфологической точки зрения известна. В настоящее время известно устройство энергоустановок и доказана возможность развития гелио- и ветротехники для преобразования возобновляемой энергии в другие виды полезной энергии.

На сегодняшний день наиболее актуальной является поиск путей эффективного использования подсистемы ВИЭ в составе системы комплексного энергоснабжения. Для решения поставленной задачи важно выявить механизм функционирования каждого элемента подсистемы ВИЭ в отдельности и в целом в составе СКЭ.

Функциональное описание подсистемы ВИЭ возможно на основе системного подхода. Согласно установленной границе исследуемой подсистемы, необходимо изучить режимы поступающей возобновляемой энергии, её преобразования и использования в технологических процессах. Результатом функционирования подсистемы является полезная энергия от ВИЭ, передаваемая технологическому объекту. Под влиянием цели формируется функциональная структура исследуемой подсистемы (рис. 2).

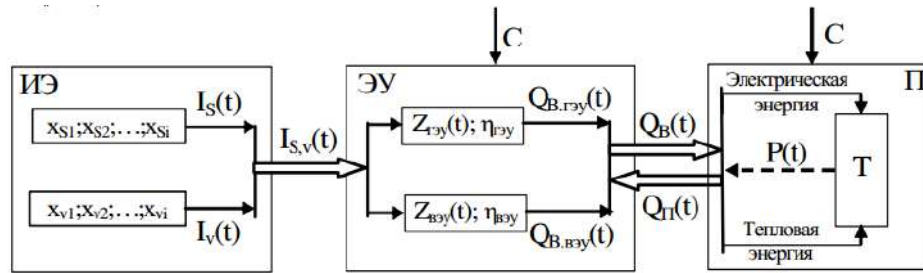


Рис. 2. Функциональная структура подсистемы энергоснабжения от ВИЭ: ИЭ – источник энергии; ЭУ – энергетическая установка; П – потребитель; x_s, x_v – энергетические характеристики возобновляемых источников солнечной (I_s) и ветровой (I_v) энергии; Z, η – параметры и КПД гелио- и ветроэнергетической установки; $Q_B, Q_{П}$ – вырабатываемая и потребляемая энергии; T – технологический процесс влияющий на режим потребления энергии ($P(t)$)

Обобщённую модель функционирования подсистемы ВИЭ в виде полезной выработки Q_B можно представить, как результат преобразования данных посредством оператора F :

$$Q: I \cdot Z \cdot P \cdot C \xrightarrow{F} Q_B \quad (6)$$

где I, P – неуправляемые воздействия источника и технологического процесса на выработку энергии; Z – управляемые параметры энергетической установки; C – воздействия внешней среды.

Моделирование режима источника энергии имеет ряд особенностей, главное из которых – неуправляемость и случайность поступающей возобновляемой энергии. Результатом моделирования должен быть уровень поступающей солнечной и ветровой энергии в конкретные сроки, заданные в вероятностной форме. Поступающую возобновляемую энергию можно определить по энергетической характеристике источника

$$I_{s,v}(t) = F[x_s, x_v, p(x_s), p(x_v), t] \quad (7)$$

Для преобразования возобновляемой энергии используются оптимально разработанные по конструкции и с соответствующим КПД установки модульного типа. Вырабатываемая энергия зависит от определённых параметров гелио- и ветроэнергетической установки, которые следует определить.

Выработку можно определить по зависимости, основываясь на детерминированной модели. Однако режимы функционирования энергетической установки будут иметь случайно-детерминированный характер, и количество вырабатываемой энергии можно ожидать также с определённой вероятностью в течение заданного периода времени

$$Q_B = F[I_s, I_v, Z_{гэу}, Z_{вэу}, \eta_{гэу}, \eta_{вэу}, p(x_s), p(x_v), t] \quad (8)$$

Потребитель энергии в процессе использования ВИЭ играет важную роль. По объёму и режиму потребления энергии можно оценить полезность возобновляемого источника. Потребная энергия определяется технологическим процессом, режимом работы приёмников электрической и тепловой энергии в течение заданного времени

$$Q_{П}(t) = F[P_{э,э}, P_{т,э}, t] \quad (9)$$

При этом потребность в энергии влияет на режим выработки ГЭУ и ВЭУ и необходимо соблюдать условие, чтобы

$$Q_{\text{в}} \leq Q_{\text{п}} . \quad (10)$$

Режим потребления энергии может носить случайный характер, как и выработка от ГЭУ и ВЭУ. Поэтому для эффективного использования ВИЭ необходимо согласовывать режимы выработки и потребления энергии.

Для качественного функционирования системы в целом необходимо согласованное взаимодействие всех элементов. Исследование согласованного взаимодействия элементов возможно на основе синтеза всех происходящих процессов.

Согласование режимов является предметом системного исследования условий функционирования элементов подсистемы ВИЭ и системы комплексного энергоснабжения в целом. Результаты согласования ВИЭ с потребителем можно определить путём введения специальных критериев, позволяющих оценить условия использования солнечной и ветровой энергии в энергообеспечении потребителей, а также замещения традиционной энергии, позволяющего сравнивать варианты функционирования подсистемы ВИЭ [6].

В целом СКЭ должна иметь одну цель и характеризоваться одним комплексным критерием. Им может выступать такой обобщённый показатель функционирования системы, который удовлетворяет требования цели системы более высокого уровня и требования, обусловленные самой системой. Для исследуемой системы основным критерием являются стоимость энергии, получаемой от системы комплексного энергоснабжения [7].

Таким образом, для определения рациональной структуры потребляемых энергетических ресурсов предлагается использовать возобновляемые источники. В предлагаемой системе комплексного энергоснабжения возобновляемая энергия рассматривается как дополнительный источник, позволяющий замещать органическое топливо. Для научного обоснования доли замещаемой энергии разработаны функциональная структура подсистемы энергоснабжения от ВИЭ и её обобщённая модель. Они являются основой для дальнейших исследований системы комплексного энергоснабжения с использованием ВИЭ.

Литература

1. Шерьязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей // Монография. – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2008. – 300 с.
2. Шерьязов С.К., Юнусов Р.Ф., Доскенов А.Х., Чигак А.С. Разработка эффективной системы солнечного теплоснабжения // В кн.: «Тенденции развития альтернативной и возобновляемой энергетики: вызовы и решения». Международная научно-техн. конф. 2021 г., 17-18 мая, ТГТУ.- Ташкент, 2021, С. 412-418.
3. Yunusov R.F., Bayzakov T.M., Sattarov N.E., Xaliqnazarov U.A., Nazarov O.A., Diniqulov D.U. Linear electric actuator of a sectional plane shut-off of hydrotechnical structures // 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020 (ICECAE 2020). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012017.

4. Юнусов Р.Ф., Шерьязов С.К., Доскенов А.Х., Чигак А.С., Зокиров У.У. Система солнечного энергоснабжения насосной станции // В кн.: «Роль и место физики в области техники». Республиканская научно-практ. конф. 2021 г., 28 мая, Каракалпакский ГУ им. Бердаха. - Нукус, 2021, С. 146-150.

5. Шерьязов, С.К. Исследование системы комплексного энергоснабжения с использованием возобновляемых источников // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 5. – С. 302–305.

6. Шерьязов, С.К. Оценка энергообеспеченности потребителя за счёт возобновляемого источника // Вестн. КрасГАУ. – 2007. – № 6. – С. 221–225.

7. Шерьязов, С.К. Обоснование эффективной системы энергоснабжения с использованием возобновляемой энергии // Ползуновский вестн. АлтГТУ. – 2006. – Вып.4. – №2. – С. 434–439.

*Представлено Южно-Уральским
государственным аграрным университетом*

УДК 621.472.383.56

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОЛНЕЧНОЙ
КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ БАТАРЕИ**

**И.А. Юлдошев, М.С. Сайткамоллов, С.К. Шогучкаров,
М.М. Муслимова, З. Усканова, А. Кузибоев**

Ўзбекистон шароитида фотоэлектрик иссиқлик батареяси асосидаги Қуёш когенерацион қурилмасидан фойдаланишнинг техник-иқтисодий самарадорлигини ҳисоблаш усули келтирилган. Баҳолаш мезонлари сифатида марказлаштирилган электр таъминоти тармоғидан истеъмол қиладиган электр энергияси ва иссиқликни тежаши натижасида олинadиган электр ва иссиқлик энергиясини сотиши ҳажми, соф фойда, дисконтлаш ставкаси, дисконт фойда, соф дисконт даромад танланди. Қуёш когенерацион қурилмасини қўллашнинг техник-иқтисодий самарадорлигини баҳолаш марказлаштирилган электр таъминотидан етказиб берилadиган аънавий электр энергияси ва электрик қозон-бойлердан олинadиган иссиқлик энергиясининг иқтисодий кўрсаткичларини таққослаш орқали амалга оширилади. Қурилмадан фойдаланишда унинг иқтисодий нуқтаи назардан истиқболлиги кўрсатилган. Қашқадарё вилоятидаги «Бойқургон сара Чорва» фермер хужалиги энергия таъминоти учун ишлаб чиқарилаётган электр энергияси мос келувчи тарифлардаги нархларда қаралганда Қуёш когенерацион қурилмасининг ўз ўзини қоплаш муддати 8 йилдан ортиқни ташиқил этди.

Приведен метод расчета технико-экономической эффективности использования солнечной когенерационной установки на основе фотоэлектрической тепловой батареи в условиях Узбекистана. В качестве критерием оценки выбрались объём реализации электрической и тепловой энергии, чистая прибыль, ставка дисконтирования, дисконтированная прибыль, чистый дисконтированный доход, получаемый в результате экономии электроэнергии и тепла, потребляемой из сети централизованного электроснабжения. Оценка технико-экономической эффективности применения солнечной когенерационной установки осуществлена в сравнении с экономическими показателями использования традиционной электрической энергии поставляемой от централизованного электроснабжения и тепловой энергии получаемого от электрического котла – бойлера. Показана перспективность использования установки с экономической точки зрения. Для энергоснабжения на фермерском хозяйстве «Бойқургон сара Чорва» в Кашкадарьинской области при ценах на вырабатываемую энергию, соответствующих тарифам электроэнергии срок окупаемости солнечной когенерационной установки, составил более 8 лет.

A method for calculating the technical and economic efficiency of using a solar cogeneration plant based on a photovoltaic thermal battery in the conditions of Uzbekistan is presented. The evaluation criterion was the volume of electricity and heat sales, net profit, discount rate, discounted profit, net discounted income obtained

as a result of saving electricity and heat consumed from the centralized power supply network. The assessment of the technical and economic efficiency of the use of a solar cogeneration plant was carried out in comparison with the economic indicators of the use of traditional electrical energy supplied from centralized power supply and thermal energy obtained from an electric boiler - boiler. The prospects of using the installation from an economic point of view are shown. For power supply at the "Boygurkon Sara Chorva" farm in the Kashkadarya region, at prices for generated energy corresponding to electricity tariffs, the payback period of the solar cogeneration plant was more than 8 years.

Введение. При определении технико-экономических показателей комбинированных фотоэлектрических установок главным является оценка их эффективности. Термин эффективность используется для выражения самых различных взаимосвязей, поэтому при решении новых задач необходимо определить критерии, в соответствии с которыми будет оцениваться эффективность. Для определения полезности солнечной энергии, как и любого другого источника энергии, следует рассмотреть экономическую и экологическую эффективность принимаемых решений [1,2].

Для осуществления оценочных расчетов сроков окупаемости первоначальных капиталовложений на сайтах компаний, занимающихся производством и продажей стандартных солнечных энергетических установок можно воспользоваться всевозможными "on-line калькуляторами"[3]. Однако методы расчета экономической эффективности не стандартных солнечных энергоустановок не разработаны и работы обычно публикуются редко.

Оценка экономической эффективности применения фото-тепловой установки возможна в сравнении с экономическими показателями использования традиционной электрической энергии поставляемой от централизованного электроснабжения и тепловой энергии получаемого от электрического котла – бойлера.

В данной работе осуществлен расчет экономической эффективности солнечной когенерационной установки (СКУ) на основе определенных критериев рассчитываемых денежных средств. Солнечная когенерационная установка состоит из фотоэлектрической тепловой батареи (ФТБ) резервуаров для горячей и холодной воды, соединительных шлангов или трубок, электронных блоков и аккумулирующей системы [4].

Определим экономическую эффективность СКУ исходя из текущих цен на электрическую и тепловую энергию до периода срока службы установки. При этом стоимость электроэнергии определяется по тарификацию [5] на электроэнергию население республики, а стоимость тепловой энергии согласно по способу ее получения, т.е. за счет затрачиваемой электроэнергии в водонагревательных установках (для получения тепла).

Применение ФТБ целесообразно за городом и в регионах, расположенных вдали от централизованных источников электроэнергии и горячего водоснабжения. СКУ на основе фото-тепловой батареи позволяющая вырабатывать соответственно электрическую энергию ~ 2 кВт·час и теплую воду ~ 200 л/день, была установлена 2019 году на фермерском хозяйстве «Бойкурғон сара Чорва» Дехканабадского района в Кашкадарьинской области.

Производимая ФТБ электроэнергия обеспечивает работу осветительных систем, телевизоров, мини-холодильника, зарядку мобильных телефонов, а теплая вода используется для бытовых нужд сотрудников фермерского хозяйства.

В этом случае, критерием оценки являются чистая прибыль, ставка дисконтирования, дисконтированная прибыль, чистый дисконтированный доход, получаемый в результате экономии электроэнергии и тепла, потребляемой из сети централизованного электроснабжения.

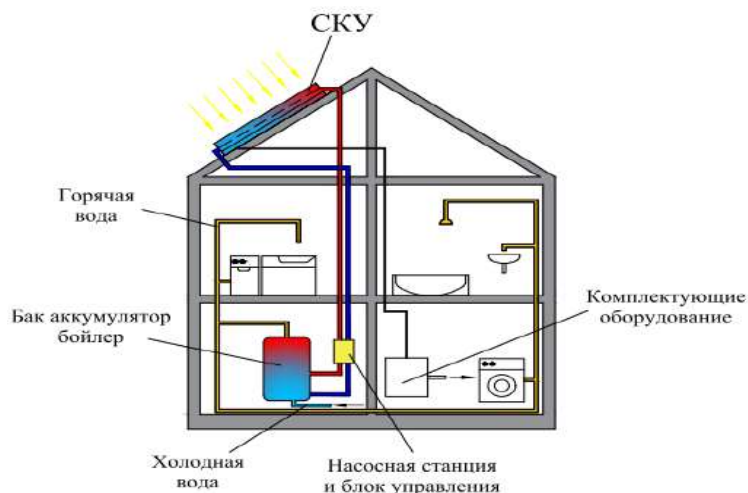


Рис.1. Принципиальная схема СКУ с принудительной циркуляцией теплоносителя

Расчетная принципиальная схема обеспечения электричеством и тепловой энергией представлена на рис.1.

Оценка экономической эффективности проводилась в соответствующих работах [6-8]. Для экономической оценки СКУ расчетный период принят равным сроку эксплуатации – 20 лет.

Принимая за нулевой год установки СКУ получим, что прибыль в этом году отрицательная и равна по абсолютной величине капитальным вложениям на покупку установки с комплектующими устройствами. Капитальные вложения для установки (Табл.1) СКУ с номинальной электрической мощностью 290 Вт·ч составляют 783 USD.

Таблица 1

Сметная стоимость СКУ на основе фото-тепловой батареи

Стоимость СКУ с комплектующими устройствами:	
1. Стоимость фотоэлектрической батареи мощностью 290 Вт	110,2
2. Цена теплового абсорбера	14
3. Цена теплоизоляционных материалов	2
4. Цена электромагнитного клапана	10,5
5. Цена температурного датчика	18
6. Цена входного и выходного крана	19
7. Цена термического клея, герметического силикона, полипропиленовой трубки и др. материалов	26,3

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

8. Услуги конструктора, доход с учетом без НДС	100
Комплекующие оборудования (цена силового электрического оборудования:	
1. Контроллера заряда-разряда	17
2. Аккумуляторы (12 в, 200 А·час), 1 шт.	200
3. Инверторы напряжения (1,5 кВт, синусоида)	150
4. Автомат-выключатели	2
5. Коммутационных устройств	4
Стоимость транспортировки и непредвиденных работ	50 USD
Стоимость кабельной продукции	24 USD
Стоимость монтажно - наладочных работ	36 USD
Итого:	783 USD

Применяя формулу (1) и данные таблицы 1 и 2, рассчитаем движение денежных средств для SKU на основе фото-тепловой батареи. Результаты расчетов приведены на таблице 2.

Таблица 2

Таблица движения денежных средств для SKU на основе фото-тепловой батареи
(в USD)

Год	Кап. влож.: ния, USD	Экс. плу. - вырас -ходы, USD	Выра-ботка лект. энер-гии, кВт*час	Тариф на электр. энергию в год, USD/кВт*час	Объемы реал. электро энергии в год, USD	Выра-ботка тепло-вой энер-гии, м3	Затрачен-ная электро-энергия для получения тепловой энергии в год, кВт*час	Объемы реал.тепл. энерг. в год, USD/кВт*час	Общий реал.изд.-ши, USD	Чистая прибыль, USD	Ставка дискон-тирования для USD 4%	Дискон-тирован-ная прибыль, USD	Чистый дискон-тирован-ный доход, USD
0	783											-783	-783
1		15	720	0,028	20,160	40,5	2376	66,528	86,688	71,688	0,962	68,964	-714,036
2		15	720	0,031	22,055	40,5	2376	72,782	94,837	79,837	0,925	73,849	-640,187
3		15	720	0,034	24,128	40,5	2376	79,623	103,753	88,751	0,889	78,900	-561,287
4		15	720	0,037	26,396	40,5	2376	87,108	113,504	98,504	0,855	84,221	-477,066
5		15	720	0,040	28,878	40,5	2376	95,296	124,173	109,173	0,822	89,740	-387,326
6		15	720	0,044	31,592	40,5	2376	104,254	135,846	120,846	0,79	95,468	-291,858
7		15	720	0,048	34,562	40,5	2376	114,053	148,615	133,615	0,76	101,547	-190,310
8		15	720	0,053	37,810	40,5	2376	124,774	162,585	147,585	0,731	107,885	-82,426
9		15	720	0,057	41,365	40,5	2376	136,503	177,868	162,868	0,703	114,496	32,070
10		15	720	0,063	45,253	40,5	2376	149,335	194,587	179,587	0,676	121,401	153,471
11		15	720	0,069	49,507	40,5	2376	163,372	212,879	197,879	0,65	128,621	282,093
12		15	720	0,075	54,160	40,5	2376	178,729	232,889	217,889	0,625	136,181	418,273
13		15	720	0,082	59,251	40,5	2376	195,530	254,781	239,781	0,601	144,108	562,382
14		15	720	0,090	64,821	40,5	2376	213,909	278,730	263,730	0,577	152,172	714,554
15		15	720	0,098	70,914	40,5	2376	234,017	304,931	289,931	0,555	160,912	875,466
16		15	720	0,108	77,580	40,5	2376	256,014	333,594	318,594	0,534	170,129	1045,595
17		15	720	0,118	84,873	40,5	2376	280,080	364,952	349,952	0,513	179,526	1225,121
18		15	720	0,129	92,851	40,5	2376	306,407	399,258	384,258	0,494	189,823	1414,944
19		15	720	0,141	101,579	40,5	2376	335,209	436,788	421,788	0,475	200,349	1615,293
20		15	720	0,154	111,127	40,5	2376	366,719	477,846	462,846	0,456	211,058	1826,351

Обсуждение. При привлечении инвестиций для внедрения СКУ на основе фото-тепловой батареи в размере 783 USD необходимо учитывать реальные, текущие и прошлогодние темпы инфляции доллара в мировом рынке. Согласно официальному сайту www.investing.com текущая инфляция в США по данным исследователей и ученых Мичиганского университета на 1.10.2021 года равна 4,7%, но этот показатель в начале года, то есть в 15.01.2021 году был 3% [9]. Исходя из этих данных, ставка дисконтирования варьируется в районе 4% годовых. Для раскрытия более точной информации о потоке денежных средств нужно найти значения коэффициента дисконтирования (КД).

Зачастую термины «ставка дисконтирования» и «коэффициент дисконтирования» путают. Коэффициент используется в промежуточных расчётах оценки инвестиционной доходности и вычисляется на основе ставки дисконтирования. КД показывает стоимость одной единицы инвестированных денежных средств через заданный промежуток времени при определённых условиях.

Расчёт коэффициента дисконтирования производится по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + R)^n} \quad (1)$$

где R — ставка дисконтирования, n — количество периодов от будущего момента до текущего времени (лет, месяцев).

Ставка дисконтирования — это величина, выраженная в процентах, которая позволяет прогнозировать стоимость будущих денег по состоянию на текущее время. Она зависит от множества аспектов: уровень инфляции, упущенная выгода, возникающая при появлении более перспективного направления инвестирования, кредитный риск и многое другое. Не все внешние факторы, оказывающие влияние на экономическую эффективность денежных вложений, можно учесть в ставке. Например, это касается погодных условий, природных катаклизмов, глобальных происшествий в мире и т.д. Понятие дисконтирования рассматривается с точки зрения двух методов — математического и экономического.

Согласно математическому подходу, процесс дисконтирования характеризуется как действие, обратное начислению сложных процентов.

Экономический подход определяет для ставки дисконтирования следующие принципы:

– Доходность без риска в равной степени одинакова для всех инвесторов, она подтверждена только рискам экономической системы;

– все риски инвестиционного проекта оцениваются и принимаются каждым инвестором в частном порядке.

Безрисковая ставка (доходность) является основной. Хотя существует множество методов определения дисконтной ставки, данный принцип является базовым для всех.

В случаях, когда ставка дисконтирования ниже предполагаемой доходности, стоит рассматривать данный проект как перспективный. В противном случае вложения могут оказаться убыточными. Исходя из вышесказанного, коэффициент дисконтирования рассчитывается для каждого года отдельно: за первый год 0,962, за второй год 0,925, за двадцать лет 0,455.

Дисконтированная прибыль определяется при умножении дисконтированного коэффициента и чистой прибыли. Если от капитальных вложений отнимать ежегодную дисконтированную прибыль можно определить ежегодный чистый дисконтированный доход.

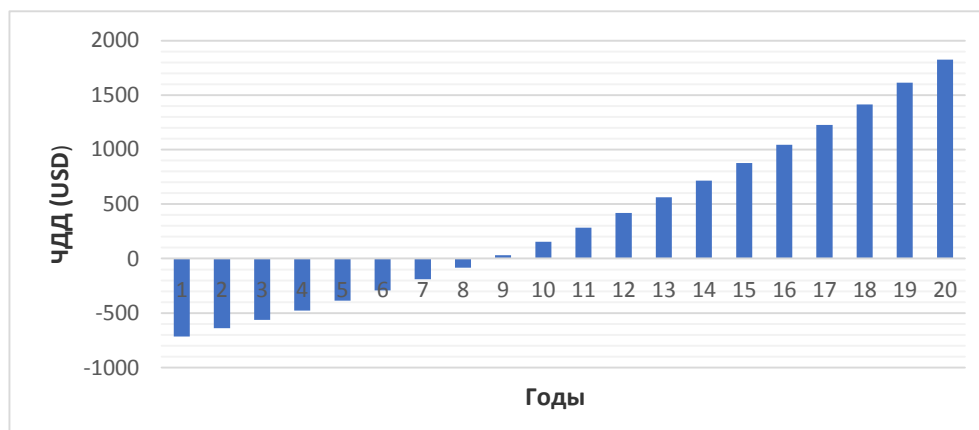


Рис.2. Движение денежных средств

Заключение: Проанализировав зависимость на рис.2, можно сделать вывод о снижении срока окупаемости SKU на основе фото-тепловой батареи на фермерском хозяйстве «Бойкурғон сара Чорва» Дехканабадского района в Кашкадарьинской области.

Если форс мажорные факторы не повлияют на процесс на эксплуатацию ФТБ, то на 9-й год эксплуатации установки полностью себя окупит и начнет приносить чистый доход в размере 32,07 USD. А на 20-й год эксплуатации чистый дисконтированный доход составит 1826,351 USD. После окупаемости SKU на основе фото-тепловой батареи в течение 11 лет будет приносить прибыль фермерскому хозяйству «Бойкурғон сара Чорва» в размере 10165,13 долларов США.

Литература

1. Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др. Экономика энергетики // Учебное пособие для Вузов. М.:Издательство МЭИ, 2005.288 с.
2. К.Р. Аллаев Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика А.У. Салимова.-Т.: «Fan va texnologiyalar nashriyot - matbaa uyi», 2021. 952 с.
3. Онлайн-калькулятор. Расчет получаемой энергии от солнечных батарей. (Электронный ресурс). – Режим доступа: <http://allcalc.ru/node/353>-Солнечная энергия.
4. И.А. Юлдошев, С.К. Шогучкаров, Т.Р. Жамолов, И.Р. Султан, Х.К. Хайруллаев, Н.Ё. Мухтаров Разработка солнечной когенерационной установки на основе фотоэлектрической тепловой батареи// Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2019, №1-2, С.149-153
5. www.lex.uz (Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан “Об изменении цен и тарифов на топливно-энергетические ресурсы” от 30.07.20219 г. №633)

6. И.А. Юлдошев Оценка технико-экономических показателей комбинированных фотоэлектрических установок//Экономика и инновационные технологии – Ташкент, 2016.-№2.-С.1-6

7. П.В. Тихонов Обоснование параметров фотоэлектрического теплового модуля // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2014. – С. 142

8. Х.К. Зайнутдинова Использование солнечной энергии в Узбекистане: вопросы рынков и маркетинга // Издательство «Фан». Ташкент 2015. – 336 С.

9.<https://ru.investing.com/economic-calendar/michigan-inflation-expectations-389> (дата обращения от 07.10.2021 г.)

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.313.333

**“АНГРЕН” ОЧИҚ КЎМИР КониДАГИ ТАСМАЛИ КОНВЕЙЕРЛАРИ
ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРИНИ ТАКОММИЛЛАШТИРИШ**

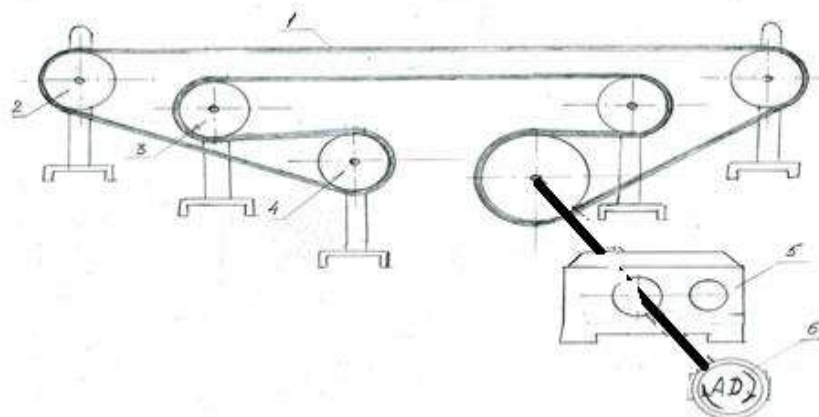
С. Холиқов, У. Боқижонов, М. Имомова

Мақолада “Ангрен” очик кони филиалининг 350 кВт қувватли тасмали конвейернинг автоматлаштирилган электр юритмасини такоммилаштириши масалалари кўриб чиқилган.

В статье рассмотрены вопросы усовершенствования электроприводов ленточных конвейеров с мощностью 350 кВт Ангренского угольного карьера.

The article discusses the issues of improving the electric drives of belt conveyors with a capacity of 350 kW of the Angren coal quarry.

Ҳозирги кунда “Ангрен” очик кўмир конида қазиб олинган кўмирни ташиш учун тасмали конвейер ўрнатилган, у куйидаги ускуналардан иборат: 1- тасма, 2- охирги барабан, 3-тортувчи барабан, 4-эгувчи барабан, 5-редуктор ва 6- асинхрон двигател (1-расм).



1-расм. Тасмали конвейер қурилмасининг схемаси

Тасмали конвейерининг тасмалари редуктор орқали айланиш тезлиги ростланмайдиган асинхрон двигател ёрдамида айлантирилади. Тасмалар эса уч роликли таянчлар устида айланадилар. Ташилаётган кўмирни катта-кичиклиги, йирик-майдалиги, оғирлиги боғлиқ равишда тасманинг ролик устида сирпаниши, чўзилиши ўзгариб туради. Тасманинг сирпанишини ва чўзилишини олдини олиш учун кўмирнинг хар қандай оғирлигида ва шаклида конвейерни айланиш тезлигини бир хил ушлаб туриш талаб этилалди. Буни учун асинхрон двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш лозим.

Шу сабабли асинхрон двигателни частотавий ростлаш танлаб олинди ва асинхрон двигателнинг тармоқ кучланишининг частотаси ўзгарганда қурилган электр механик тавсифлари қурилди.

Маълумки ўзгарувчан ток двигателлари тезлигини уларга берилалиган кучланиш частотасини ўзгартириш йўли билан ростлаш бир, икки ва уч фазали асинхрон моторларини юкори силликлик билан кенг диапазонда тежамли ростлаш мумкин бўлади. Шунинг учун частота билан бошқариш энг катта истиболга эга бўлган усуллардан бири ҳисобланади. Бунда юкланиш хар қандай ўзгариши билан ҳам тезликнинг ростланиши энг қулай тавсифлари бўйича ўтказилиши мумкин. Аммо бунинг учун частота ва кучланишни кенг диапазонда талабга мувофиқ қонун билан ўзгаришини таъминлайдиган частота ўзгартгичларини яратиш лозим. Бу масаланинг назарий ва амалий томонлари бўйича катта ишлар қилинган. Асинхрон мотор тезлигини частотани ўзгартириш йўли билан тежамли равишда ростлаш юзасидан М.П.Костенко томонидан қуйидаги боғланиш аниқланган:

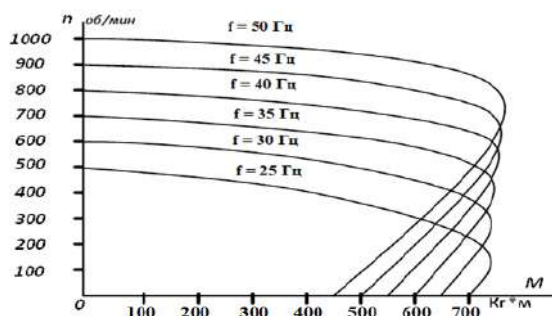
$$\frac{U}{U_H} = \frac{f}{f_H} \sqrt{\frac{M_C}{M_{CH}}} \quad (1)$$

бунда U, f ва U_H, f_H — статорга берилган кучланиш ва ток частотасининг ўзгартирилиб туриладиган (жорий) ҳамда номинал қийматлари; M_C, M_{CH} — мотор валидаги қаршилик (юклама) моментининг ўзгариб турадиган ва номинал қиймати. (1) ифодага асосан частота ўзгартирилиши билан кучланишнинг оптимал ўзгариш қонуни M_C нинг мотор тезлигига кўра ўзгариши билан аниқланади. Частота ўзгариш билан кучланишнинг оптимал ўзгариши таъминланса, у ҳолда моторнинг $\cos \varphi, \lambda = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H}$ ва ФИК η қийматлари ўзларининг f_H номинал частотадаги қийматларидан деярли фарқ қилмайдилар. (1) ифодани олишда двигателнинг магнит тизими тўйинмаган ҳолатда ва унинг статор чулғамининг актив қаршилиги $R_1=0$ деб қабул қилинган.

Ҳақиқатда, $R_1>0$ бўлади. Бунда R_1 да кучланишнинг бироз тушиши туфайли магнит оқимининг қиймати $R_1=0$ дагига нисбатан бир оз камаяди ва (1) ифодадаги тезликнинг оптимал ростланиш шarti тўла таъминланмайди. Натижада паст тезликларда λ нинг қиймати ҳам бир оз камаяди. Амалда мавжуд бўлган механизмлар ўзларининг механик тавсифлари бўйича қуйидаги синфларга бўлинади [1]:

$$M_C = \text{const}; \quad M_C \equiv n; \quad M_C \equiv n^2; \quad P_C = M_C n = \text{const}.$$

Тасмали конвейердаги электр юритманинг момент қаршилиги $M_C = \text{const}$ бўлгани учун $U_\phi/f_1 = \text{const}$ қонунини танлаб олинди ва частота камайгандаги тавсифлар қурилди (2-расм).



2-расм. Тасмали конвейердаги электр юритманинг частота камайгандаги тавсифлари

Юқоридаги тавсифлар асосида саноатда ишлаб чиқарилаётган частота ўзгартиргичи танлаб олинди. Танланган частота ўзгартиргичи асосида тасмали конвейернинг автоматлаштирилган схемаси тузилди (2-расм).

Бунда ташқари схеманинг тесқари алоқаси сифатида конвейернинг айланиш тезлиги қабул қилинди (3-расм). Бу схема конвейернинг силлиқ ишга туширишини ҳамда сутканинг кўмир хажми камайган даврида асинхрон двигателнинг, яъни конвейернинг айланиш тезлигини камайтириш имконини беради. Бу эса асинхрон двигателнинг электр манбадан истеъмол қилаётган қувватни камайишига олиб келади ва энергия самарадорлигини оширишга имкон беради.



3-расм. Частота ўзгартиргичи асосидаги тасмали конвейернинг автоматлаштирилган схемаси

Фойдаланилган адабиёт

1. Хамудханов М.З., Мажидов С. Электрик юритма ва уни бошқариш асослари. “Ўқитувчи” нашриёти. Тошкент, 1970 й. – 285 б.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.684

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА В ГАЗОТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А.А. Таубалдиев

Мақолада асосий табиий газ босимини пасайтирадиган станциялардаги детандер-генератор технологияси кўриб чиқилган, бу иссиқлик станциялари билан солиштирганда, экологик кўрсаткичи юқори бўлган электр энергиясини ишлаб чиқариш имкониятини беради. Детандер-генератор қурилмаси - бу табиий газ оқимининг энергиясини аввал детандирда механик энергияга, кейин эса генераторда электр энергиясига айлантириладиган қурилма. Оқим тезлиги ва босим фарқининг турли қийматларида ўрнатилган детандер - генераторнинг қуввати ҳисобланди, унинг натижаларига кўра қурилмани ўзини оқлаш муддати аниқланди ва ушбу технологияни жорий этилишидан иқтисодий самарадорлиги қийёсий таҳлили берилди. Натижалар ва таҳлиллар асосида, детандер - генератор қурилмаларининг ўзини оқлаш муддати минимал бўладиган, оқилона қувватлари аниқланди.

В статье рассматривается детандер-генераторная технология на станциях понижения давления магистрального природного газа, позволяющая производить электроэнергию с высоким, по сравнению с тепловыми станциями, экологическим показателем. Детандер-генераторный агрегат представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе. Произведён расчёт мощности детандер – генераторного агрегата при различных значениях расхода и разности давления, по результатам которого определены сроки окупаемости установки и дан сравнительный анализ экономического эффекта от внедрения данной технологии. На основании результатов и анализа определены рациональные мощности детандер – генераторных агрегатов, при которых срок окупаемости установки будет минимальным.

The article discusses the expander-generator technology at the stations for lowering the pressure of main natural gas, which makes it possible to produce electricity with a high, in comparison with thermal stations, ecological indicator. An expander-generator set is a device in which the energy of the transported natural gas stream is converted first into mechanical energy in an expander and then into electrical energy in a generator. The calculation of the power of the expander - generator set at various values of the flow rate and the pressure difference was carried out, according to the results of which the payback period of the installation was determined and a comparative analysis of the economic effect from the introduction of this technology was given. On the basis of the results and analysis, the rational capacities of the expander - generating units were determined, at which the payback period of the installation would be minimal.

Использование вторичных энергоресурсов в виде энергии, определяемой избыточным давлением транспортируемого природного газа, стало одной из приоритетных направлений энергосбережения, поскольку позволяет более рационально использовать энергетические ресурсы, снижать выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, повышать эффективность промышленного производства. Использование технологического перепада давления транспортируемого природного газа в системе добычи и транспортировки газа связано с применением детандер-генераторных агрегатов (ДГА) на газораспределительных станциях (ГРС) [1-3].

Применение детандер-генераторных агрегатов позволяет не только снижать давление транспортируемого природного газа, но и генерировать электроэнергию [4-6]. Существует также принципиальная возможность одновременного с выработкой электроэнергии производства и полезного использования тепла и холода [7-10].

Детандер-генераторный агрегат представляет собой устройство, в котором теплосодержание транспортируемого потока природного газа сначала преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электричество в генераторе (Рис 1.) [11].

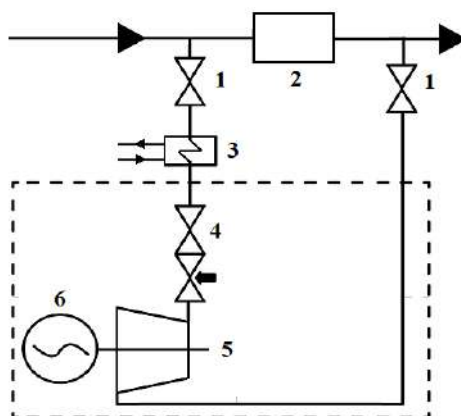


Рис.1. Схема ГРС с детандер-генераторным агрегатом:
1 – шаровой кран; 2 – редуктор; 3 – теплообменник; 4 – защита и регулирование;
5 – турбодетандер; 6 – электрогенератор.

Когда газ расширяется в детандере, температура потока падает намного больше, чем при дросселировании. Без предварительного подогрева перед детандером температура газа может быть ниже температуры, при которой эксплуатация газопроводов невозможна. По этой причине, помимо детандера и подключенного к нему электрогенератора, ДГА включает в себя теплообменник для подогрева газа перед детандером [10].

Во многом, в качестве подогревателя природного газа используют теплонасосную установку, которая потребляет до 25% от выработанной электроэнергии с использованием ДГА [11]. Для масштабного внедрения ДГА на ГРС на территории Республики Узбекистан необходим технико-экономический расчет и анализ окупаемости установки.

При анализе газотранспортной системы Республики Узбекистан, была изучена работа ГРС в летние и зимние периоды. Было выявлено, что из 396 ГРС максимально высокие расходы газа и перепады давления получены на 42, где выработка электроэнергии при использовании ДГА могла быть от 350 кВт до 1500 кВт. Возможно, использовать ДГА на теплоэлектростанциях и других производственных объектах, которые работают круглогодично с одинаковым потреблением объема природного газа, а также с высокими перепадами давления. Как показывает международный опыт, внедрение ДГА эффективно при больших потенциальных мощностях, то есть при больших расходах природного газа и высоких перепадах давления, что влияет на окупаемость установки ДГА. Схема зависимости сметной стоимости электроэнергии 1 кВт от мощности детандер-генератора представлена на рисунке 2.

Как видно из графика, с увеличением мощности ДГА цена за 1 кВт электроэнергии снижается.

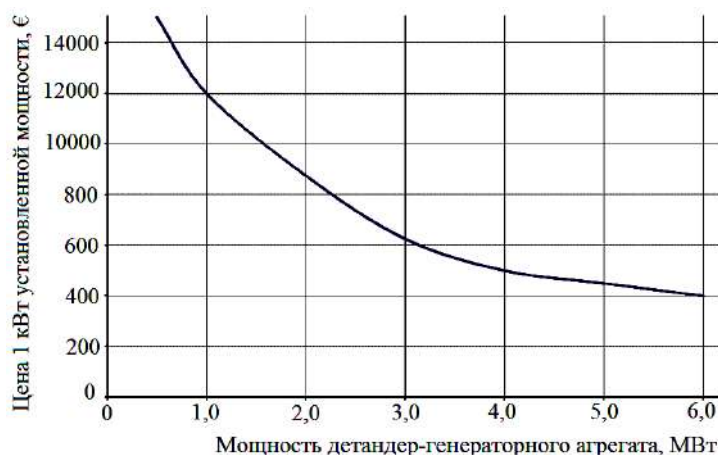


Рис.2. Зависимость стоимости электроэнергии 1 кВт от мощности ДГА

Были проведены расчёты для определения окупаемости ДГА в Узбекистане, учитывая цены на оборудования и электроэнергию.

Расчет мощности турбодетандера производился при определенных допущениях, принимаемых для упрощения расчета без существенного снижения его достоверности.

Срок окупаемости $CO_{\text{ДГА}}$, год:

$$CO_{\text{ДГА}} = \frac{C_{\text{ДГА}}}{\Delta P_{\text{ДГА}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ДГА}}$ – цена детандер- генераторного агрегата, сум.

Снижение затрат, сум/год:

$$\Delta P_{\text{ДГА}} = W_{\text{ДГА}} \cdot C_{\text{ээ}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ээ}}$ - среднегодовой тариф на покупную электроэнергию, сум/кВт·ч.

Годовая выработка электроэнергии ДГА $W_{\text{ДГА}}$, кВт·ч/год:

$$W_{\text{ДГА}} = N_{\text{ДГА}} \cdot 24 \cdot \tau, \quad (3)$$

где τ - продолжительность работы ДГА сут./год.

Номинальная располагаемая мощность $N_{\text{ДГА}}$, кВт, которая может быть получена при помощи ДГА:

$$N_{\text{ДГА}} = G \cdot H_{\text{Ад}} \cdot \eta, \quad (4)$$

где G – массовый расход природного газа, кг/с; $H_{\text{Ад}}$ – перепад энтальпии, кДж/кг; η – общий КПД ДГА.

Перепад энтальпии при адиабатическом процессе расширения газа, $H_{\text{Ад}}$, кДж/кг, в детандер–генераторе:

$$H_{\text{Ад}} = \frac{k}{k-1} \cdot z \cdot R \cdot T \cdot \left(1 - \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right), \quad (5)$$

где z – коэффициент сжимаемости, принятый в зависимости от температуры и давления; k – объемный показатель адиабаты в зависимости от температуры и давления; R – индивидуальная газовая постоянная, Дж/кг·К; T – температура газа на входе в ДГА, °К; $P_{\text{ВХ}}$ – давление газа на входе в ДГА, МПа; $P_{\text{ВЫХ}}$ – давление газа на выходе из ДГА, МПа.

Массовый расход природного газа G , через ГРС, кг/с:

$$G = \frac{Q \cdot \rho_{\text{см}}}{3600}, \quad (5)$$

где Q – расход газа по нитке, м³/ч; $\rho_{\text{см}}$ – плотность газовой смеси, кг/м³.

Для определения экономической эффективности, был проведён расчёт сроков окупаемости при разных мощностях ДГА при условии, что ДГА работает на постоянной мощности круглый год (Рис.3.).

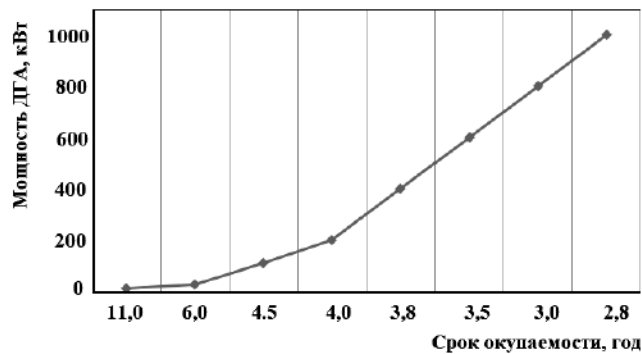


Рис.3. Зависимость срока окупаемости от мощности ДГА

Таким образом, срок окупаемости снижается с повышением мощности ДГА. Внедрение ДГА мощностями ниже 30 кВт не даёт нужного экономического эффекта, а наиболее эффективным является внедрение ДГА больших мощностей и, следовательно, представляется возможным сделать вывод о высокой экономической эффективности инвестиционного проекта по внедрению ДГА на предприятии электроэнергетической промышленности. В настоящее время проекты по внедрению ДГА демонстрируют минимальные сроки окупаемости капитальных вложений при сравнении с любыми иными типами энергетического оборудования как в традиционной «большой»

энергетике, так и для установок малой и нетрадиционной энергетики. Высокие показатели экономической эффективности инвестиционных проектов по внедрению ДГА обеспечиваются минимальными капитальными затратами и минимальными издержками при эксплуатации энергоустановок при использовании оптимальных моделей тарифообразования и налогообложения в соответствии с действующим законодательством Республики Узбекистан.

Литература

1. Тувальбаев, Б.Г. Марченко, М.Е. Марченко, Е.М. и Валитов, Д.Ш. (2017). Концептуальные направления развития теплоэнергетики *Энергосбережение и водоподготовка.*, 107, 3-9.
2. Махмуд Фарзана-Горд. (2016). Интеграция вертикального наземного теплового насоса в обычную станцию сброса давления природного газа: энергетическая, экономическая оценка и оценка выбросов CO₂. *Энергия.* 112, 998-1014.
3. Мукольянц, А. А. Буранов, М. Д. Сотникова, И. В. и Таубалдиев А. А. (2021). Нагрев воздуха в установке воздушного теплового насоса в детандер-генераторной установке. *Materials Science and Engineering.*, 1155, 012080.
4. Качан, С.А. (2007). К вопросу оценки эффективности использования детандер-генераторных установок на ТЭС. *Энергетика: международный научно-технический и производственный журнал.*, 4, 66 – 71.
5. Кудинов, А.А. (2015). Перспективы применения детандер-генераторной установки для повышения экономичности Сызранской ТЭЦ. *Надежность и безопасность энергетики.*, 28, 69-75.
6. Агабабов, В.С. Джураева, Е.В. и Корягин, А.В. (2003). Сравнение различных способов подогрева газа в детандер-генераторном агрегате. *Теплоэнергетика.*, 11, 46-50.
7. Куличихин, В.В. и Тюняев, М.В. (2016). Детандер-генераторные агрегаты в энергетике. Мифы и реальность. *Надежность и безопасность энергетики.*, 35, 62–69.
8. Мукольянц, А.А. Сотникова, И.В. Эргашева, Д.К. и Каримова, Н.Е. (2020). Исследование эффективности схем бестопливных агрегатов выработки электроэнергии в системе газоснабжения. *Международный журнал передовых наук и технологий.*, 29, 9269-9273.
9. Клименко, А.В. Агабабов, В.С. и Борисова П.Н. (2017). Возможность производства холода и дополнительной электроэнергии на тепловой электростанции. *Теплоэнергетика.*, 6, 30–37.
10. Мукольянц, А. А. Сотникова, И. В. Эргашева, Д. К. и Таубалдиев А. (2021). Детандер-генераторная установка для утилизации энергии избыточного давления природного газа. *E3S Web of Conferences.*, 289, 07034.
11. Зацепин, С.С. Купцов, С.М. (2016). Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях. *Территория «НЕФТЕГАЗ».*, 12, 50-53.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.9

**ЁҚИЛГИ-ЭНЕРГЕТИКА РЕСУРСЛАРИГА БЎЛГАН ИҚТИСОДИЙ
ИННОВАЦИОН РИВОЖЛАНИШДА КОРПОРАЦИЯЛАР
ФАОЛИЯТИНИНГ ЖАҲОН ТАЖРИБАСИ**

К.А. Махмудов, Ш.Ш. Жуманазаров, Ш.Х. Максудов

Ушбу мақолада ёқилги энергетика ресурсларига бўлган инновацион ривожланишининг самарадорлиги, унга таъсир қилувчи омиллар, саноат корхоналарнинг рақобатбардошлигини ошириш йўллари ҳамда бошқарувнинг ташкилий-иқтисодий механизмларини такомиллаштириш масалалари ёритиб берилган.

В этой статье рассматривается эффективность инновационного развития топливно-энергетических ресурсов, факторы, влияющие на нее, пути повышения конкурентоспособности промышленных предприятий и совершенствования организационно-экономических механизмов управления.

This article examines the effectiveness of innovative development of fuel and energy resources, the factors affecting it, ways to increase the competitiveness of industrial enterprises and improve the organizational and economic mechanisms of management.

Мамлакатимизда иқтисодий ва ижтимоий барқарор ўсишини таъминлашга ва аҳолининг фаровонлик даражасини оширишга, ёқилги-энергетика ресурсларига бўлган талаб-эҳтиёжни узлуксиз қаноатлантиришга қаратилган нефть-газ, электр энергетика, кўмир, кимё, қурилиш индустриясини ривожлантиришнинг узок муддатли стратегияси амалга оширилмоқда. Иқтисодиётнинг барча тармоқларини модернизациялаш, техник-технологик янгилаш ва ислох этиш жараёни ҳамда рақобатчиликка асосланган бизнес муҳит шароитида, давлат тасарруфидан чиқарилган ва хусусийлаштирилган корхоналар негизда ташкил этилаётган хужалик субъектлари, шунингдек, акциядорлик жамиятлари фаолиятини бошқариш самарадорлигини янада оширишнинг аҳамияти ортиб бормоқда.

Шу муносабат билан, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологиялар ва қайта тикланувчи энергия манбаларини кенг жорий этиш давлат сиёсатининг ҳозирги босқичдаги долзарб йўналишларидан бири бўлиб қолиши лозим. Илғор хорижий тажрибани инобатга олиб, мавжуд ресурсларни ва ишга солинмаган салоҳиятни жалб этиш орқали энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологиялар ва қайта тикланувчи энергия манбаларини кенг жорий этиш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия сарфи ҳажмини кескин камайтириш борасидаги ишларни комплекс ташкил этиш ва шунингдек, ёқилги-энергетика ресурсларидан оқилона ва самарали фойдаланишни таъминлаши инобатга олинган. Иқтисодий ва ижтимоий барқарор ўсишини таъминлашга ва аҳолининг фаровонлик даражасини оширишга, ёқилги-энергетика ресурсларига

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Бўлган талаб-эҳтиёжни узлуксиз қаноатлантиришга қаратилган нефть-газ, электр энергетика, кўмир, кимё, қурилиш индустриясини ривожлантиришнинг узок муддатли стратегияси амалга оширилмоқда.

Шу билан бирга, ёқилғи-энергетика тармоғининг мавжуд қувватлари энергия ресурсларига ортиб бораётган талаб-эҳтиёжни тўлиқ даражада таъмин-ламаяпти, мамлакатимиз иқтисодиётининг энергия сарфи ҳажми ривожланган мамлакатларнинг ўртача кўрсаткичидан анча юқоридир. Ҳозирги вақтда асосан гидроэлектростанциялар ишлаб чиқараётган қайта тикланувчи энергия манбалари ҳиссасига мамлакатда ишлаб чиқарилаётган электр энергияси умумий ҳажмининг атиги ўн фоизи тўғри келмоқда. Ҳозирда катта салоҳият мавжуд бўлишига қарамасдан, қуёш ва шамол сингари қайта тикланувчи энергия манбаларининг имкониятларидан тўлиқ даражада фойдаланиш кам.

Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги, Иқтисодиёт ва саноат вазирлиги, Инновацион ривожланиш вазирлиги ва Молия вазирлиги томонидан ишлаб чиқилган ҳамда қуйидагиларни назарда тутувчи 2019-2022 йилларда Ўзбекистон Республикасида иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини янада ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш комплекс дастури бор ва мисолда: қайта тикланувчи энергия манбаларини янада ривожлантиришнинг мақсадли параметрларини тасдиқлаш, уларнинг улушини 2030 йилга бориб электр энергиясини ишлаб чиқариш умумий ҳажмининг 25 фоизидан кўпроғига етказиш қаратилган; иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини янада ошириш ҳамда қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш бўйича «Йўл харитаси» режада бор. Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини янада ошириш ҳамда қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришдаги қайта тикланувчи энергия манбаларини янада ривожлантиришнинг мақсадли параметрлари 1-жадвалда кўрсатилаган.

1-жадвал

Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини қайта тикланувчи энергия манбаларини янада ривожлантиришнинг мақсадли параметрлари

Т/р	Кўрсаткичлар номи	Ишлаб чиқариш қувватларини ошириш прогнозлари, МВт					Электр энергияси ишлаб чиқариш улуши, фоиз	
		2019 й.	2020 й.	2021 й.	2022 й.	2023 — 2030 йй.	2018 й.	2030 й.
	Жами	1074,1	886,8	1 961,5	2 061,6	14 017,8	100	100
1.	Анъанавий энергетика	1 050	1 807	1 777	2 259,4	10 910,2	90	75
	Шу жумладан, қувватларни фойдаланишдан чиқариш	-	1 060	320	740	4 280	-	-
2.	Қайта тикланувчи энергия манбалари	24,1	119,8	504,5	542,2	7 387,6	10	25
	шундан:							
2.1.	Гидроэнергетика	24,1	119,8	204,5	42,2	1 487,6	10	11,2
2.2.	Қуёш энергетикаси	-	-	300	400	4 300	-	8,8
2.3.	Шамол энергетикаси	-	-	-	100	1 600	-	5

Мамлакатимизда амалга оширилаётган ислохотларнинг янада чуқурлаштириш борасида «... нафақат иқтисодиётнинг таянч тармоқларини, балки, энг

аввало, худудларни комплекс ривожлантириш ва мамлакатимиз барча фуқароларининг ҳаётий манфаатларини таъминлашга ва уларнинг даромадларини кўпайтиришга доир истиқболдаги муҳим вазифалар туриши керак». Бу ҳолат, акциядорлик жамиятларини ривожлантириш стратегияси ва самарали бошқариш борасида Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.Мирзиёевнинг 2017-2021 йилларга Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг ҳаракатлар стратегияси муҳимдир. Ҳаракатлар стратегиясининг «Иқтисодий ривожлантириш ва либераллаштиришнинг устувор йўналишлари»да акциядорлик жамиятлари фаолиятини ривожлантириш ва самарали бошқаришни ташкил қилиш жараёнларига «корпоратив бошқарувнинг замонавий стандартлар, принциплари ва усулларни жорий этиш, корхоналарни стратегик бошқаришда акциядорларнинг ролини кучайтириш» муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Корпоратив бошқарув концепцияси XX-аср бошларида чоп этилган адабиётларда қўлланилган. Хусусан, корпоратив муносабатлар тизими корпоратив ва хусусий мулкни бошқаришни қўллаш жараёни сифатида биринчи марта 1932 йилда америкалик ҳуқуқшунос олим А.Берли ва иқтисодчи Г.Минзнинг классик ишларида ўрганилган. Уларнинг ишларида корпоратив бошқарув атамаси тилга олинмаган бўлсада, улар корпоратив бошқарувни ишониб топширувчилар – principals (аутсайдерлар, инвесторлар) ва вакиллар - agents (инсайдерлар, бошқарувчилар) ўртасидаги агентлик муносабатларини ўрганишган.

Маълумки, жаҳон амалиётида корпоратив бошқарув тизимининг ўзига хос, бир-биридан ажралиб турадиган 3 та тури: инглиз-америка, немис ва япон моделлари юзага келган.

Корпоратив бошқарувнинг Америка модели (Англия, АҚШ) - ихтиёрий фуқарога шахсий бойликка эришиш имкониятини таъминлаш мақсадида «аутсайдерлик», яъни компания фаолиятига алоқадор бўлмаган гуруҳлар томонидан компания фаолияти назоратига асосланган.

Немис моделида корпоратив тузилмаларга акциядорлик жамиятларидан ташқари бошқа юридик шахслар: турли ширкатлар, хўжалик жамиятлари, хўжалик бирлашма кўринишидаги концерн, уюшма, холдинг ва шунга ўхшаш тузилмалар қиради. Германия моделининг Америка моделидан фарқи, акциядорларнинг асосий капитали юридик шахслар кўлида сақланишдир. Яна бир муҳим жиҳати Германияда АҚШга нисбатан фонд биржаси камроқ даражада ривожланган. Германия иқтисодиётида иштирок этаётган барча компанияларнинг фақат 12 фоизга яқини Лондон фонд биржаси ва 10 фоизга яқини АҚШ фонд биржаларида котировка қилинади.

Япония моделида эса, кўпгина компанияларнинг йирик акция пакетлари катта банк ва молия гуруҳлари портфелида мужассамлашганлиги билан ажралиб туради. Йирик акция пакетига эга бўлган акциядорлар корхона бошқарувида бемалол иштирок эта оладилар. Корпоратив бошқарувнинг японча моделидаги ўзига хос хусусият компаниянинг асосий акциядорлари компанияга келиб тушаётган даромадларидан воз кечишлари эвазига гуруҳда бирга фаолият юритиб каттарок даромад олишлари каби имкониятларнинг мавжудлигидир. Япония корпоратив бошқарув моделининг яна муҳим жиҳати ўзида юқори бизнес маданиятни акс эттириб, унда ўзаро ишончга асосланган узоқ муддатли шахсий муносабатлар, шартномалар муҳим аҳамият касб этади. Япония моделида ак-

циядорлик жамиятларининг конунчилик ва қимматли қоғозлар билан операциялари тартибга солиниши Америка модели таъсирини ўзида мужассам этади.

Корпоратив бошқарувнинг инглиз-америка, Германия (континентал) ва Япония моделларини ажратиб курсатиш анъанавий ҳисобланади. Инглиз-америка моделига тарқоқ; аутсайдерлик акциядорлик мулки, корпоратив бошқарувнинг икки поғонали тизими (Директорлар Кенгаши ва ижроия дирекцияси) мавжудлиги, корпорациялар фаолияти устидан назорат қилишнинг либерал воситаси сифатида фонд бозорининг роли муҳим эканлиги ҳосидир.

Германия модели қоидага кўра, марказлаштирилган характерга эга бўлган катта ҳажмдаги инсайдерлик мулки мавжудлиги билан тавсифланади.

Германия модели доирасида уч поғонали корпоратив бошқарув тизими ўринга эга бўлиб, унда Директорлар Кенгаши ва ижроия дирекциясидан (корпорацияни жорий бошқариш органи) ташқари, корпоратив бошқарув тизими устидан мустақил назорат функциясини амалга оширадиган кузатув кенгаши ҳам мавжуд. Бундан ташқари, Германия моделига холдинг компанияларига тегишли бўлган катта ҳажмдаги корпоратив мулк мавжудлиги ҳам ҳосидир.

Япония модели инглиз-америка модели ва Германия модели билан таққослаганда корпоратив бошқарувнинг ахборот жихатидан кўпроқ «ёпик»лиги билан тавсифланади. Ушбу модель доирасида корпорацияларни бошқариш тизимини шакллантириш ва ривожлантиришга молия институтлари, биринчи навбатда, саноат корпорациялари фаолиятини молиялаштириш соҳасида ҳам, корпоратив назорат соҳасида ҳам кенг доирадаги функцияларни бажарадиган йирик банк тузилмалари жиддий таъсир кўрсатади.

Ўзбекистонда иқтисодийтни модернизациялаш ҳам "қўлга олиш" модели ёрдамида амалга оширилмоқда. Ўрта муддатли истиқболда "2016-2020 йилларга мўлжалланган ишлаб чиқаришни таркибий ўзгартириш, модернизация ва диверсификация қилишни таъминлаш чора-тадбирлари дастури", узоқ муддатли истиқболда 2030 йилга қадар стратегия муҳим аҳамият касб этади. 2016-2018 йилар учун Ўзбекистон Республикаси аҳоли фаровонлигини ошириш стратегияси.

Мингйиллик ривожланиш мақсадларига мутаносиб равишда ишлаб чиқилган, чунки унинг асосий мақсади аҳоли турмуш даражасининг барқарор ва сифатли ўсишига еришиш, шунингдек, ижтимоий – иқтисодий сиёсат доирасидаги энг самарали чора-тадбирлар ва механизмларни қабул қилиш устуворликларини аниқлашдан иборат.

Шу 2016-2020 йилларга мўлжалланган ишлаб чиқаришни таркибий ўзгартириш, модернизация ва диверсификация қилишни таъминлаш чора-тадбирлари дастури доирасида қуйидаги устувор йўналишлар белгилаб олинди:

- мавжудларини изчил модернизация қилиш ва электр энергетика саноатида янги ишлаб чиқариш қувватларини яратиш;
- нефт-газ ва нефт-кимё саноатида юқори қўшилган қиймат маҳсулотлари ишлаб чиқариш ҳажми ва ассортиментини ошириш;
- кимё саноатида ишлаб чиқариш ва экспортни диверсификациялаш;
- технологик раҳбарлар билан биргаликда ускуналарни import ўрнини босувчи турларини ишлаб чиқариш учун янги ва мавжуд ишлаб чиқариш объектларини кенгайтириш;

- тўқимачилик ва сhапm-поябзал саноатининг товар таркибини такомиллаштириш;
- электр ускуналар ишлаб чиқариш учун юқори технологияли ишлаб чиқариш объектларини жадал ривожлантириш ва ривожлантириш;
- фармацевтика саноати ишлаб чиқариш ҳажми ва маҳсулот турларини кескин кенгайтириш;
- озик-овқат саноатининг ишлаб чиқариш салоҳиятини кенгайтириш.

Юқоридагиларни умумлаштириб куйидаги хулосаларни баён қилишимиз мумкин:

1. Модернизациянинг моҳияти-давлат иқтисодиётининг бутун иқтисодий тизимини сифат жиҳатидан ўзгартиришнинг ҳаракатлантирувчи кучлари сифатида танланган Реал секторнинг асосий тармоқларига жамғарма ва инвестицияларни жамлашдир.

2. Модернизациянинг ҳаракатлантирувчи кучлари инвестиция ва меҳнат ресурслари, лекин иқтисодиётни модернизациялаш шароитида анъанавий ёндашувдан фарқли ўлароқ, капитал ва меҳнатдан ташқари, иқтисодий ўсишнинг янги омиллари ва заҳираларини топиш ва фаоллаштириш зарур.

3. Иқтисодиётни замон талабларигажавоб берадиган, хусусан, Марказий Осиё мамлакатларида қўлланиладиган иқтисодий модернизациялаш модели иқтисодиётни тартибга солувчи давлат асосий майдонни мажбур қиладиган IT моделига кўпроқ мос келади.

Умумий қилиб айтилганда, модернизация қилиш жараёни негизида доимо молиявий маблағлар сарфи ётади. Бу ўз навбатида асосий капиталга киритилган инвестициялар билан боғлиқдир.

Ижтимоий иқтисодий ривожланишимизга бизнинг шарт-шароитларимизга мос келиши керак ва замонавий жаҳон корпорацияларнинг тажрибасини мос равишда қўлашимиз керак. Ўзбекистонда корпорацияларни бошқариш моделларининг таҳлили шуни кўрсатадики, ривожланган мамлакатларда қўлланиладиган моделлардан ҳеч бири бошқасидан яққол устунликка эга эмас ва миллий иқтисодиётлар учун универсал хисобланмайди, бунинг натижасида, кўплаб мамлакатлар турли моделларнинг алоҳида қисмларини комбинациялаш вариантларидан фойдаланилади. Шунинг учун моделни танлаш мезони - мазкур мамлакатда кечаётган иқтисодий жараёнлар динамикасига мос бўлган корпоратив бошқариш тизимини барпо этишдан иборат бўлиши зарур. Ўзбекистонда корпоратив секторда йирик инвесторлар ҳамда кенг қўламда капитал бозорга молиявий ресурсларни жалб этиш ва бошқаришга қаратилган англо-саксония моделини баъзи элементларини жорий этиш мақсадга мувофиқ.

Хозирдаги кўплаб керакли бўлган амалий масалаларда: кўча ва магистралларни ёритишнинг амалдаги тизимларига ёритиш даражасини бошқаришнинг интеллектуал тизимларини татбиқ этиш ва рақалаштириш, энергетикада менежмент тизимини жорий этиш, ходимларни ўқитиш ва сертификатлаштириш бўйича ишларни ташкиллаштириш, электр энергиясини ишлаб чиқариш, ташиш ва тақсимлашда унинг тармоқ ичидаги сарфини қисқартириш, қайта тикланувчи энергия манбаларининг солиштирма улушини кўпайтириш орқали электр энергияси ишлаб чиқаришни босқичма-босқич диверсификация қилиш ва қайта тикланувчи энергия манбалари бозорида қулай рақобат муҳитини яратиш мақсадида тариф сиёсатини такомиллаштириш, нефть

ва газ конларида бекор кетадиган иссиқликдан, машъала бўлиб ёнадиган ва йўл-йўлакай казиб чиқариладиган газдан электр энергияси ишлаб чиқаришда фойдаланиш бўйича корхоналар салоҳиятини ўрганиш, саноат кўламидаги қуёш фотоэлектрик станцияларини жойлаштириш қоидалари бўйича ишлаб чиқишда жорий этилиши ва саноат корхоналарида кўламидаги қуёш фотоэлектрик станцияларини жойлаштирилишини қишлоқ жойларда ва республиканинг олис ҳудудларида электр ва иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш учун қуёш тизимларини мақсадли жорий этиш керак.

Адабиётлар

1. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли Фармони. ЎЗР Қонунчилик ҳужжатлари тўплами. 2017 йил. 6-сон, 70-модда.
2. Мирзиёев Ш.М. Танқидий таҳлил қатъий тартиб-интизом ва шахсий жавобгарлик-ҳар бир раҳбар фаолиятининг кундалик қоидаси бўлиши керак. - Т.: “Ўзбекистон”, 2017-й.
3. Р.С.Каплан, Д.П.Нортон. Организация, ориентированная на стратегию. Как в новой бизнес-среде преуспевают организации, применяющие сбалансированную систему показателей/пер.сангл.М.: ЗАО Олимп-Бизнес. 2004-416 с.
4. “World Development Report. Risk and Opportunity Managing Risk for Development. 2018. World Bank. 2018.
5. Мировая экономика и международные экономические отношения: Учебник // Под ред. проф.А.С.Булатова, проф.Н.Н.Ливенцева.-М.: Магистр 2010.
6. Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика: Материалы 1-й международной научно-практической конференции. Вып. 3. Государственный университет управления. – М.: Издательский дом ГУУ, 2017.
7. Вахобов А.В. Ўзбекистон Республикаси ва Осиё тараққиёт банки ўртасидаги молия-кредит муносабатларини такомиллаштиришнинг долзарб масалалари // Халқаро муносабатлар, 2-сон, 2010.
8. Хонкельдиева Г.Ш. Иқтисодийни модернизациялаш шароитида корпорацияларни бошқаришнинг илмий-методологик асослари. Иқт. фан. докт. илм. дараж. олиш учун ёзилган дисс. автореф. – Т.: 2018, -71 б.
9. Абдурауфов Р.Р. Ўзбекистонда хорижий инвестицияли корхоналар иқтисодий салоҳиятини бошқариш механизмларини такомиллаштириш // Иқт. фан. докт. илм. дараж. олиш учун ёзилган дисс. автореф. – Т.: 2017 й. - 70 б.
10. Амалий бошқарув ҳисоби: Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма // А.К.Ибрагимов, Н.К.Ризаев.–Т.: «Молия». 2014. 366-б.
11. Апчерч А. Управленческий учет: принципы и практика: Пер. с англ. // Под ред. Я.В.Соколова. - М.: Финансы и статистика, 2002. С.721-750.
12. О.О.Ҳошимов, А.Т.Имомназаров Электромеханик тизимларда энергия тежамкорлик // Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. ЎАЖБНТ Маркази, Тошкент – 2004. С.64-67

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом.*

УДК 621.314

**ҚИШЛОҚ ҲЎЖАЛИГИ ИСТЕЪМОЛЧИЛАРИ УЧУН ГРАВИТАЦИОН
ГИРДОБЛИ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯНИ ЖОРИЙ ЭТИШ-
ИСТИҚБОЛЛИ МУҚОБИЛ ЭНЕРГИЯ МАНБАСИ СИФАТИДА****Р.А. Захидов, А.Б. Мамаджанов**

Микрогидроэнергетика узоқ ҳудудларда асосий электр тармоқдан ажралган ҳолда электр энергия ишлаб чиқарувчи истиқболли муқобил энергия манбаси ҳисобланади. Ушбу тадқиқот ишида насос станциялари ташлама ховузларининг гидроэнергетик потенциалидан оптимал фойдаланган ҳолда, гравитациявий сув гирдобли электр станциясини амалий лойиҳалашидаги техник иқтисодий таҳлили келтирилган. Тадқиқот объекти сифатида Сырдарё-Сўх ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси ҳузуридаги Фарғона насос станциялари ва энергетика бошқармасига қарашли Файзобод насос станцияси ташлама ховузининг гидроэнергетик потенциали бўйича олиб борилди. Гравитациявий сув гирдобли электр станцияси - муқобил ёки қайта тикланувчи энергия манбаси сифатида янги замонавий яшил технология ҳисобланади. Мазкур, электр энергия ишлаб чиқариш усулининг афзаллиги шундаки, паст босимда яъни 0,7 метр напордан бошлаб электр энергия ишлаб чиқариш имконияти мавжуд.

Микрогидроэнергетика – перспективный альтернативный источник энергии, который вырабатывает электроэнергию, удаленно от основной энергосистемы на большие расстояния. В данном исследовании представлено технико-экономическое обоснование практического проектирования гравитационно-водовихревой электростанции с оптимальным использованием гидроэнергетического потенциала насосных станций. Объектом исследования по гидроэнергетическому потенциалу водосборного бассейна является Файзабадская насосная станция Сырдарьи-Сохского бассейнового управления ирригационных систем при управлении Ферганских насосных станций и энергетики. Гравитационная гидротурбинная электростанция – это новая современная зеленая технология в качестве альтернативного или возобновляемого источника энергии. Преимущество этого метода производства электроэнергии в том, что можно производить электричество при низком давлении, то есть от напора 0,7 метра.

Micro-hydropower is a perspective alternative energy source that generates electricity remotely from the main power system over long distances. This research work presents a feasibility study for the practical design of a gravity-vortex power plant with the optimal use of the hydropower potential of pumping stations. The object of research on the hydropower potential of the drainage basin is the Faizabad pumping station of the Syrdarya-Sokh basin management of irrigation systems under the management of the Fergana pumping stations and power engineering. The gravity hydro turbine power plant is a new modern green technology as an alternative or renewable energy source. The advantage of this method of generating electricity is that it can produce electricity at low pressure, that is, from a head of 0.7 meters.

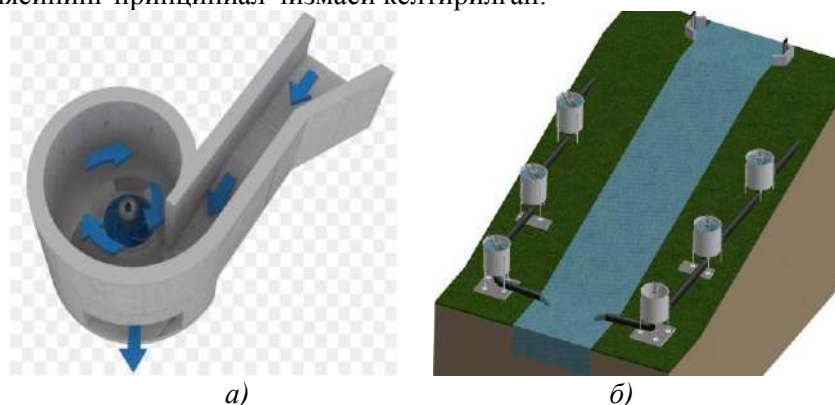
Ҳозирги кунда жамиятнинг ривожланишини унинг энергия билан таъминланганлиги белгилайди. Аммо энергия истеъмолининг кундан-кунга ошиб бориши, ҳамда уни ишлаб чиқариш учун органик ёки қилғилардан фойдаланиш, атроф-муҳитни глобал ифлосланишига олиб келмоқда ва натижада инсоният ҳаётига жиддий хавф солмоқда. Шунинг учун ҳозирги кун энергетикасининг долзарб масалаларидан бири, экологик тоза, қайта тикланадиган ноанаънавий энергия манбаларидан фойдаланишдир [9].

Мамлакатимизнинг гидроэнергетика салоҳиятидан самарали фойдаланиш, сув энергетика ресурсларини бошқаришнинг ягона тизимини шакллантириш, электр энергия ишлаб чиқариш таркибида қайта тикланадиган гидро энергетика ресурслари улушини изчил ошириш, янги экологик тоза энергия ҳосил қилувчи қувватларни ташкил этиш, мавжуд гидро электростанцияларни техник ва технологик жиҳатдан қайта жиҳозлаш, гидроэнергетикани ривожлантиришга хорижий инвестицияларни кенг жалб этиш ва шу асосида корхоналар ва аҳолининг электр энергияга бўлган эҳтиёжини янада тўлароқ қондиришни таъминлаш мақсадида Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017-йил 2-майдаги 2017-2021-йилларда гидроэнергетикани янада ривожлантириш чоратадбирлари тўғрисидаги ПҚ-2947-сонли қарори асосида инновацион ғояларни амалда татбиқ этиш долзарбдир [5].

Мазкур тадқиқот иши натижасида мавжуд паст босимли сув оқимларида ишловчи гравитацион гирдобли микрогидроэлектростанцияни ирригация тармоқларида жорий этиш билан боғлиқ сарф-харажатлар таҳлили келтирилган. Ушбу усулда электр энергия ишлаб чиқаришни илк бор 2003 йилда Австриялик ихтирочи олим Франц Цотлетерер томонидан патентлаштирилган ва амалиётга жорий қилинган бўлиб, дарё ёки сойдан оқиб келаётган сувнинг бир қисмини бетон цилиндр ичига йўналтирилади [10].

Сув цилиндрга тушиб спиралсимон гравитацион гирдоб ҳосил қилади ва ўртада вертикал ўрнатилган турбина сув билан биргаликда ҳаракатланади. Мазкур гравитацион гирдобли микрогидроэлектростанциясининг самарадорлиги бассейн параметрларига, гирдоб ховузининг дизайни ва паррақлар конструкцияси каби кўплаб омилларга боғлиқ бўлади.

Қуйидаги 1а-расмда гравитацион гирдобли микро гидро электр станциясининг принципаал чизмаси келтирилган.



1-расм. Гравитацион гирдобли микрогидроэлектростанция:
а) принципаал чизмаси, б) каскад тизимли чизмаси

Барча микрогидроэлектростанциялар бир-бирига нисбатан маълум афзалликларга эга. Аммо гравитацион гирдобли микроГЭСлар барча бошқа турларига нисбатан қуйидаги афзалликларга эга:

➤ Станция паст бурчак тезлик билан ишлагани боис, оқимни кесмайди ва сув экотизимига зарар етказмайди.

➤ МикроГЭСни ўрнатиш осон ва киритилган инвестициянинг рентабеллиги жуда қисқа муддатдан сўнг бошланади, яъни ўзини.

➤ У ҳеч қандай ташқи таъсирсиз цилиндрсимон резервуарда сувнинг оқим тезлигини гравитацион гирдоб ҳисобига сезиларли орттиради [7,8].

➤ Электр энергия ишлаб чиқариш самарадорлиги юқори, чунки сув бир вақтнинг ўзида барча парракларга таъсир қилади.

➤ Қуришда сой ва дарё оқим йўналиши бўйлаб ўрнатилганлиги учун тўғон ва дамбани кераги йўқ.

➤ Электр узатиш линиялари билан боғлиқ сарф-ҳаражатлар ва энергия йўқолишлари минимал ҳолатда бўлади, чунки станциялар истеъмол нуқтасиги яқин жойлашади.

➤ Конструкция мураккаб бўлмаганлиги учун хизмат кўрсатиш ва фойдаланиш харажатлари кам.

➤ Эҳтиёт қисмларни маҳаллий ишлаб чиқарувчилар томонидан ишлаб чиқариш мумкин.

➤ Ундан паст босимлар (0,7м – 3м) да фойдаланиш мумкин.

➤ Бир хил қувватли бир нечта турбиналарни сув оқими бўйлаб каскадли шаклда ўрнатиш имконияти мавжуд, уларни 1б-расмда кўрсатилганидек тизимли лойиҳалаш мумкин [11,12].

Юқоридаги афзалликларга эга бўлган гравитацион гирдобли микрогидроэлектр станцияси-муқобил ёки қайта тикланувчи энергия манбаси сифатида яшил технология ҳисобланади.

Тадқиқот объектнинг жойлашув ўрни: Ушбу тадқиқот иши Сирдарё-Сўх ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси хузуридаги Фарғона насос станциялари ва энергетика бошқармасига қарашли Файзобод насос станцияси ташлама ховузининг гидроэнергетик потенциали бўйича олиб борилди.

1-жадвал

Ўлчов натижалари бўйича каналнинг параметрлари

Параметрлар	Қиймати	Ўлчов бирлиги
Каналнинг кенлиги	6	М
Каналнинг чуқурлиги	3	М
Канал дамбасининг баландлиги	1.3	М
Самарадор баландлик	1.7	М
Ўртача сув сарфи	1.92	М ³ /С

Гидроэнергетик таҳлил: Гидроэнергетик таҳлил гравитацион гирдобли МГЭС орқали ишлаб чиқарилиши мумкин бўлган электр энергия салоҳиятини аниқлаш учун биринчи қадам ҳисобланади. Каналнинг оқим хажми ҳақидаги 3 йиллик яъни 2019, 2020 ва 2021 йиллардаги маълумот Фарғона насос станциялари ва энергетика бошқармаси маълумотлар базасидан олинган бўлиб, ушбу маълумотлар ойлар ва йиллар кесимида ўртача оқим сарфини аниқлаш учун асос бўлади [6].

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Олинган маълумотларга асосланган ойлик ўртача сув сарфи ва гидро-энергетик қувват 2-жадвалда келтирилган. Жадвалда келтирилган катталиклардан шундай хулоса қилиш мумкинки, Ахунбабаев канали орқали таъминланадиган Файзобод насос станцияси ирригация тармоқлари билан боғлиқ бўлганлиги боис бахор ва куз фасли ойларида сув сарфи бирмунча юқори, қиш ҳамда ёз ойларида бироз кам сув сарфи билан ишлаганлигини кўриш мумкин.

2-жадвал

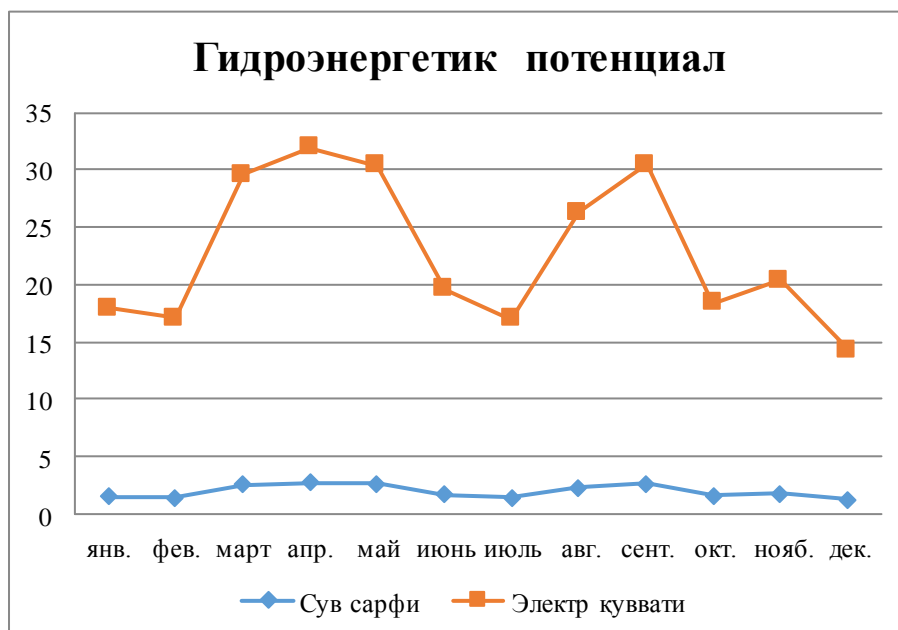
Каналнинг гидроэнергетик кўрсаткичлари

Ойлар	Йиллар кесимида сув сарфи [м ³ /с]			Ойлар кесимида ўртача сув сарфи [м ³ /с]	Электр қуввати [кВт]
	2019 й.	2020 й.	2021 й.		
Январь	1.895	1.233	1.497	1.541	17.971
Февраль	1.666	1.260	1.471	1.466	17.096
Март	2.581	2.503	2.561	2.54	29.621
Апрель	2.684	2.798		2.741	31.965
Май	2.726	2.492		2.609	30.426
Июнь	1.708	1.654		1.681	19.603
Июль	1.164	1.750		1.457	16.992
Август	2.078	2.434		2.256	26.309
Сентябрь	2.646	2.582		2.614	30.484
Октябрь	1.477	1.684		1.580	18.426
Ноябрь	1.769	1.729		1.749	20.397
Декабрь	1.355	1.094		1.224	14.274
ўртача сув сарфи [м³/с]	1.980	1.934	1.843	1.92	Ўртача электр қуввати [кВт]
3 йиллик ўртача сув сарфи [м³/с]	1.92				22.797

Файзобод насос станцияси ташлама ховузи учун лойиҳаланаётган мазкур гравитацион гирдобли МГЭС нинг самарадорлик кўрсаткичи 70%, самарадор оқим баландлиги 1.7 метр этиб ҳисоблашлар амалга оширилди. Ҳисобланган электр қувватларининг йиллик динамикаси 2-расмда келтирилган.

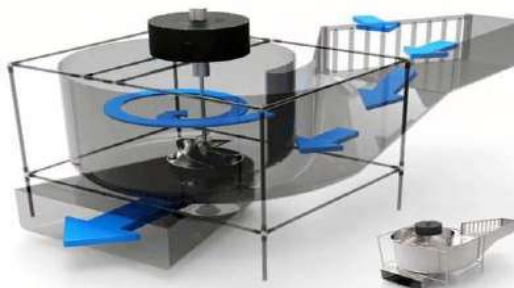
Гравитацион гирдобли МГЭСда цилиндрсимон ҳавза ичидаги айланма гирдоб энергиясидан фойдаланилади. Сув ҳавза ичида кучли гирдоб ҳосил қилади ва цилиндрнинг кичик чиқиш тешиги орқали чиқиб, канал оқимиға қўшилади. Гравитацион гирдобли турбиналарнинг катта гидроэнергетикага нисбатан асосий афзаллиги шундаки, айланиш тезлиги паст ва катта тўғонлар бўлмаганлиги учун атроф-муҳитга таъсирининг камлиги, сув ости экотизимиға яъни балиқлар оламиға зарарсиз эканлиги билан ажралиб туради [15].

Ушбу гравитацион гирдобли турбинасини сув тозалаш иншоотларида, суғориш ишлари билан боғлиқ ирригация тармоқларида қўллаш мумкин.



2-расм. Файзобод насос станцияси ташлама ховузининг гидроэнергетик потенциали

3-расмда Файзобод насос станцияси ташлама ховузи учун лойиҳаланган ва жорий қилинган гравитацион гирдобли МГЭС чизмаси келтирилган [1].



3-расм. Гравитацион гирдобли МГЭС

Гравитацион гирдобли МГЭС инфратузилмаси унча мураккаб эмас яъни, маҳаллий хом-ашёлардан оддий ишчи кучи ёрдамида қуриш мумкин. Республикамиз иқтисодиёти аграр соҳа билан боғлиқ бўлганлиги боис, мавжуд ирригация тармоқлари гидроэнергетик потенциалидан фойдаланиб электр энергиясини ишлаб чиқариш ва автоном истеъмолчи сифатида уни истеъмолини йўлга қўйиш ва ривожлантириш долзарб масала бўлиб қолади [12].

Гидроэнергетик таҳлилларга асосан, Сирдарё-Сўх ирригация тизимлари ҳавза бошқармаси ҳузуридаги Фарғона насос станциялари ва энергетика бошқармасига қарашли Файзобод насос станцияси ташлама ховузининг параметрлари қуйидагича яъни, сув сарфи энг кам миқдор февраль ойида 1.224 м³/с, энг кўп миқдор апрель ойида 2.741 м³/с кузатилди. Шунга қўра, электр

куватлари хам 14.274 кВт дан 31.965кВтгача эканлиги аниқланди. Юқоридаги кўрсаткичларга асосан ўртача электр энергия ишлаб чиқариш қобилияти 22.797 кВт этиб белгиланди ва шу кувватдаги гравитацион гидробли МГЭС капитал сарф-харажатлари 34605\$ эканлиги ҳамда, лойиҳа қиймати 1518 \$/кВт ҳисобланди. Мазкур нисбий қиймат «Tractabal Engineering GmbH» компанияси томонидан белгиланган 2000-3200\$/кВт кўрсаткичга нисбатан анча арзон ҳисобланади. Бундан хулоса қилиш мумкинки, ирригация тизимлари учун гравитацион гидробли МГЭС ларни тизимли лойиҳалаш истиқболли масала бўлиб қолади.

Адабиётлар

1. R. A. Subekti, A. Susatyo, H. Sudibyo, Gh. Pikra Utilization of water energy potential on tail race for very low head hydro power plant. 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA).
2. M. M. Rahman, J.H.Tan, M.T. Fadzli, A.R.Wan Khairul Muzammil, A Review on the Development of Gravitational Water Vortex Power Plant as Alternative Renewable Energy Resources. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vols. 217-227 (2017) pp.
3. Nauman Hanif Khan. Blade Optimization of Gravitational Water Vortex Turbine. Thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Pakistan-2016
4. А.Б.Мамаджанов. Инновационный метод выработки электроэнергии с использованием гравитационной водоворотной турбины. НамМТИ илмий-техника журнали, махсус сон №1, 2019 234-238 бетлар.
5. А.Б.Мамаджанов. Гравитацион гидробли микрогидроэлектростанция-муқобил ва қайта тикланувчи энергия манбаси сифатида. Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали, 2020 йил №4, 12-13 бетлар.
6. А.Б.Мамаджанов. Гравитацион гидробли микрогидроэлектр станция параметрларини тадқиқ қилиш. Энергия ва ресурс тежаш муаммолари журнали, 2020 йил, № 3-4.
7. А.Б.Мамаджанов, З.Д.Хуррамова, А.Ф.Абдуллажонов. Особенности работы водоворотной турбины микро ГЭС ”Талим сифатини оширишда инновацион таълим технологияларининг ўрни: муаммо ва ечимлар“ мавзусида Республика миқёсидаги илмий-амалий конференция материаллар тўплами Наманган-2019, 117-120 бетлар.
8. А.Б.Мамаджанов. Сув айлантирувчи микроГЭС параметрларини амалий асослаш. ”Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари“ мавзусидаги Республика миқёсидаги илмий амалий конференция материаллари тўплами.Наманган-2020, 235-239 бетлар.
9. А.Б.Мамаджанов, Ж.И.Хусаинов. гидроэнергетиканинг мамалакат иқтисодиётида тутган ўрни, ундан фойдаланиш ҳолати ва истиқболлари. ”Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари“ мавзусидаги Республика миқёсидаги илмий амалий конференция материаллари тўплами.Наманган-2020, 80-82 бетлар.
10. Zotloeterer turbine. [Online]. [http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation water vortex power plants zotloeterer-turbine](http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation%20water%20vortex%20power%20plants%20zotloeterer-turbine).

11. M J Khan, M T Iqbal, and J E Quaicoe, "River current energy conversion systems: progress, prospects and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 2177-2193, 2008.

12. Anjali Mohanan, "Power Generation with Simultaneous Aeration using a Gravity Vortex Turbine," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 7, no. 2, February 2016.

13. A H Elbatran, H M Shabara, O B Yaakob, and M Ahmed Yasser, "Operation, Performance and Economic Analysis of Low Head Micro-Hydropower Turbines for Rural and Remote Areas: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, pp. 40-50, 2015.

14. Aravind Venukumar, "Artificial Vortex (ArVo) Power Generation- An Innovative Micro Hydroelectric Power Generation Scheme," in *Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS) IEEE 53-57*, 2013.

15. M Ahmad Yasser, H M Shabara, O B Yaaqob, and A H Elbatran, "CFD Simulation of Water Gravitation Vortex Pool Flow for Mini Hydropower Plants," *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, vol. 74, no. 5, pp. 77-81, 2015.

*Энергетика вазирлиги "Илмий-техник"
маркази МЧЖ томонидан тақдим этилган.*

УДК 620.92

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
НЕВЕНТИЛИРУЕМОЙ СТЕНЫ ТРОМБА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ УЗБЕКИСТАНА**

Н.Р. Авезова, К.А. Самиев

Мазкур ишда градус-сутка, кўп мезонли оптималлаштириши ва регрессия таҳлили усулларидан фойдаланган ҳолда, вентиляция қилинмайдиган Тромб девори параметрларининг оптимал комбинациялари аниқланди. Бунда бионинг йўналиши, вентиляция қилинмаган Тромб девори шаффоф қисмининг иссиқлик қаршилиги ва вентиляцияланмайдиган Тромб девори сиртининг бино фасади юзасига нисбати асосий факторлар сифатида олинди. Ҳисоблаш натижалари шуни кўрсатадики, кўриб чиқилган қийматлар оралигида омилларнинг нисбий устунлиги қуйидаги тартибда бўлади: ориентация – 5.37%; шаффоф тўсиқларни иссиқлик қаршилиги – 72.95%; майдон нисбати – 21.68%. Оптимал қийматлардан фойдаланиб, иситиш учун биноларнинг солиштирма энергия сарфини ўртача 12.9-14.8% дан 52.6-65.3% гача камайитириши мумкин.

В настоящей работе представлены результаты исследований по определению оптимальных комбинаций параметров невентилируемой стены Тромба с использованием методов градусо-сутки, многопараметриальной оптимизации и регрессионного анализа. При этом в качестве основных факторов были взяты ориентация здания, термическое сопротивление прозрачной части невентилируемой стены Тромба и отношение поверхности невентилируемой стены Тромба к поверхности фасада здания. Результаты расчетов показывают, что относительное доминирование факторов в рассматриваемом диапазоне значений находится в следующем порядке: ориентация – 5.37%; термическое сопротивление прозрачных частей – 72.95%; отношение площадей - 21.68%. Используя оптимальные значения, удельный расход энергии зданий на отопление можно снизить в среднем с 12.9-14.8% до 52.6-65.3%.

In this study, the optimal combinations of the parameters of the unventilated Trombe wall were determined using the methods of degree-day, multivariable optimization, and regression analysis. The main factors were the orientation of the building, the thermal resistance of the transparent part of the unventilated Trombe wall, and the ratio of the surface of the unventilated Trombe wall to the surface of the facade of the building. The calculation results show that the relative dominance of factors in the considered range of values is in the following order: orientation - 5.37%; thermal resistance of transparent parts - 72.95%; area ratio - 21.68%. Using the optimal values, the specific energy consumption of buildings for heating can be reduced on average from 12.9-14.8% to 52.6-65.3%.

По данным Международного энергетического агентства, потребление энергии в зданиях в Узбекистане составляет 40%, что вдвое превышает средний

мировой показатель [1]. В ближайшем будущем увеличение жилой площади, в свою очередь, приведет к увеличению потребления энергии. С другой стороны, 70% энергопотребления в зданиях расходуется только на отопление [2].

В республике активно начаты работы по снижению показателей удельного теплового потребления в зданиях, например: с 2020 года в каждом вводимом здании будут использоваться энергосберегающие устройства [3]; ряд строительных норм и правил, используемых для определения удельного расхода тепла в зданиях пересмотрены и пересматриваются [4-8].

С другой стороны, общий потенциал Узбекистана составляет 51 миллиард тонн и страна расположена в благоприятной климатической зоне для использования возобновляемых источников энергии, из которых 97% составляет солнечная энергия [2].

Потребление энергии в зданиях для нужд отопления и охлаждения можно сократить в стадии проектирования здания учтя полную нагрузку для отопления и охлаждения [9], оптимизируя геометрических и теплотехнических параметров ограждающих конструкций [10], а также используя методов пассивных систем солнечного отопления и охлаждения [11]. При использовании пассивных систем можно снизить нагрузку на охлаждение и отопление до 54% и 87% соответственно [12].

Как один вариант частичного решения данной проблемы можно рассмотреть использования пассивных систем солнечного отопления со стеной Тромба [13]. Стена Тромба впервые разработана Эдвардом Морсом в XIX веке в США [14], затем в первой половине прошлого века усовершенствовано Французским инженером Феликсом Тромбом и архитектором Жак Мишелом [15]. Стена Тромба состоит из светопрозрачных ограждений, вентилируемой или невентилируемой воздушной прослойкой, стеной из различных материалов (кирпичная кладка, бетон и т.д.) имеющей большой теплоемкости и зачернённой из наружной поверхности. Принцип работы стены Тромба происходит следующим образом: солнечные лучи падающей на фронтальную поверхность светопрозрачного ограждения частично отражаются, частично поглощаются и частично проходят. Прошедшие солнечные лучи падают на поверхности стены и поглощаются. Благодаря этому температуры стены повышается и тепло передается к внутрикомнатному воздуху.

Анализ показывает, что в последние годы количество научных статей о системах стена Тромба, опубликованных в различных базах данных (Science Direct, Springer Link, Taylor & Francis Online, SAGE Journals, Wiley Online Library and MDPI), увеличивается, например, в 2019 году было опубликовано 10 раз больше чем 2001 год [13].

Статистический анализ научных исследований показывают, что исследований по оптимизацию параметров классическому варианту стены Тромба для климатических условий Узбекистана очень мало. В данной работе рассмотрена задача влияние ориентации южной стены здания, отношение поверхности стены тромба к поверхности фасада здания и термическое сопротивление светопрозрачного ограждения на ряд параметров таких как удельное теплотребление здания, сокращение выбросов CO₂ на атмосферу, простой и дисконтированный срок окупаемости и т.д.

Потребность в тепловой энергии для нужд отопления здания в течение отопительного периода с учетом нагрева вентиляционной нормы воздуха Q_h^y находится по формуле [16,17]:

$$Q_h^y = [Q_h - (\Delta Q + Q_{gain}) v \xi] \beta_h \quad (1)$$

где Q_h - общие теплопотери здания за отопительный период, кВт·ч; ΔQ - уменьшение теплопотери здания за счет применения стены Тромба, кВт·ч; Q_{gain} - поступающее количество теплоты от вентилируемой стены Тромба, кВт·ч; v - коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; ξ - коэффициент эффективности автоматического регулирования подачи теплоты в системы отопления; β_h - коэффициент учета дополнительного теплопотребления системы отопления.

Общие теплопотери здания за отопительный период [16]

$$Q_h = U_{tot} HDD \cdot A_{e,sum} \quad (2)$$

где U_{tot} - общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°C); HDD - градусо-сутки отопительного периода, градус·сутки; $A_{e,sum}$ - общая площадь наружных ограждающих конструкций отапливаемой части здания, м².

Теплопоступление от вентилируемой стены Тромба за отопительный период равно [18,19]

$$Q_{gain} = I_w A_{SW} \alpha_{sol} \tau_w F_S F_F F_W \cdot U_o (R_e + R_1) \quad (3)$$

где I_w - суммарное солнечное излучение за период расчета нагрева, кВт·ч/м²; α_{sol} - коэффициент лучепоглощения наружной поверхности массивной стены; R_e - тепловое сопротивление светопрозрачного ограждения, между воздушным слоем и внешней средой, м²·К/Вт; R_i - тепловое сопротивление массивной стены, между воздушным слоем и внутренним воздухом, м²·К/Вт; R_1 - тепловое сопротивление воздушного слоя, м²·К/Вт.

Годовая экономия капитала S определяется в следующем уравнении

$$S = \frac{(Q_h - Q_h^y) P_d}{g_u \eta_u}$$

где P_d - стоимость топлива, доллар США; g_u - удельная теплотворная способность топлива, кВт·ч/кг; η_u - КПД источника тепла.

Дисконтированный срок окупаемости DPP определяется в следующем уравнении [10]

$$DPP = \frac{\ln[1 - \frac{r C_{TW}}{S}]}{\ln(1+r)} \quad (4)$$

где C_{TW} - начальная инвестиция (стоимость стены Тромба), доллар США.

Количество сокращения выбросов углекислого газа за год можно рассчитать по формуле [19]

$$M_{CO_2} = \frac{Q_h - Q_h^y}{g_u \eta_u} F_{CO_2} \frac{44}{12} \quad (5)$$

где M_{CO_2} - количество сокращения диоксида углерода при использовании стены Тромба вместо обычной стены за год; F_{CO_2} - коэффициент эмиссии углерода различных источников энергии.

Для выполнения вышеуказанных расчетов как объект исследований рассматривается одноэтажный трехкомнатный типовой жилой дом. На

наружных стенах объекта установлена неветилируемая стена Тромба [11]. В качестве светопрозрачной части стены Тромба использованы различные стеклопакеты, характеристики которых приведены в [21,22].

Для определения рациональных значений параметров стены Тромба выбрана тринадцат урвенная и трех факторная схема приведенная в Таблице №1. Расчеты выполнены с использованием метода факториального эксперимента т.е. метод польного факторного эксперимента [23]. При этом стоимость каменного угля для расчетного периода рассматривается равной 674 100 сум/тонна (11-15 октября 2021 года, курс доллара США 10700.03 сум) [27,28].

Таблица №1

Факторы испытаний и соответствующие уровни

Уровни	Факторы		
	Ориентация здания $BO, ^\circ$	Соотношение поверхностей AR	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{\text{ср.сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$
1.	-90	0	0.28
2.	-75	0.083	0.32
3.	-60	0.166	0.34
4.	-45	0.249	0.47
5.	-30	0.332	0.49
6.	-15	0.415	0.53
7.	0	0.498	0.55
8.	15	0.581	0.59
9.	30	0.664	0.60
10.	45	0.747	0.63
11.	60	0.83	0.66
12.	75	0.913	0.68
13.	90	0.996	0.72

Валидация полученных расчетных данных на основе разработанной модели осуществлялся сопоставлением результатов приведенных в [29,30,31]. Как показывают полученные результаты по Таблице №5, среднеквадратическая ошибка составляет 169041.415 Дж, среднеквадратическая ошибка в процентах равна 8.876% и квадрат коэффициента корреляции составляет $R^2 = 0.765$ соответственно.

Для расчетных исследований разработана компьютерная программа на языке Python для определения удельных характеристик рассматриваемого трехкомнатного типового жилого здания. Используя полный факторный эксперимент, определены рациональные комбинации используемых параметров. Определены фронты Парето для трех уровней теплозащиты в климатических условиях города Ташкента (Рис.2). Для первой уровни теплозащиты зданий в фронте Парето выбраны всего 22 точки (Рис.1), отметим, что значения которых в срок окупаемости равняется к нулю, являются данные для здания без стены Тромба и удельное энергопотребления для первого, второго и третьего уровня теплозащиты равны 216.4, 152.4 и 121.5 кВт·час/м² соответственно.

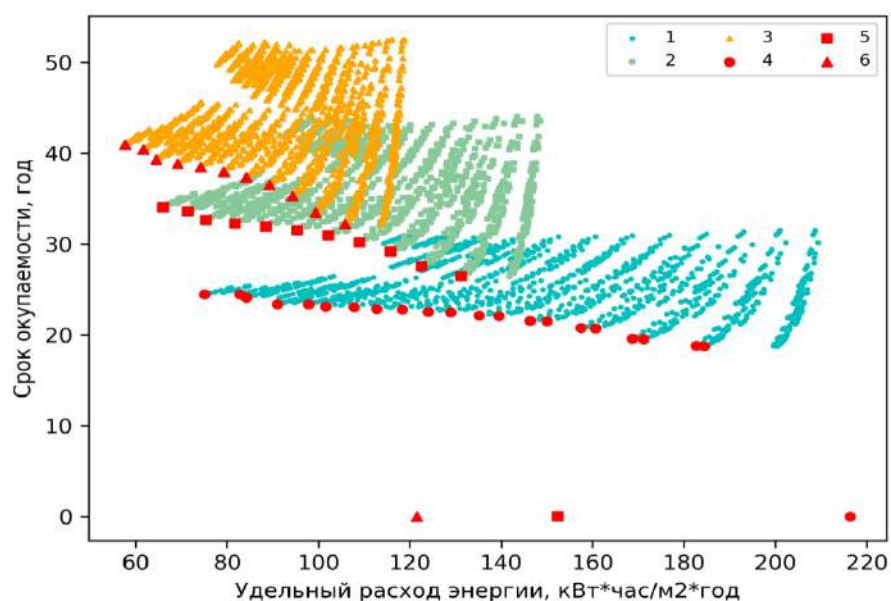


Рис.1. Зависимость дисконтированного срока окупаемости от удельного расхода энергии: 1,2,3 – результаты расчетов принадлежащие первой, второй и третьей уровни теплозащиты соответственно; 4,5 и 6 - данные принадлежащие фронте Парето для первого, второго и третьего уровня теплозащиты соответственно.

При оптимальном комбинации значения основных факторов, удельный расход энергии для первого уровня теплозащиты составляет 184.447 кВт·час/м², что на 14.8% ниже базового значения, для второго уровня тепловой защиты составляет 131.31 кВт·час/м² с процентным значением снижение энергопотребление равной 13.8% и для третьего уровня тепловой защиты удельное потребление энергии для отопительной системы составляет 105.778 кВт·час/м², что 13% ниже из базового значения. Анализ расчетных данных приведенной на Рис.1 показывает, что есть практическая возможность снизить удельное энергопотребление от 81.2% до 84.6%.

Выводы: Впервые были исследованы параметры классического типа вентилируемой стены Тромба для жилых зданий в климатических условиях Узбекистана и определены оптимальные комбинации значения основных факторов методом многопараметриальной оптимизации. В качестве параметров оптимизации были взяты три фактора: ориентация южной стены здания, отношение поверхности стены тромба к общей площади поверхностей фасада и приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной части стены Тромба. Как показывают результаты расчетов, в рассматриваемых пределах значений, относительное доминирование факторов будут в следующем порядке: ориентация – 5.37%; соотношении площадей – 72.95% и приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной части – 21.68%. Используя оптимальные комбинации значений вышеуказанных факторов, можно сэкономить удельную энергопотреблению зданий для нужд отопления в среднем от 12.9-14.8% до 52.6-65.3%. При этом сокращение выбросов CO₂ при

использовании электрической энергии для нужд отопления, рассматриваемого здание составляет от 641.2 кг до 33055.9 кг в год. Дисконтированный срок окупаемости в зависимости от вложенной инвестиции будет равно от 18.7 до 40.9 год.

Литература

1. International Energy Agency Statistics, (2021), www.iea.org/statistics/, Accessed date: 22 September 2021.
2. Third National Communication of the Republic of Uzbekistan on the UN Framework Convention on Climate Change. Center for Hydrometeorological Service under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan. - Tashkent, 2016, p.220.
3. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-5577 «О дополнительных мерах по совершенствованию государственного регулирования в сфере строительства» г. Ташкент, 14 ноября 2018 г.
4. КМК 2.01.04-2018 “Строительная теплотехника”, Ташкент, 2018.
5. КМК 2.01.18-2018 «Нормы энергопотребления для отопления, вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений», Ташкент, 2018.
6. ШНК 2.04.16-2018 «Солнечное оборудование для горячего водоснабжения», Ташкент, 2018.
7. КМК 2.03.13-19 - «Полы», Ташкент, 2019.
8. КМК 2.03.10-2019 - «Крыши и кровли», Ташкент, 2019.
9. R. Pacheco, J. Ordoñez, G. Martinez, Energy efficient design of building: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 3559–3573.
10. A. Halimov, M. Nürenberg, D. Müller, J. Akhatov, and Z. Iskandarov, Multi-Objective Optimization of Complex Measures on Supplying Energy to Rural Residential Buildings in Uzbekistan using Renewable Energy Sources, *Applied Solar Energy*, 2020, Vol. 56, № 2, pp. 137–148.
11. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Самиев К.А., Каххаров С.К. Сравнительные теплотехнические характеристики и технико-экономические показатели системы “стена Тромба” в различных климатических зонах Узбекистана / *Гелиотехника*, 2020, Том 56, №4, с.346-356.
12. Harkouss F., Fardoun F., Biwole P.H. Passive design optimization of low energy buildings in different climates, *Energy* 165 (2018) 591–613.
13. Duffie J., Beckman W. “Solar engineering of thermal processes”, New York, Wiley, p. 928, 2013.
14. Morse, E. L. Warming and Ventilating Apartments by Sun's Rays. U. S. Patent. 1881.
15. Trombe, F.; Michel, J. Naturally Air-Conditioned Dwellings. US Patent 1972.
16. Jan f. Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl. Heating and cooling of buildings 2010 by Taylor & Francis Group, LLC.
17. Малявина Е. Г. Теплотери здания. Москва «АВОК-ПРЕСС» 2007
18. ISO 13790:2008 (E) (2008), Energy Performance of Buildings—Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling, 2008.
19. Zhang H., Shu H.A. Comprehensive Evaluation on Energy, Economic and Environmental Performance of the Trombe Wall during the Heating Season / *Journal of Thermal Science* 28, pages 1141–1149 (2019)

20. Tiwari G.N., Tiwari A., Shyam. Handbook of Solar Energy, Theory, Analysis and Applications, © Springer Science+Business Media Singapore 2016, P.764.
21. Межгосударственный Стандарт, Стеклопакеты клееные строительного назначения, Технические условия, ГОСТ 24866-99, Группа И17, М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000
22. <http://okna-akfa.uz/> (15.10.2021г.)
23. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments (2013) pp. 757.
24. КМК 2.01.01-94 “Климатические и физико-геологические данные для проектирования”, Ташкент, 1994.
25. ШНҚ 2.08.01-2019 “Тураар жой бинолари”, Ташкент, 2020.
26. https://cbu.uz/ru/press_center/releases/549560/ (15.10.2021г.)
27. <https://uzex.uz/uz-Cyrl/pages/weekly-quotes> (15.10.2021г.)
28. <https://bank.uz/currency/archive/15-10-2021> (15.10.2021г.)
29. Ruiz-Pardo A., Domínguez S.A., Fernandez J.A.S. Revision of the Trombe wall calculation method proposed by UNE-EN ISO 13790 / Energy and Buildings, 2010;42: 763–73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.11.018>.
30. Tas`demirog`lu E., Tinaut D. Comparison of an analytical model with experimental results for a passive thermal storage wall, Solar Energy (1985) P.283–286.
31. Analysis of Results of Energy Monitoring over the Heating Season of 2014-2015 after Application of Energy-Efficient Measures and Renewable Energy in a Pilot Four-Room Rural House. Promoting Energy Efficiency in Public Buildings in Uzbekistan, conducted jointly by the United Nations Development Programme (UNDP), the Global Environment Facility (GEF), and the State Committee for Architecture and Construction of the Republic of Uzbekistan, 2015.

*Представлено Физико-технический институт НПО
“Физика-Солнце” АН РУз*

STRATEGIES FOR CARBON NEUTRALITY AND H₂ ECONOMY IN KOREA

Кубок Lee, Хакимов Т.Х.

Recent climate changes caused by global warming are now considered serious problems. The international community recognized the seriousness of climate change problems and adopted the Kyoto Protocol in 1997 that obliges developed countries to solve them, and the Paris Agreement adopted on November 4th 2016, in which both developed and developing countries participated. The goal of the Paris Agreement is to keep the global average temperature rise far below 2°C compared to before industrialization, and further try to suppress it to 1.5°C. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) suggested that in order to limit the global average temperature increase to less than 1.5°C by 2100, carbon dioxide emissions should be reduced by at least 45% compared to 2010 by 2030 and carbon neutrality should be achieved by 2050. Under the Paris Agreement, all parties must regularly establish national greenhouse gas reduction goals. Accordingly, Korea also prepared the five main strategies for 2050 carbon neutrality as follows, and suggested policy, social, and technological innovation directions for the ‘green transformation of the country’ as a whole.

The first is expanding the use of cleanly produced electricity and hydrogen. To this end, energy sources without carbon emissions, such as solar, wind, and hydroelectric power, should be the center of the energy supply system, and most of the fossil fuel-based coal and LNG power generation needs to be made to reduce greenhouse gas emissions through carbon capture, utilization and storage (CCUS) technology in the long term. In addition, most fields, such as vehicles that currently use fossil fuels as main energy sources, cooling and heating systems, and industrial sectors, need to be replaced by systems that use clean electricity secured through renewable energy in the future. In addition, currently fossil fuel-based transportation needs to be replaced by transportation based on eco-friendly energy sources such as electricity and hydrogen. The second is the innovative improvement in energy efficiency. Improving energy efficiency is a highly economical energy consumption reduction strategy that enhances the competitiveness of the industry by reducing energy costs and greatly contributes to fostering related industries such as the production of high-efficiency products. In addition, improving energy efficiency will induce a decrease in energy supply capacity, which will eventually be the most cost-effective policy tool than the energy storage system (ESS) and hydrogenation technologies used to solve the volatility problem caused by the expansion of renewable energy. The third is the commercialization of future technologies such as carbon removal. Considering the manufacturing conditions of Korea, which are centered on energy consumption industries such as steel, cement, and petrochemicals, it is essential to develop future technologies such as hydrogen technology and CCUS and commercialize them in actual industrial sites to move beyond low-carbon society. The fourth is the increase of the sustainability of the industry by expanding the net economy. The strategy to simultaneously implement greenhouse gas reduction and ecosystem preservation is to convert the linear economic structure from collection, consumption, and disposal of raw materials into a circular economic structure that

increases product sustainability. The core is to strengthen the circulation of resources throughout the entire cycle (production, consumption, recycling, disposal) of products, thereby minimizing the input of resources and energy for new production. The fifth is the reinforcement of carbon absorption means. Land, forests, and marine ecosystems play an important role in achieving a carbon-neutral society as a basic element of the environment and a powerful environmental means of absorbing and storing carbon dioxide. Maintaining forests with large carbon dioxide storage capacity, expanding new construction, implementing sustainable forest management, and promoting the use of wood products can greatly contribute to reducing greenhouse gas emissions.

In 2019, Korea announced a roadmap for revitalizing the hydrogen economy to become the world's leading hydrogen economy by actively utilizing hydrogen as an important energy source for industrial innovation and greenhouse gas reduction. The core of the roadmap for revitalizing the hydrogen economy is to establish a foundation for green hydrogen production using renewable energy and to shift the existing carbon resource-oriented energy paradigm to hydrogen, an eco-friendly energy source, by utilizing hydrogen produced through fuel cells and various mobility. To this end, Korea plans to build 8 GW fuel cell facilities by 2040, and plans to continue to expand the size of fuel cells thereafter. In addition, various policies will be implemented to expand the supply ratio of green hydrogen. In the industrial field, it is necessary to introduce a new system that utilizes chemical reactions that are completely different from existing process emission structures such as hydrogenation, biomass, and carbon dioxide capture and utilization (CCU). In particular, in the case of steel, if iron ore is reduced by using hydrogen instead of coke, which inevitably generates carbon dioxide in the furnace process, greenhouse gas emissions can be greatly reduced. In Korea, the government and companies are working together to develop basic technologies for carbon dioxide reduction steel technology (carbon fuel and raw material-based hydrogen reduction steel), and it is predicted that the technology can be developed through empirical after 2025. In the transportation sector, the goal is to popularize eco-friendly vehicles such as electric and hydrogen vehicles. The expansion of eco-friendly vehicles such as electric vehicles and hydrogen vehicles to achieve the vision of the transportation sector in 2050 is expected to be the key means with the highest contribution to greenhouse gas reduction. In order to popularize eco-friendly cars and make it an opportunity to innovate the automobile industry, Korea has already set an ambitious goal of making 1/3 of its sales of new cars electric and hydrogen vehicles by 2030. According to the goal, 3 million electric vehicles and 850,000 hydrogen cars are expected to be supplied by 2030, and the proportion of eco-friendly cars is expected to increase further considering hybrid cars. And an important factor in achieving this is the construction of electric and hydrogen charging infrastructure. The convenience of eco-friendly car users to easily charge electricity and hydrogen anywhere in the country will greatly contribute to the revitalization of eco-friendly cars, and the government will build infrastructure for this.

Hydrogen production technology can be classified by chemical reaction with the raw material used and the energy source used. Raw materials used for hydrogen production include fossil fuels, water, biomass, and waste resources, and energy sources include heat and electricity. Main hydrogen production methods include by-product hydrogen, reformed (or extracted) hydrogen, and water electrolysis. Byproduct hydrogen is hydrogen produced by chemical reactions in petrochemical

(naphtha cracking) processes or steelmaking processes. Since by-product hydrogen utilizes waste gas, it has the advantage of high economic feasibility. However, there are limitations in the amount of production. Reformed hydrogen is hydrogen produced by catalytic reaction using hydrocarbon-based fossil fuels such as natural gas, coal, and petroleum. There are reactions such as steam reforming, partial oxidation, dry reforming, and thermal decomposition, among which the steam reforming reaction is most widely used. The steam reforming reaction is a method of producing hydrogen by mixing high-temperature water vapor (700 to 900°C) with methane, the main component of natural gas, and has the advantage of low production cost. It is necessary to collect CO₂ discharged from this process using CCS technology. Hydrolyzed hydrogen is hydrogen generated when electricity is applied to water by a water decomposition method caused by an electrochemical reaction, and has the advantage of not generating CO₂. However, in order to produce such green hydrogen, renewable energy sources such as solar and wind energy must be used, but at present, electricity prices are expensive or the demand cannot be met in Korea.

References

- [1] Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies (2020)
- [2] Hydrogen Economy Roadmap (2019)

Presented by the Chungnam National University

УДК 662.472:536.28

**ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ДВУХОСНОГО
ВОЗБУЖДЕНИЯ В МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ И
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ**

Н.Б. Пирматов, Ш.И. Дунгбоев

Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan (QTEM) zamonaviy jahon energetika iqtisodiyotida foydalanishning dolzarbligi ko'rib chiqildi, elektr energiyasini ishlab chiqarishda turli xil energiya manbalarining ulushi to'g'risidagi qiyosiy statistik ma'lumotlar keltirilgan. Dunyoda shamol turbinalarini ishlatishda eng katta ulushga ega bo'lgan mamlakatlarda shamol energetikasi rivojiga hissa qo'shgan omillar tahlil qilinib, shamol turbinalari uchun generatorlarning har xil turlari ko'rib chiqilgan.

Рассмотрена актуальность применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современном мировом энергетическом хозяйстве, приведены сравнительные статистические данные о доле различных источников энергии в генерации электричества. Проанализированы факторы, которые способствовали развитию ветроэнергетической отрасли в странах с наибольшей долей использования ВЭУ в мире, а также рассмотрены разные типы генераторов для ВЭУ.

The relevance of the use of renewable energy sources (RES) in the modern world energy economy is considered, comparative statistical data on the share of various energy sources in electricity generation are presented. The factors that contributed to the development of the wind power industry in the countries with the largest share of the use of wind turbines in the world are analyzed, and different types of generators for wind turbines are considered.

Одним из наиболее эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использование энергии небольших водотоков с помощью микро - и малых гидроэлектростанций, а также ветроэнергетические станции (ВЭС). Это объясняется, с одной стороны значительным потенциальном таких водотоков при сравнительной простоте их использования, а с другой - практически исчерпанием гидроэнергетического потенциала крупных рек и ветер в нашем регионе [1].

В отличие от других экологически безопасных возобновляемых источников электроэнергии - таких, как солнце, ветер, - малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю [2].

Еще одно преимущества малой энергетики - экономичность. В условиях, когда природные источники энергии - нефть, уголь, газ - истощаются, постоянно дорожают, использование дешевой. доступной. возобновляемой энергии рек, особенно малых, позволяет вырабатывать дешевую электроэнергию. К тому же

сооружение объектов малой гидроэнергетики низкозатратно и быстро окупается [1, 2].

На сегодняшний день вопрос использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) играет все более и более значимую роль в мировом энергетическом сообществе [3, 4], что, прежде всего, обусловлено стараниями ведущих экономик максимально ослабить свою зависимость от углеводородов. За последние 40 лет, по данным International Energy Agency, заметно изменилось соотношение различных источников энергии, используемых для генерации электричества. При этом доля альтернативных источников энергии (энергия солнца, ветра и т.д.) увеличилась в 14 раз, но по сравнению с остальными источниками энергии она все еще достаточно мала [5].

Одним из наиболее доступных источников возобновляемой энергии является энергия ветра. Вслед за гидроэнергетикой именно ветроэнергетика лидирует среди альтернативных источников по установленным мощностям и объему генерируемой энергии [3].

На конец 2016 года, по данным Global Wind Energy Council [5], объем установленных мощностей ветроэнергетических установок (ВЭУ) в мире составляет 485749 МВт. Основная их часть приходится на страны Азии (41,8%), Европы (33,1%) и Северной Америки (20,05%). Страны-лидеры в освоении ветроэнергетики - это Китай, США и Германия. По данным BP Statistical Review of World Energy 2016, мировой объем выработанной ВЭУ электроэнергии составил 841,2 ТВтч (млрд кВтч). За год количество произведенной ВЭУ электроэнергии увеличилось на 17,4%. Тройка стран-лидеров по объему выработанной электроэнергии та же, что и по объему установленных мощностей ВЭУ - это США, Китай, Германия [4].

Из представленной информации видно, что всего лишь за последние 20 лет мировой объем установленных мощностей ВЭУ вырос почти в 40 раз, а объем вырабатываемой ВЭУ электроэнергии вырос почти в 30 раз. С учетом мирового опыта можно выделить два основных фактора, которые способствуют активному развитию ветроэнергетики [3].

Первый – это политическая и законодательная поддержка. Так, например, в Германии законодательно закреплена концепция глобального энергетического поворота, согласно которой доля электроэнергии, вырабатываемой с помощью источников возобновляемой энергии, к 2025 году должна составлять 40-45%. В Китае закон «Об электроснабжении», принятый в 1995 году, фиксирует государственную поддержку развития ветроэнергетической отрасли. Впоследствии принято еще несколько законов, оказывающих значительную поддержку энергетике на ВИЭ. Так, согласно последнему из них, принятому в 2005 году, зарегистрированным поставщикам «зеленой» энергии операторы электросетей обязаны оплачивать ее стоимость по высокому тарифу, установленному правительством [3, 4]. Второй фактор - это, несомненно, развитие технологий и накопленный опыт. В странах-лидерах с начала коммерческого использования ветроустановок прошло уже около 30 лет. За это время на практике были определены основные направления и способы развития ветроэнергетики, что позволило использовать при производстве ВЭУ более дешевые и эффективные материалы и увеличить единичную мощность ветроэнергетических систем (ВЭС). Кроме того, сказывается эффект масштаба, ведущий к сокращению

издержек не только на производстве ВЭУ, но и на выработке ими электроэнергии, что в результате повышает конкурентоспособность ветроустановок по сравнению с другими технологиями производства электроэнергии [4, 6]. Как известно, в малой гидроэнергетике и ветроэнергетических станциях используются асинхронные генераторы (АГ), синхронные генераторы (СГ), асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ), а также синхронные машины двухосного возбуждения (СМДВ). Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Из указанных машин наиболее полно требованиям режимов работы ВЭУ отвечают АСГ и СМДВ [1].

При преобразовании энергии ветра имеют место резкие колебания ветровых потоков, что усложняет получения постоянной частоты. При использовании АСГ И СМДВ все указанные задачи решаются. При этом, в отличие от АГ, они в состоянии решить также проблему реактивной мощности. В СГ стандартной конструкции дополнительную поперечную обмотку возбуждения можно разместить вместо демпферной обмотки. Такая обмотка хорошо справляется с демпфированием свободных колебаний, возникающих, например, при ударной нагрузке и повышает устойчивость машины при ударной нагрузке, а также появляется возможность регулирования фазы магнитного поля возбуждения [2].

Указанные положительные свойства синхронной машины двухосного возбуждения наилучшим образом отвечают условиям работы генератора в малой гидроэнергетике и ВЭС. Кратковременно поперечная обмотка в состоянии создать МДС сравнимую с МДС основной (продольной) обмотки возбуждения. Однако длительное включение этой обмотки по условиям термической устойчивости не рекомендуется. Для изменения фазы магнитного поля по и против вращения ротора система возбуждения для этой обмотки должна быть реверсивной [1, 2].

Таким образом, применение синхронного генератора двухосного возбуждения позволит решать ряд задач, которые не под силу обычного синхронного генератора. Возможность регулирования фазы магнитного поля возбуждения в широких пределах в СГДВ даст возможность почти полностью демпфировать колебания, вызываемые ударным характером изменения скорости ветра. В схеме с СГДВ путем отключения обмотки возбуждения от системы питания и замыкания ее на сопротивление (или накоротко) мы можем перевести машину в асинхронный режим [2]. Крутящий момент, приложенный к генератору ВЭУ, в зависимости от скорости ветра равен [6]

$$M_z = \frac{C_m}{2} \rho V^2 SR, \quad (1)$$

где C_m - коэффициент крутящего момента, $C_m = 0,15$; ρ - плотность воздуха, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$; V - скорость ветра, м/с; S - ометаемая площадь, $S = 12,92 \text{ м}^2$; R - радиус ветроколеса, $R=1,7 \text{ м}$.

Коэффициент крутящего момента C_m определяется при максимальном коэффициенте использования энергии ветра $C_p = 0,4$ и быстроходности $Z=2,7$, которая определяется как [6]

$$Z = \frac{v_{\text{лин}}}{v_{\text{вет}}} = \frac{\omega \cdot R}{v} = 2,7, \quad (2)$$

где $V_{\text{лин}}$ - линейная скорость вращения, м/с; $V_{\text{вет}}$ - скорость ветра, м/с.

Модель генератора описывается следующей системой уравнений в осях q и d, связанных с ротором [7]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q, \\ \frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_d} u_q - \frac{R}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q}, \\ T_e = 1,5p[\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q], \\ \frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{J} (T_e - F \omega_r - T_m), \\ \frac{d}{dt} \theta = \omega_r, \end{array} \right.$$

где L_q, L_d - индуктивности статора по осям q и d; R - сопротивление обмотки статора; i_q, i_d - проекции тока статора на оси q и d; U_q, U_d - проекции напряжения статора на оси q и d; ω_r - угловая частота вращения ротора; λ - магнитный поток постоянных магнитов, сцепленный с обмоткой статора; p - число пар полюсов; T_e - электромагнитный момент; J - суммарный момент инерции ротора и нагрузки; F - коэффициент трения; θ - угол положения ротора; T_m - момент сопротивления.

Предложенная модель ветрогенератора достаточно точно отражает работу установки и может быть использована при разработке и исследовании системы управления ВЭУ.

Литература

1. Ushakov. V.Y. Electric power engineering on the basis of renewable energy sources // Springer Verlag. - 2018. - P. 89-140.
2. Martyanov, A.S. Modelling of wind turbine performance measurement // Journal of Computational and Engineering Mathematics - 2014. - Vol. 1, 2. - P. 18-25.
3. Global Wind Energy Council. - <http://gwec.net>.
4. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. - Фрунзе.: «Илим», 1987.
5. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б., Муравлёв А.И. Энергоэффективные управляемые генераторы для ветроэлектростанций / Известия вузов. Сер. Электромеханика. - 2008. - №6. - с.63-66.
6. Кирпичникова, И.М. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках // Альтернативная энергетика и экология. - 2010. - № 1. -С. 93-97.
7. И.В.Черных Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / - М.: ДМК Пресс, СПб.: Питер, 2005. - 288 с.

*Представлена Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.336.2

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

И.Н. Баянов, Р.Ч. Каримов, Ж.М. Сапарбоев

Темир йўл контакт тармоғини лойиҳалаида иқлим шароитларини ҳисобга олиш барча электр таъминоти қурилмаларининг шамол, муз ва атроф-муҳит ҳарорати таъсирига чидамлилигини белгилайди. Бу электрлаштирилган участкада электр ҳаракатланувчи таркибнинг барқарор ишлашини таъминлаш учун ортиқча хавфсизлик чегарасисиз турли қурилмаларни танлашни белгилайди.

Учет климатических факторов при проектировании контактной сети железных дорог определяет стойкость всех устройств электроснабжения к воздействию ветра, гололеда и температуры окружающей среды. Это определяет выбор различных устройств без излишнего запаса прочности с обеспечением устойчивой работы электроподвижного состава на электрифицированом участке.

Consideration of climatic factors in the design of the railway contact network determines the resistance of all power supply devices to the effects of wind, ice and ambient temperature. This determines the choice of various devices without excessive safety margin to ensure stable operation of the electric rolling stock on the electrified section.

Одним из исходных данных проектирования и эксплуатации воздушных линий электропередач, расположенных на открытом воздухе, являются климатические факторы. Температура окружающего воздуха влияет на натяжение проводов, действующие на опорные и поддерживающие конструкции, а также на требования, предъявляемые к материалам по ломкости на холоде. Воздействие ветра и гололеда определяют расчетные горизонтальные и вертикальные нагрузки на подвешенные провода и элементы других подсистем контактных сетей и воздушных линий. Контактные сети и воздушные линии должны безотказно работать при любых атмосферных условиях, поэтому при расчетах необходимо учитывать наиболее опасные сочетания нагрузок и климатических условий, установленные действующими нормами и правилами. Любые отступления от правил должны быть обоснованы. Силы, действующие на провода контактной сети и воздушных линий, являются равномерно распределенными по длине линии. На провод, свободно подвешенный или входящий в какую-либо сложную систему, действуют вертикальные и горизонтальные нагрузки, к котрым относят нагрузки от силы гололедных образований, воздействие ветра на провод. При исследовании взаимодействия подвески и токоприемника рассматривают ветровую нагрузку под углом к горизонту. Натяжение провода при определенной температуре обусловлено совместным действием вертикальной и горизонтальной нагрузок, определяющим равнодействующую или результирующую нагрузку, равную геометрической сумме этих составляющих.

На провода действуют постоянные, временные и особые нагрузки. Это нагрузки от силы тяжести гололедных образований на проводах и конструкциях, давление ветра на них. Особые нагрузки создаются при обрыве проводов. Временные нагрузки учитываются при расчете, так как влияние их на натяжение проводов настолько значительно, что наибольшее число разрушений воздушных линий происходит при совпадении гололеда и ветра. Добавочные нагрузки распределяются неравномерно по длине провода, так как интенсивность гололеда и скорость ветра на различных участках неодинаковы. Учесть их довольно трудно и не представляется возможным, поэтому расчетная нагрузка является не наибольшей, а некоторой условной, принятой для расчета.

Климатические условия для расчета длин пролетов, проводов и конструкций контактной сети и воздушных линий определяют в зависимости от места расположения объекта в соответствии с картами районирования по интенсивности ветра и толщине гололедообразования. Их уточняют на основании результатов обработки материалов исследований скорости ветра, интенсивностью и плотностью гололедных отложений и температурой воздуха в зоне расположения сооружения.

При проектировании приходится сталкиваться со сложной и ответственной задачей выбора нагрузок и их сочетания. Задача упростится, если рекомендовать наибольшие значения нагрузок и наиболее неблагоприятное сочетание их и температуры. Однако такое решение приводит к необоснованному удорожанию проектируемого сооружения. Поэтому принимают в расчет только нормативные нагрузки и их сочетания, которые повторяются не реже чем через определенное число лет. Однако при этом в весьма редких случаях на отдельных линиях нагрузки и их сочетания могут выйти за пределы значений, принятых в расчетах и это приводит к аварийным ситуациям. Однако экономически такое решение оправдано, так как устранение редких аварийных повреждений некоторых сооружений будет выгоднее, чем установление излишних запасов прочности, вызывающих большие дополнительные денежные и материальные затраты.

Значение нагрузки и ее повторяемость, принимаемые при расчете зависят также от принципов построения методов расчета. Расчеты на прочность различных сооружений в течение длительного времени производили по методу допустимых напряжений. В основу этого метода положено предположение, что при действии на рассматриваемую конструкцию сил, принимаемых в расчете, напряжение в ее элементах не превосходит допустимое. Допустимое напряжение определяли как частное от деления предельного напряжения на выбранный коэффициент запаса прочности. В качестве предельного принимали временное сопротивление разрыву. Запасы прочности принимали не менее 4. С появлением новых материалов коэффициенты запаса прочности стали уменьшать. Ранее в качестве предельного напряжения для стали принимали предел текучести, так как по достижении его деформации начинает возрастать без увеличения нагрузки. Аналогично совершенствовались и методы расчета устойчивости опор в грунте. Наиболее приемлемым является метод расчета по предельным состояниям. Суть этого метода заключается в том, что расчет ведется не по эксплуатационному, а по предельному состоянию, при достижении которого уже невозможна эксплуатация сооружения. Особенностью метода явилось введение взамен одного общего нескольких коэффициентов запаса для учета перегрузки,

неоднородности материала и условий работы сооружения. Коэффициенты определяются статистическими методами. При невозможности определения коэффициентов расчет ведут по допустимым напряжениям. Провода, изоляторы и арматуру контактной сети и воздушных линий рассчитывают по допустимым напряжениям, а опорные, поддерживающие и другие строительные конструкции – по предельным состояниям. В расчете по предельным состояниям принимают расчетные нагрузки, получаемые умножением соответствующих нормативных нагрузок на коэффициенты перегрузки.

На проводах и конструкциях контактной сети отложение гололедных образований наблюдается обычно при неустойчивой погоде, когда оттепель сменяется похолоданием, в туманную погоду или при выпадении переохлажденного дождя. Гололед отлагается в основном при ветре со скоростью до 10-15, реже до 20-25 м/с. Когда провод примерно перпендикулярен направлению ветра, гололедные отложения образуются с наветренной стороны. Если ветер направлен вдоль провода, то гололед отлагается по всей поверхности с меньшей интенсивностью и плотностью. Плотность гололеда – случайная величина.

По форме гололеда чаще других встречается эллиптическая. Свободно подвешенный провод, особенно в больших пролетах, почти всегда закручивается этой эксцентричной нагрузкой. Угол закручивания провода возрастает по мере удаления от опорных точек. В результате закручивания провода меняется форма отложений гололеда. В цепной контактной подвеске закручиванию проводов при гололеде препятствует связь между несущим тросом и контактным проводом через струны. Наибольшие усилия в проводах возникают при совпадении гололедных нагрузок с ветровыми воздействиями и низкими температурами воздуха. А так как все эти явления имеют случайный характер, то для установления вероятности их совпадения необходимо знать продолжительность гололеда на проводах, которая колеблется в широких пределах - от нескольких часов до месяца.

Причиной ветра является перемещение воздушных масс из мест с большим давлением в места с уменьшенным, связанное с нагревом земной поверхности солнечным излучением. Структура воздушных течений зависит от их скорости. При малых скоростях эти течения параллельны. При увеличении скоростей возникают сложные вихревые движения которые определяются неровностями земной поверхности и различием температуры соседних масс воздуха. Скорости ветра являются случайными величинами и могут характеризоваться кривыми распределения. Когда на основании каких-либо источников получена средняя скорость ветра, то нужно иметь в виду, что скорость потока в отдельные моменты времени может ее превышать. Колебания скорости ветра характеризует коэффициент порывистости $K_{пор}$. Наблюдения показывают, что $K_{пор}$ уменьшается с увеличением средней скорости ветра (рис.1). Пульсации ветра вызывают дополнительную динамическую нагрузку на провода и опорные конструкции. Ранее контактные сети рассчитывали по средней скорости ветра без учета пульсации. В наших исследованиях учитываются влияния пульсаций ветра. К метеоданным о температуре, необходимым для расчетов, относятся максимальные и минимальные ее значения, измеренные при максимальном гололеде и ветре. Температура окружающего воздуха зависит от нагрева земной поверхности солнечным излучением. Изменения температуры в течение года и

суток определяются наклоном земной оси и вращением земного шара — годовой и суточный ход температуры.

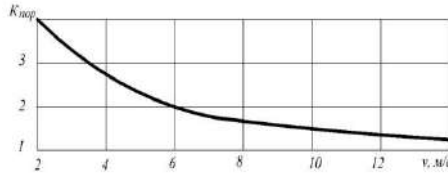


Рис.1 Зависимость коэффициента порывистости от средней скорости ветра

Климатические факторы воздействуют на условия работы контактной сети и воздушных линий и поэтому являются определяющими при расчете и выборе того или иного их параметра. Большое влияние оказывает совпадение таких факторов, как температура воздуха, гололедные образования и ветер. В результате обработки наблюдений установлено сочетание температуры образования и интенсивности гололедных отложений с наибольшей скоростью ветра при этом, а также сочетание температуры воздуха и ветра наибольшей интенсивности. Нашими наблюдениями установлено, что вероятность появления ветра и гололеда с ветром при других температурах мала.

Натяжение провода увеличивается при понижении его температуры и будет наибольший при низшей температуре. Образование гололеда на проводе (при -5°C) также увеличивает натяжение в нем. Поэтому для этих двух режимов и производят расчет провода на прочность. С повышением температуры увеличивается стрела провеса провода и уменьшается расстояние его до поверхности земли. К таким же последствиям приводят гололедные образования на проводе. Один из этих режимов берется расчетным.

Исследованиями установлено, что при ветре наибольшей скорости натяжение провода всегда меньше, чем при гололеде с ветром. Следовательно, этот режим не может быть принят для расчета прочности провода. Но по нему определяют наибольшее отклонение провода в горизонтальной плоскости. Наибольшее отклонение провода в горизонтальной плоскости может быть и при гололеде с ветром. При этом режиме скорость ветра меньше наибольшей, но воздушный поток давит на провод, покрытый гололедом. Один из этих режимов и принимается для расчета наибольших пролетов.

Литература

1. Ведомственные технические указания по проектированию контактной сети высокоскоростных железных дорог. ВСН-447-Н. Исполнитель Баянов И.Н. и др. Ташкент 2010. –134 с.
2. Ведомственные технические указания по производству и приемке строительных и монтажных работ при электрификации высокоскоростных железных дорог (устройства контактной сети). ВСН-446-Н. Исполнитель Баянов И.Н. и др. Ташкент 2010. –70с.
3. Ведомственные технические указания. Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент-Самарканд. ВСН-448-Н. Исполнитель Баянов И.Н. и др. Ташкент 2010. -61с.

Представлено Ташкентским государственным транспортным и техническим университетом

УДК 621.25:373.3.1

ЭЛЕКТРОФИЗИК УСУЛЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ УЗУМ
ҚАЛАМЧАСИДА ИЛДИЗ ҲОСИЛ БЎЛИШНИ ТЕЗЛАШТИРИШ ВА
ТУТУВЧАНЛИГИНИ ОШИРИШ

А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев

Мақолада узум қаламчаларидан кўчат етиштириш самарадорлигини оширишга хизмат қилувчи электрофизик усулларнинг имкониятлари ва электр майдон кучланганлигининг 71 В/м да 15 соат давомида ишлов берилган қора кишмиш навли узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёнини тезлаштириш ва илдиз отган кўчатларнинг яшавчанлиги, сифати, ўсиши ва тутувчанлигини 15-20% гача оширишга қаратилган тажриба натижалари ва узум қаламчаларига электротехнологик ишлов бериш усуллари келтирилган.

В статье обсуждаются возможности электрофизических методов повышения эффективности выращивания проростков из черенков винограда и ускорения корнеобразования черенков винограда сорт "Кishmish". Приведены результаты экспериментов по увеличению до 15-20% и способы электротехнической обработки черенков винограда, обработанных при напряженности электрического поля 71 В / м в течение 15 часов, рост и проницаемость укорененных проростков а также их жизнеспособности и качества.

The article discusses the possibilities of electrophysical methods for increasing the efficiency of growing seedlings from grape cuttings and accelerating the root formation of grape cuttings variety "Kishmish". The results of experiments to increase up to 15-20% and methods of electrical treatment of grape cuttings treated at an electric field strength of 71 V / m for 15 hours, the growth and permeability of rooted seedlings, as well as their viability and quality.

Кириш. Республикамизда узумчиликни ривожлантириш соҳасида кичик замонавий техника ва технологияларни амалиётда қўллаш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Бунга ёрқин мисол сифатида Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 28 июлдаги ПҚ-5200-сонли Президент Қарори ва Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 23 октябрдаги "Ўзбекистон Республикаси кишлоқ хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган [стратегиясини](#) тасдиқлаш тўғрисида"ги ПФ-5853-сон [Фармони](#) олиш мумкин. Фармонда мева-сабзавот ва узумчилик соҳасида юқори кўшилган қийматли маҳсулотлар ишлаб чиқариш, экспорт ҳажмини ошириш, фойдаланишдан чиққан ва лалми ерларни ўзлаштириш, пахта, ғалладан қисқартирилаётган майдонларга экспортбоп кишлоқ хўжалиги экинлари экишни кўпайтириш, шунингдек, боғ, узумзор ва иссиқхоналар имкониятларидан самарали фойдаланиш мақсадида мева-сабзавот ва узум маҳсулотлари етиштирувчиларни мева-сабзавот кластерларига бириктириш ишлари олиб борилмоқда. Узум чилик кластерларини ташкил қилишда яхши

ривожланган кўчатлар соғлом, тана, навда ва илдизларда ҳичқандай зарарланишларсиз етиштирилган ва турли касалликлардан ҳоли узум кўчатларига талаб ошади [1,2].

Узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёни ички ва ташқи омилларга боғлиқ бўлган мураккаб биологик жараён бўлиб, кўчатларни муваффақиятли етиштириш кўп жиҳатдан қаламчаларининг тикланиш қобилиятига боғлиқ. Узум қаламчаларида регенератсия жараёнларининг фаоллиги қанчалик баланд бўлса, кўчатларнинг тутувчанлиги ва сифати шунчалик яхши бўлади. Ток қаламчаларидан кўпайтирилганда бўлғуси органлар қутублик асосида, яъни қаламчанинг юқори томонида (юқори қутбидан) новдалар, пастки қисмидан (пастки қутбидан) илдиз ҳосил қилади [3,6,7,8,11].

Қаламчаларнинг яхши тутиб кетиши ва ривожланиши учун уларга ўтказишдан олдин ишлов берилади. Асосий мақсад экилган қаламчаларда илдиз ҳосил бўлишини тезлаштиришдир. Ҳеч қандай ишлов берилмай ўтказилган қаламчаларнинг бир қисми тутмаслиги, яна бир қисми дастлаб барг ва новда чиқариб кейин қуриб қолиши мумкин. Бунга сабаб, асосан илдизнинг ҳали яхши шаклланмаганлигидир. Қаламчаларнинг дастлабки ўсиши уларда ўтган йил тўпланган озик моддалар ва намлик ҳисобига бўлади. Илдиз ҳосил бўлиш билан янги новдаларнинг ўсиши ўртасидаги мутаносиблик бузилса, яъни илдиз кечроқ шаклланса қаламча қуриydi. Амалий тоқчиликда қаламчаларда илдиз ҳосил бўлишини тезлаштиришда механик, физиологик, кимёвий ва табиий жисмоний усуллардан фойдаланилади [3,6,7,8,10,11].

Бироқ ишлаб чиқариш шароитида ушбу усуллар ҳар доим ҳам қутилган самарани таъминлай олмайди. Бундан ташқари ўсиш регуляторлари одатда қимматга тушади ва маълум бир токсикликка эга ва агар қаламчаларни қайта ишлашда хавсизлик қоидаларига риоя қилинмаса инсон саломатлигига зарар етказиши мумкун [6,11].

Ҳозирги фаннинг ҳолати узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлишини тезлатишга қаратилган турли хил стимуляторлар, шу жумладан электромагнит майдон энергиясининг турли кўринишлари (электр майдони, электр токи, магнет майдони, электр разряди, электромагнит тўлқинлар, импульсли электромагнит майдони) нинг электрофизик таъсирлари ёрдамида бошқариш ва ўсимликлар ҳаётига фаол аралаштириш орқали уни тўғри йўналишга йўналтириш имкони мавжудлигини кўрсатмоқда [3,4,5,10,11].

Узум қаламчалари ва кўчатларига электромагнит майдон энергиясининг турли таъсирларини урганиш ва улардан узум кўчатларини етиштиришда фойдаланиш бўйича турли тажрибалар ва назарий билимлари интернет материаллари, адабиётлар ва патент маълумотларидан фойдаланган ҳолатда таҳлил қилинди [1...11].

Мамлакатимиздаги ва хорижий олимларнинг изланишлари, улар орасида В.Мичурина, А.Басов, И.Гунара, В.В.Пилугиной П.П.Радчевский, А.Г.Кудряков Б.Р.Лазаринко ва И.Бородинлар биологик объектларга, шу жумладан ўсимликлар дунёсига мансуб матириалларга тасир қилишнинг электрофизик усуллари бази ҳолларда нафақат миқдорий, балки бошқа усуллар ёрдамида эришиб, бўлмайдиган сифатли ижобий натижалар беришини аниқлади [1...11].

А.Г.Кудряков электр токи ёрдамида узум кўчатларига ишлов бериш орқали узум новдаларини илдиз отиш жараёнлари 14 В/м электр майдони ва 24

соатлик тасир қилинганда яхши натижаларга эришиш мумкунлигини аниқлади. Узум қаламчаларида илдизлар ҳосил бўлиш жараёнларини электрофизик усуллар ёрдамида амалга оширишда 50 Гц саноат частотали ўзгарувчан токдан фойдаланиш тавсия этилади ва уни кўчатларга суюқлик орқали этказиш йўқори натижалар бериши аниқланди. [6]

П.П.Радчевский баҳор ойида иккита тажриба олиб борди. Тажрибада битта назорат ва битта 0,01% гетероаксин эритмасига қўйилган ва тўртта вариантдаги бир ва икки кўзли узум қаламчаларига импульсли электромагнит майдонида ишлов берилди. Импульсли электромагнит майдонида 5-10 минут тасир қилинганда узум қаламчаларида илдиз отиш жараёнлари тезлашишини ва бу технологиялардан самарали фойдаланиш орқали яхши натижаларга эришиш мумкунлигини аниқлади. Шунини таъкидлаш лозимки импульсли электромагнит майдонида ишлов берилган узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёни 97,5-100 ни ташкил этди. Назоратдагига нисбатан олиб қараганда 5 минут (ИЭММ-5 минут) давомида импульсли электромагнит майдонида ишлов берилган узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёнлари 7,5-15% гача тезлашгани кузатилган [7]

Таҳлил қилинган олимларнинг ўтказган тажрибалар ва назарий билимлари шунини кўрсатадики ток қаламчаларининг илдиз отиши гарман актив кўзчаларининг маълум бир миқдорига боғлиқ бўлиши мумкун ва бу борада татқиқотлар олиб бориш кераклигини кўрсатди [1...11].

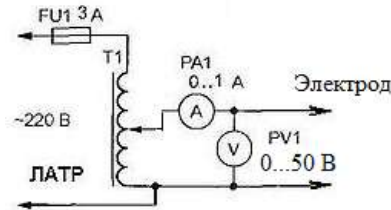
Ўрганиб чиқилган назарий билимларни ҳисобга олган ҳолда кичик тажриба ўтказилди. Татқиқотлар ТИҚХММИ нинг Электротехнологиялар ва электр жиҳозларидан фойдаланиш кафедрасида узумнинг қора кишмиш навининг икки кўзли қаламчаларида вигетатсия тажрибалари шаклида ўтказилди. Тажриба умумий қизитиладиган хонада амалга оширилди.

Тажриба учун қаламчалар баҳор ойида навдаларда сув оқими бошланмасдан олдин узимнинг қора кишмиш навидан тайёрланди ва қаламчалар узунлиги 20 см дан қилиб тайёрланиб, маҳсус ўраларда 9 апрел кунига қадар сақланди.

Тажрибада жами 390 та узум қаламчаларидан фойдаланилди. Электр токи ёрдамида ишлов берилган узум қаламчалари сони 375 та ва 15 та назорат учун қолдирилди. Тажрибада саноат частотали (50 Гц) ўзгарувчан токдан фойдаланилди. Тажрибада электр майдон кучланганлигининг 14, 37, 71, 94, 103 В/м да ишлов берилди. Қаламчаларга ишлов бериш вақтилари 4, 8, 12, 15, 24 соатни ташкил қилди.

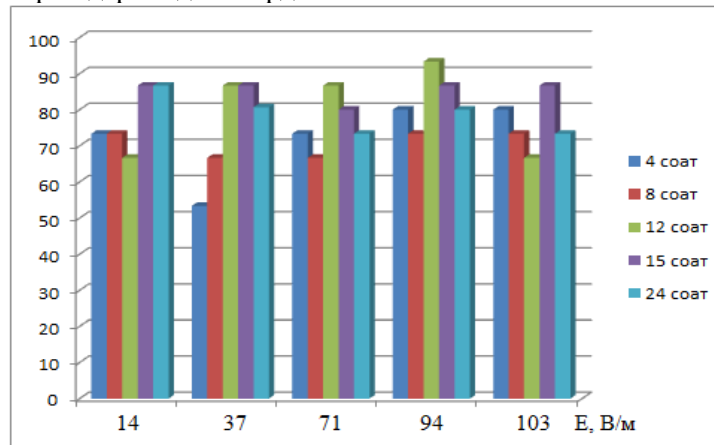
Ишлов берилган узум қаламчалари (375 та қаламча) 300 грамми идишларга 10 апрел кунини экилди. Шунини таъкидлаш лозимки қаламчаларнинг барчаси битта узумнинг пишган бир йиллик навдаларидан тайёрланди. Қаламчаларга электр ишлов беришда ускунаси 3,8 литерли пластмасса идиш (контейнер) лардан фойдаланилди. Электротехнологик ишлов бериш қурулмасида жойлашган электродлар зангламайдиган матириалдан тайёрланган бўлиб, электродлар эни 7 см, узунлиги 16 см ва улар орасидаги масофа 25 см ни ташкил қилди.

Ўтказилган кичик тажриба ва олиб борилган таҳлиллар натижасида шу нарсалар маълум бўлдики узум кўчатларига электр токи ёрдамида таъсир кўрсатилса кўчатнинг актив гарманол ҳолатига таъсир кўрсатмайди ва ўсимлик тўқималари фақат электр майдон кучининг паст даражаларида фаол ўтказувчанликка эга эканлиги аниқланди [4,5,6].



1-расм. Узум қаламчаларига электр ишлов беришда қўлланилган усқунани принципаал электр схемаси

Узум қаламчаларига экишдан олдин электр токида ишлов бериш қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш жараёнларини сезиларли даражада оширади ва қаламчаларнинг тутувчанлиги ошади бу эса кўчатларнинг ривожланиш даражаларини сезиларли даражада оширди.



2-расм. Узум қаламчалари тутувчанлик даражасини электр майдон кучланганлиги ва ишлов бериш вақтига боғлиқлиги

Электр токи ёрдамида узум қаламчаларига ишлов бериш орқали илдиз отиш жараёнлари 71 В/м электр майдони кучланганлиги ва 15 соатлик тасир қилинганда энг юқори натижаларни кўрсатди ва қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш жараёни 93,33% ни ташкил этди.

Ишлов бериш вақти 4 соатни ташкил этганда 14,37 В/м электр майдони кучланганлигида ишлов берилганда узум қаламчаларининг тутувчанлиги 73,33% га, 71 В/м электр майдони кучланганлигида эса 66,66% га, 94 ва 103 В/м электр майдони кучланганлигида 86,66% га тенг бўлди. Ўртача тутувчанлик 4 соатли ишлов беришда 77,33% ни ташкил этди бу назорат вариантыга нисбатан 2,67% га кам эканлигини кўрсатди.

Иккинчи ишлов бериш вақти 8 соатни ташкил этганда 14 В/м электр майдони кучланганлигида ишлов берилганда узум қаламчаларининг тутувчанлиги 53,33% га, 37 В/м электр майдони кучланганлигида эса 66,66% га, 71 ва 94 В/м электр майдони кучланганлигида 86,66% га, 103 В/м электр майдони кучланганлигида 80,66% га тенг бўлди. Ўртача тутувчанлик 8 соатли ишлов беришда 74,79% ни ташкил этди (назорат вариантыга нисбатан 5,21% га кам).

Учунчи ишлов бериш вақти 12 соатни ташкил этганда 14 В/м электр майдони кучланганлигида ишлов берилганда узум қаламчаларининг тутувчанлиги 73,33% га, 37 В/м электр майдони кучланганлигида эса 66,66% га, 71 В/м электр майдони кучланганлигида 86,66% га, 94 В/м электр майдони кучланганлигида 80% га, 103 В/м электр майдони кучланганлигида 73,33% га тенг бўлди. Ўртача тутувчанлик 12 соатли ишлов беришда 75,99% ни ташкил этди (назорат вариантыга нисбатан 4,01% га кам).

Ишлов бериш вақти 15 соатни ташкил этганда 14 В/м электр майдони кучланганлигида ишлов берилганда узум қаламчаларининг тутувчанлиги 80% га, 37 В/м электр майдони кучланганлигида эса 73,33% га, 71 В/м электр майдони кучланганлигида 93,33% га, 94 В/м электр майдони кучланганлигида 86,66% га, 103 В/м электр майдони кучланганлигида 80% га тенг бўлди. Ўртача тутувчанлик 15 соатли ишлов беришда 82,66% га тенг бўлди. Назорат вариантыга нисбатан қаламчалар тутувчанлиги 2,66% га ошди.

Ишлов бериш вақти 24 соатни ташкил этганда 14 В/м электр майдони кучланганлигида ишлов берилганда узум қаламчаларининг тутувчанлиги 80% га, 37 В/м электр майдони кучланганлигида эса 73,33% га, 71 В/м электр майдони кучланганлигида 66,66% га, 94 В/м электр майдони кучланганлигида 86,66% га, 103 В/м электр майдони кучланганлигида 73,33% га тенг бўлди. Ўртача тутувчанлик 24 соатли ишлов беришда 75,99% га тенг бўлди. Назорат вариантыга нисбатан қаламчалар тутувчанлиги 4,01% га камайди.

Назорат вариантыда эса узум қаламчаларининг тутувчанлиги 80% ни ташкил этди ва назоратдагига нисбатан олиб қараганда 71 В/м электр майдон кучланганлигида 15 соат давомида (ўртача тутувчанлик 82,66%) ишлов берилган узум қаламчаларининг тутувчанлиги 20% га ошганлиги кузатилди. Демак тажрибада кузатилган натижалардан маълум бўлдики узум қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш орқали кўчатларнинг тутувчанлигини 2,66 бароворга ошириш имконини беради. Шундай экан узум қаламчаларни экишдан олдин электр ишлов беришга қаратилган қурулмани лойхалаш ва бу билан гектарлаб экиладиган (гектарига ўртача 125000 та қаламча) кўчатлар тутувчанлигини ошириш орқали юқори иқтисодий самарадорликка эришиш мумкинлигини кўрсатади.

Бугунги кунда ўсимликлар дунёсига мансуб, ўсимлик организмларининг ҳаётий жараёнларини бошқариш учун электротехнологик усулларни қўллашнинг катта истиқболларига қарамай, ушби усулларни узум қаламчаларидан кўчат етиштиришда қўллаш тўлиқ ўрганилмасдан қолмоқда. Электротехнологик усуллардан фойдаланиб, яхши ривожланган бир ва икки ёшли узум кўчатларини соғлом, тана, навда ва илдизларда ҳичқандай зарарланишларсиз етиштириш технологияларини (электрофизик факторлар ва энергетик параметрлар) асослаш айни вақтда қишлоқ хўжалиги учун жуда долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Хулосалар: 1. Узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёнларини электротехнологик усуллар ёрдамида амалга оширишда 50 Гц саноат частотали ўзгарувчан токдан фойдаланиш тавсия этилади ва уни узум қаламчаларига суяқлик орқали етказиш энг самарали технологиялардан биридир.

2. Тажриба синовлари шуни кўрсатдики узум қаламчаларига электрофизик таъсирлар ёрдамида ишлов бериш қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш жараён-

ларини сезиларли даражада тезлаштиради ва кўчатларининг тутувчанлигини оширади.

3. Қора кишмиш навли узум қаламчаларига электротехнологик ишлов бериш орқали 71 В/м электр майдони кучланганлиги ва 15 соатлик тасир қилинганда қаламчаларнинг тутувчанлик даражаси 93,33% ни ташкил этиб, назорат вариантыга нисбатан қаламчалар тутувчанлиги 2,66% га ошганлигини кўрсатди.

4. Назоратдагига нисбатан олиб қаралганда электр токида ишлов берилган узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёнлари 15-18% гача тезлашгани кузатилди.

5. Электромагнит майдон энергияси таъсирини суюқ, қаттиқ ва газсимон ҳолатдаги электр ўтказувчан диэлектрик ва изолятсион материалларга, хусусан биологик маҳсулотларга таъсирини ўрганиш, улардан қишлоқ хўжалик маҳсулотлари ишлаб чиқариш (мевали дарахтлар ва узум, олма, анор кўчатларини етиштириш) агротехник жараёнларининг энергетик самарадорлигини оширишда фойдаланиш мумкин деган хулосага келиш мумкин.

6. Ўрганиб чиқилган татқиқотлардан шу нарса маълум бўлдики электромагнит майдон энергиясининг турли кўринишларидан ўсимликлар дунёсига мансуб, қишлоқ хўжалик маҳсулотлари яни узум қаламчаларини экишдан олдин электрофизик ишлов бериш ижобий натижалар бериши ва қаламчалар тутувчанлигини (17-20% гача) ошириши мумкинлигини кўрсатди.

Адабиётлар

1. Мирзиёев.Ш ПҚ-5200-сон. “Узумчиликни ривожлантиришда кластер тизимини жорий этиш, соҳага илғор технологияларни жалб қилишни давлат томонидан қўллаб-қувватлашнинг кўшимча чора-тадбирлари тўғрисида”. Президент Қарори. –Тошкент, 2021 28 июл.

2. Мирзиёев.Ш ПФ-5853-сон. “Ўзбекистон Республикаси қишлоқ хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган [стратегиясини](#) тасдиқлаш тўғрисида” Президент Фармони. –Тошкент, 2019 23 октябр.

3. Н.М.Маркаев, Ў.Ҳоликназаров, Ш.Юсупов “Электромагнит майдон энергиясидан электротехнологик мақсадларда фойдаланиш имкониятлари” Ўзбекистон Қишлоқ ва сув хўжалиги жўрнали Махсус сони 2019. 2019 йил 11 ноябрь. 50-51 бет

4. Н.М.Маркаев, Ш.Юсупов, Б.Хушбоқов Ш.Раҳмонов. Узум кўчатларини илдиз отиш жараёнини авжлантиришда электротехнологик усуллардан фойдаланиш. Агро Илм жўрнали Махсус сони [70], 2020. 2020 йил 23 ноябрь.41-42 бетлар.

5. Т.Байзаков, Н.Маркаев, Ш.Юсупов. Изучение воздействия энергии электромагнитного поля на соответствующие виды растительного мира и обоснование возможности применения их в технологических целях. Ўзбекгидроэнергетика журналы Ш (7) 7.10.2020.

6. Кудряков А.Г. Стимуляция корнеобразования черенков винограда электрическим полем: Автор. Дисс. канд. техн. наук.- Краснодар, 1999. - 23 с.

7. П.Р.Пантелеевич. Влияние радикаса плюс на регенерационные свойства черенков винограда сорта молдова в зависимости от их длины. Научный журнал КубГАУ, №104(10), 2014 года

8. Ш.Темуров. Узумчилик. Тошкент-2002 йил, 200 бет.
9. И.Бакҳадиров, Г.Асланов, Р.Танаров, Н.Маркаев. Differentiated tariffs of electricity for the improvement of steelmaking Uzbekistan. International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering CONMECHYDRO-2020 October 19-26, 2020.
10. Н.М.Маркаев. Ток қўчатларини етиштиришда электрофизик усуллардан самарали фойдаланиш. “Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари” мавзусида республика миқёсида илмий-техникавий анжуман илмий ишлар тўплами. 18.12.2020 йил ТошДТУ 185-186 бет
11. Berdishev A S., Markaev NM., Hasanov J. Effects of electrophysical processing on the development of vine root roots. E3S WoS. 264, 04090 (2021).

*Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш
муҳандислари институти томонидан тақдим этилган.*

УДК 66.045.1

ВНЕДРЕНИЕ КОМПАКТНОЙ И СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ш.С. Санаев

Hozirgi vaqtda gradirniyalar bilan ishlaydigan sovutish tizimlari juda keng tarqalgan (70% gacha). Ularda suv ko'p marta takroran ishlatiladi, lekin suvning bir qismi bug'langanda yo'qoladi va shuning uchun tizimni muntazam ravishda toza suv bilan taminlab turish kerak bo'ladi. Gradirniyalar aylanma suv qisman bug'lanish va konveksiya yo'li bilan, ya'ni havo bilan issiqlik almashinuvi tufayli haroratni pasaytiradi.

V nastoyacee vremya naibol'shее rasprostraneniye (do 70%) poluchili sistemy oborotnogo oxlazhdeniya (SOO) s gradirnyami. Voda v nix ispol'zuyetsya mnogokratno, no chasty vody teryaetsya pri isparenii, i poэтому необходимо регулярно подпитывать систему свежей водой. В градирнях или брызганных бассейнах оборотная вода снижает температуру за счет частичного испарения и конвекции, теплообмена с воздухом.

Currently, the most widespread (up to 70%) are reverse cooling systems (SOO) with cooling towers. The water in them is used repeatedly, but some of the water is lost during evaporation, and therefore it is necessary to regularly feed the system with fresh water. In cooling towers or splash pools, recycled water reduces the temperature due to partial evaporation and convection, heat exchange with air.

В градирнях часть оборотной (охлаждающей) воды теряется за счет капельного уноса ($R_{ун}=0.05-3.5\%$) и испарения ($R_{исп}=1-1.5\%$). При испарении возникает проблема повышения концентрации минеральных солей в оставшейся воде. Регулирование химического состава воды производится при «продувке», сбросе отработанной воды и добавлении свежей в несколько увеличенном объеме [1].

Основным параметром градирни является удельная величина расхода охлаждающей воды на 1 м^2 площади орошения. Основные конструктивные параметры градирен зависят от объема и температуры охлаждаемой воды и климатических факторов местности, прежде всего температуры и влажности в различные сезоны. Охлаждение технической воды в градирнях несколько усложняется летом, в наиболее жаркий период, но еще больше проблем возникает зимой в местностях с сильными морозами. В зимнее время существует опасность обмерзания градирни. Происходит это чаще всего месте соприкосновения морозного воздуха с небольшим количеством теплой воды. Для предотвращения обмерзания градирни следует обеспечивать равномерное распределение охлаждаемой воды по поверхности оросителя и следить за одинаковой плотностью орошения на отдельных участках.

Существуют конструктивные решения, исключаящие опасность обмерзания: это эжекторные градирни [2].

Вентиляторные градирни наиболее эффективны, обеспечивают качественное охлаждение воды, процесс охлаждения поддается регулировке. Недостаток заключается в том, что требуются существенные затраты электроэнергии. В башенных градирнях создается естественная тяга. Это экономичное решение, с точки зрения затрат электроэнергии, но оно связано со строительством больших сооружений. В эжекционные градирни воздушная тяга создается струей брызг, распыляемых с большой скоростью. Для создания воздушного потока используется не вентилятор, а водяной насос. Способ охлаждения энергозатратный, но он эффективен при охлаждении воды, имеющей очень высокую температуру (до 90°C).

Классификация по направлению течения сред (охлаждаемой воды и воздуха):

с противотоком (наибольший температурный перепад, наибольшее аэродинамическое сопротивление);

с перекрестным током (меньшее аэродинамическое сопротивление, меньше капельного уноса);

с попутным током (эжекционные градирни используют однонаправленное движение брызг воды и струи воздуха).

Градирня (нем. *gradieren* — сгущать соляной раствор; первоначально градирни служили для добычи соли выпариванием) агрегат для охлаждения теплоносителя в контуре оборотной системы водоснабжения промышленного, технологического, холодильного или других видов оборудования.

На рис. 1 представлена принципиальная схема отвода тепла с использованием градирни в составе оборотной системы.

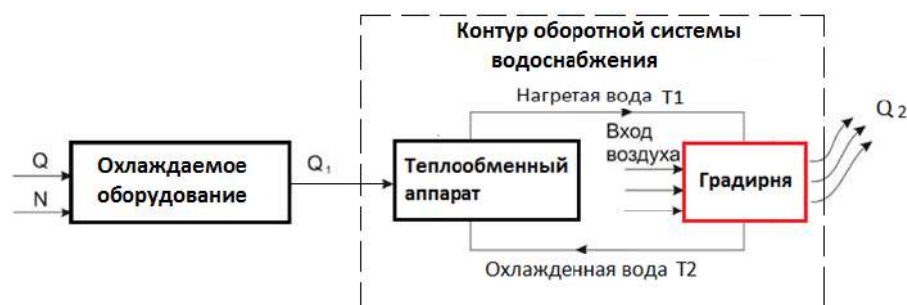


Рис.1.

При работе оборудования, часть потребляемой энергии (N, Q) преобразуется в тепловую энергию. В целях обеспечения и сохранения работоспособности оборудования в заданных параметрах, для отвода тепла (Q_1) может применяться система оборотного водоснабжения. Градирни являются частью контура системы оборотного водоснабжения и обеспечивают отвод и рассеивание тепла (Q_2) в окружающую среду.

Классификация градирен: На рис. 2 представлена классификация градирен по принципу охлаждения, конструктивным особенностям и способу размещения. По принципу охлаждения градирни могут быть испарительного типа (мокрые) или радиаторные (сухие). В зависимости от типа градирни схема охлаждения может быть *открытой или закрытой*.



Рис. 2.

В открытых схемах охлаждения применяются испарительные (мокрые) градирни, в закрытых схемах - радиаторные (сухие) градирни (рис.3 а,б). Сухие закрытые градирни также носят название *драйкулеры* (англ.dry cooler- сухой охладитель).



а) Испарительная (мокрая) градирня



б) Сухая градирня (Драйкулер)

Рис. 3.

Схема и принцип работы компактных градирни: В открытых испарительных градирнях охлаждение воды в контуре происходит за счет испарения части воды и отдачи тепла более холодному воздушному потоку. Нагретая вода через водораспределительную систему подается в градирню и распыляется через форсунки. Далее, вода тонкой пленкой стекает вниз по ячеистой структуре каналов оросителя. Вдоль каналов оросителя, в противоположном направлении, движется поток воздуха. Так как расход воздуха большой, то вода частично

испаряется, вследствие этого, оставшая ее часть охлаждается. При испарении 1% воды температура ее оставшейся части снижается примерно на 6 К. При этом часть воды испаряется, часть уносится воздушным потоком. Доля испаряемой воды составляет в пределах 1,5-2%, поэтому для восполнения требуется ее подпитка. Охлажденная вода стекает в поддон, и оттуда с помощью насоса подается в конденсатор холодильной машины (чиллера) или в охлаждаемый модуль технологического оборудования.

Движение воздушного потока в градирне принудительное и создается осевым вентилятором. Вентилятор всасывает воздух в нижней части градирни с нескольких сторон, а затем выбрасывает его вверх. Если градирня оросительная, то его направление может быть противоточным или перпендикулярным по отношению к направлению потока воды. В качестве теплоносителя в градирнях открытого типа может применяться только вода. На рис. 4 представлена схема охлаждения воды в компактных градирне.

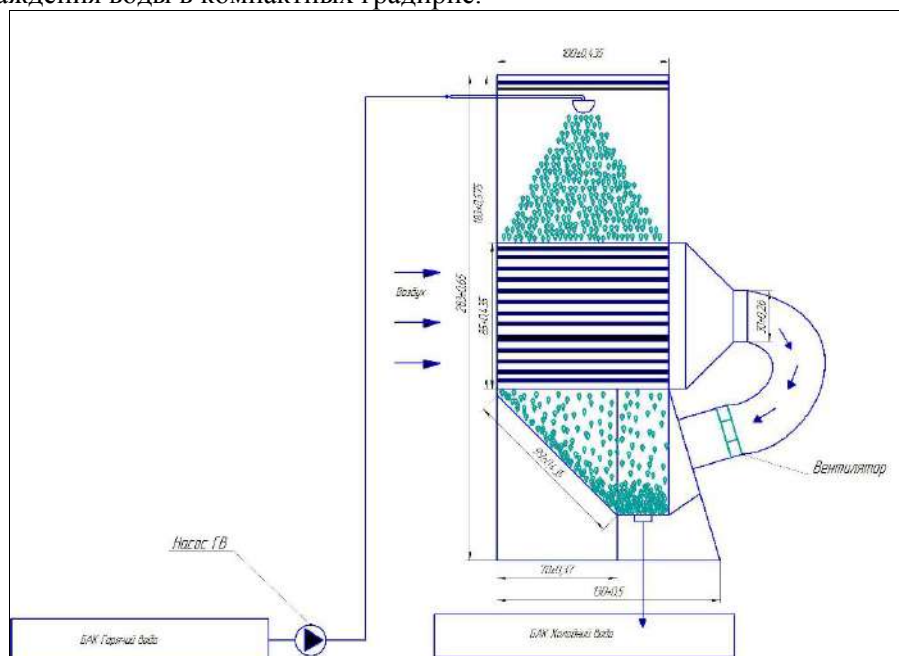


Рис. 4.

Градирня вентиляторная компактная: Градирни имеют прямоугольную форму с нижним боковым расположением вентиляторов. Градирни с ГРД-4 по ГРД-16 (см. рис.4) состоят из неразъемного корпуса 1, вентилятора с электроприводом 2, бака для слива охлажденной воды 3, расположенного в нижней части корпуса 1, оросителя 4, каплеуловителя 5, водораспределительного коллектора с форсунками 6, входного 7 и выходного (сливного) 8 водяных патрубков. Корпус градирни выполнен либо из нержавеющей стали (ГРД-...Н), либо из углеродистой стали с покраской (ГРД-...У). Вентилятор в обоих вариантах окрашенный из углеродистой стали. Водораспределительный коллектор (трубы), рама из углеродистой стали. Ороситель 4 и каплеотделитель 5 представляют собой пакеты гофрированных листов ПВХ толщиной 0,3-0,4 мм. Листы имеют косую гофру.

Пакет каплеуловителя имеет толщину (в направлении потока воздуха) не менее 75 мм, ширина пакета 140 мм. Пакеты оросителя укладываются на решетку внутри градирни над баком в один или в два слоя. Пакеты каплеуловителя укладываются на решетку, приваренную к водораспределительному коллектору между трубами коллектора и стенками корпуса. Охлаждаемая вода подается под давлением через входной патрубок 7 в водораспределительный коллектор 6 и распыляется цельнофакельными форсунками с углом распыла 120° на верхний - 3- торец пакета оросителя. Пройдя по каналам оросителя в виде пленки, вода струями стекает в бак. Воздух из окружающей среды подается вентилятором 2 непосредственно в пространство под оросителем, проходит по каналам оросителя навстречу водяной пленке и через каплеуловитель 5 покидает градирню. Испарительное охлаждение воды происходит, главным образом, в каналах оросителя при противотоке воздуха и водяной пленки. Дополнительное охлаждение имеет место в баке и в пространстве между верхним срезом оросителя и форсунками. В жаркое время года при относительной влажности 50-60% минимальная температура охлажденной воды после градирни выше температуры "мокрого" термометра на 3-4°С. Для предотвращения значительного капельного уноса воды служит эффективный каплеуловитель 5. Затраты воды на испарение вместе с потерями через каплеуловитель (самые мелкие капли) составляет около 1% от расхода воды. Давление воды перед форсунками согласно расходной характеристике на рис. 4 должно быть предусмотрено проектом системы водоснабжения.

Выводы. Системы охлаждения являются важными компонентами тепловых и атомных электростанций. Градирни, в которых осуществляется конденсация пара и понижение температуры технической воды, имеют различные конструкции, соответственно различаются их эффективность, экономичность, соответствие экологическим требованиям.

Литература

1. Берман Л.Д. Испарительные градирни: современные конструкции и преимущества реконструкции // - М.: Энергетик, 2000. Спец. выпуск. - С. 15-21.
2. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды // - М.: Госэнергоиздат, 1957. - С. 320.
3. Бондарь Ю.Ф. Оптимизация водно-химического режима оборотных систем техводоснабжения с градирнями паротурбинных ТЭС // Электрические станции. 1991. - №11. - С. 29-32.
4. Бондарь Ю.Ф., Гронский Р.К. Методические указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилендифосфоновой кислотой РД 34.22.503-89. - М.: Изд-во ВТИ, 1989. - С. 24.
5. В. Болдырев, "Сухие" градирни на тепловых и атомных электростанциях как средство снижения антропогенных выбросов <http://www.promved.ru/articles/article.phtml?id=1412&nomer=50>
6. Сабо З. Прогрессивная система непрямого сухого охлаждения // Энергетик. Специальный выпуск. 2000. - С. 8-12.
7. Горбачев А.И., Кондратьева Т.Р., Казинци И. Экологические предпосылки применения воздушно-конденсационных установок // Энергетик.

Специальный выпуск. 2000. С.22-24.

8. Федяев В., Моренко И.В., Богаткин В.И. О расчете теплотехнических характеристик комбинированных градирен // Труды Академэнерго. -2011.-№2.- С. 89-99.

9. Муртазаев К.М., Мухиддинов Д.Н. «Стенд для экспериментального исследования испарительного охлаждения воды в градирне» // Международная научная конференция. Инновация-2011. Сборник научных статей. Ташкент, 2011, 25-27 октября, С.140-141.

10. Муртазаев К.М., Мухиддинов Д.Н., Мухиддинова Я.Д.Ороситель градирни. Полезные модель Республики Узбекистан № FAP 2014

11. Mukhidinov D.N., Murtazayev K.M., Mukhidinova Y.D. Experimental analysis of heat-mass-exchange progresses of irrigators cooling stack // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.–Indy Vol. 4, Issue 2, February 2017.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ВОДОПОДЪЕМНЫМИ АГРЕГАТАМИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ
«РАМАДАН»**

И.А. Абдуллабеков, Р.К. Дусматов, А.А. Бокижонов

Мақолада «Рамадан» насос станциясининг сув кўтарувчи насос агрегатларини энергия самарадор бошқариши тзимини яратishi масалалари кўриб чиқилган. Насос станциясининг умумий ва ўз босим қувурларига ишловчи насос агрегатларини автоматик бошқариши тизимлари келтирилган. Умумий босим қувурига ишловчи насос агрегатларини босим бўйича тескари боғланиши қўллаб, битта частота ўзгартгич ёрдамида кетма кет ишга тушириши кўриб чиқилган. Ўз босим қувурига ишловчи насос агрегатлари эса сув сарфи бўйича бошқарилиши таклиф этилган.

В статье рассматриваются вопросы создания энергоэффективной системы управления насосными агрегатами насосной станции «Рамадан». Приведены системы автоматического управления насосными агрегатами, работающими на общих и собственных напорных трубопроводах насосной станции. Рассмотрен последовательный пуск насосных агрегатов, работающих на общем напорном трубопроводе, с использованием одного частотного преобразователя с обратной связью по давлению. Насосные агрегаты, работающие на собственном напорном трубопроводе, предлагается управлять по расходу воды.

The article discusses the issues of creating an energy-efficient control system of pumping units of the pumping station "Ramadan". The automatic control systems of the pump units operating on the general and own pressure pipes of the pump station are given. Sequential start-up of pumping units operating on a common pressure pipe using a single frequency converter using pressure feedback is considered. Pumping units operating on their own pressure line are proposed to be controlled by water consumption.

Важное место в экономическом комплексе Республики Узбекистан отводится машинному орошению, осуществляемому посредством водоподъемных насосных станций (НС). Эффективность функционирования гидросиловых насосных установок (НУ) систем машинного водоподъема (СМВ), а следовательно, и НС в целом в значительной степени определяется качеством регулирования и управления технологическими процессами водоподачи с осуществлением водно-энергосберегающих технологий. Это связано с тем, что современные технологические НУ СМВ представляют собой энергоемкие, многорежимные, сложные в структурном и параметрическом отношении гидросиловые электромеханические объекты, характеризующиеся напряженными и взаимосвязанными условиями протекающих в них процессов.

Поэтому управление насосными станциями с целью достижения энерго- и ресурсосберегающих режимов за счет применения средств автоматизированного электропривода при условии обеспечения требований технологического процесса водоподдачи является насущной проблемой, решение которой позволит сэкономить существенное количество электроэнергии и оросительной воды.

В настоящее время управление режимами функционирования НС СМВ осуществляется, как правило, диспетчерской службой и дежурным персоналом НС путем принятия решений по изменению числа работающих насосных агрегатов (НА) в составе НУ, обеспечивающих ступенчатое регулирование подаваемого расхода. Недостаточное совершенство управления технологическим процессом водоподъема приводит к необеспечению потребного графика водоподдачи НС и как следствие к необоснованному перерасходу электрической энергии и существенным потерям водных ресурсов на непроизводительные сбросы. В связи с этим разработана схема плавного запуска и энергоэффективного управления насосными агрегатами НС «Рамадан» за счет регулирования частоты вращения их приводных асинхронных двигателей,

Основным предназначением насосной станции «Рамадан» является поливное орошение сельскохозяйственных посевных и содовых культур, общей площадью порядка 2370 Га. Технология транспортировки воды заключается в том, что поливная вода по Чирчикско - Ахангаранской ирригационной оросительной системе и каналу Дамарик через перегораживающее сооружение поступает самотеком в подводящий канал насосной станции Рамадан шириной – 4,5 м, глубиной до 2 м и протяженностью 635 м, которая затем через мусор заградительное устройство непосредственно поступает в аванкамеру водозаборного сооружения насосной станции Рамадан длиной 20 м и глубиной до 3 м. Далее, поливная вода, предназначенная для целей орошения, забирается центробежными насосами водоподъемной насосной станцией Рамадан и по напорным трубопроводам подается в водовыпускное сооружение с последующим распределением по отводящим деривационным каналам.

На рис. 1. представлена технологическая схема подъема поливной воды насосной станции «Рамадан» для орошения посевных сельскохозяйственных культур.

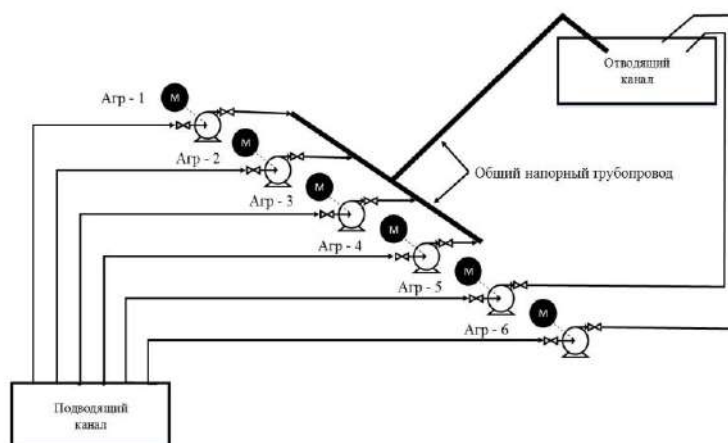


Рис. 1. Технологическая схема подъема поливной воды НС Рамадан

В машинном зале насосной станции «Рамадан» установлено шесть однотипных насосных агрегатов, четыре из которых работают в общий напорный трубопровод, а два других агрегата имеют свои отдельные индивидуальные напорные трубопроводы.

Установленная мощность станции составляет $P_{\Sigma}=3780$ кВт, производительность $Q_{\Sigma}=8,2$ м³/с, высота подъема воды $H_c=24$ м. При этом глубина канала составляет $H_{глуб}=2$ м.

Насосной станции «Рамадан» установлены шесть однотипных центробежных, горизонтальных насосных агрегата марки 5000Д-32 (24НДн) с производительностью (подачей) $Q=5000$ м³/час, развиваемым напором $H=32$ м, и приводным асинхронным двигателем типа А4-450 У-8УЗ мощность $P=630$ кВт напряжением $U=6$ кВ и скорость вращения $n=730$ с⁻¹.

Запуск АД насосных агрегатов осуществляется, прямым включением в питающую сеть от трансформатора ТМ-2500/35/6 через шкаф местного управления в следующей последовательности:

На первом этапе для обслуживания общего напорного трубопровода запускаются агрегаты А1 – А4;

На втором этапе в зависимости от соответствия уровня отводящего канала с суточным графиком водораспределения (рис. 1) запускаются резервные насосные агрегаты А5-А6.

Разработана система автоматического управления (САУ) насосной станции обеспечивающая стабильное поддержание постоянства требуемой величины устанавливаемого давления в ее магистральном напорном трубопроводе, а также как плавный пуск, так и регулирование частоты вращения приводных электродвигателей каждого из насосных агрегатов на ступенях по агрегатного регулирования ее водоподачи.

На рис. 2 представлены соответственно функциональная схема насосной станции, работающей с четырьмя насосными агрегатами в общую магистральную напорную сеть,

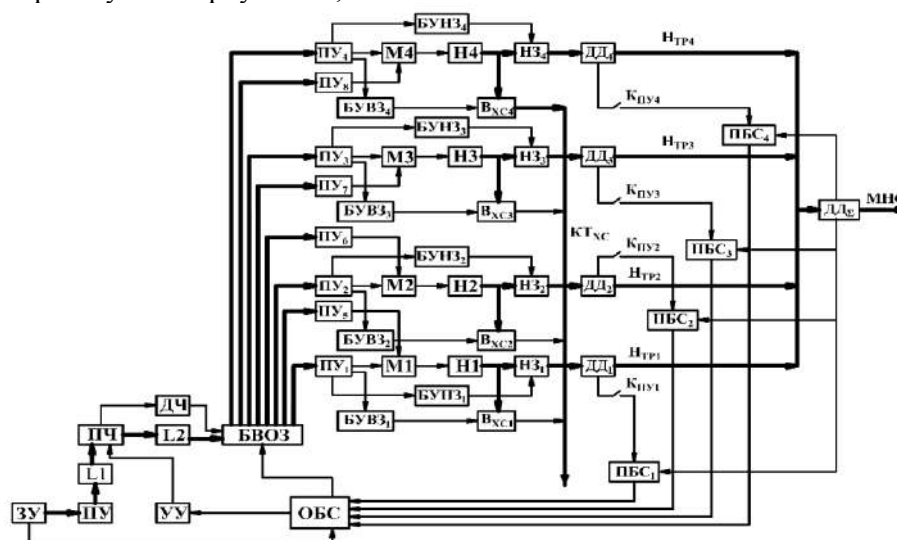


Рис.2. Блок схема устройства САУ насосной станцией работающей в общую напорную сеть

САУ технологическим процессом водоподачи НС функционирует следующим образом. Задающим устройством ЗУ устанавливается требуемая величина давления (напора $H_{зад}$), подлежащая постоянному поддержанию в магистральной напорной сети при случайно – вероятностном характере изменяющегося водопотребления из насосной станции, которая в соответствии с принятым конструктивным схемном исполнением рассматриваемой насосной станции (смотрите рис. 2.9.) фактически может определяться, в соответствии исходя из условия совместной параллельной работы трех насосных агрегатов функционирующих в номинальных режимах в соответствии с режимом максимального водопотребления, равного обслуживаемой ими системы (смотрите рис. 3а), где четвертый насосный агрегат, является выделенным в резерв.

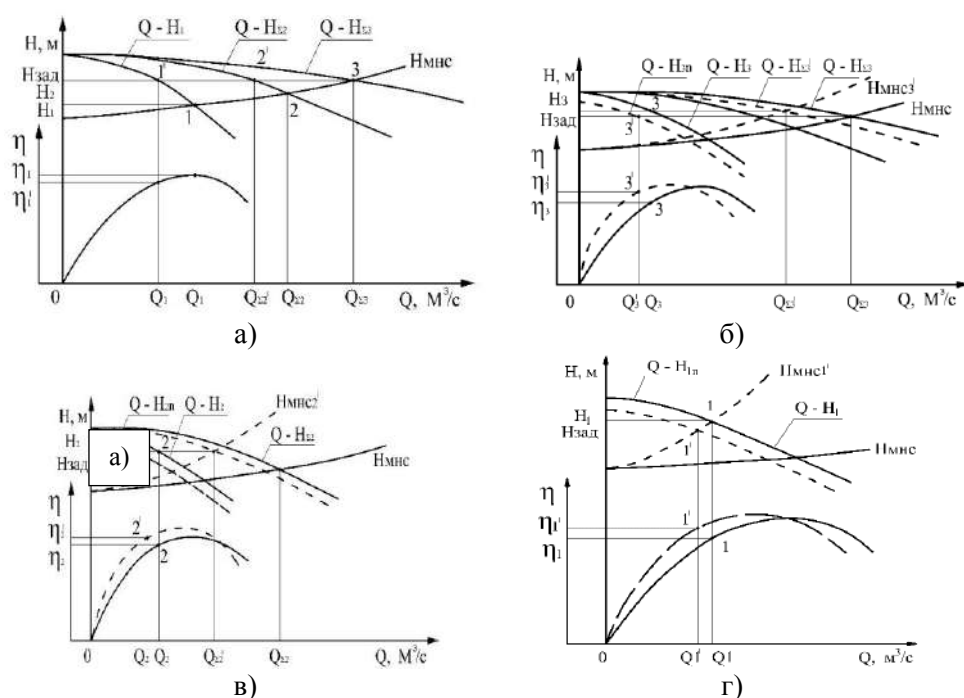


Рис.3. Характеристики режимов параллельной работы одинаковых насосов на общую напорную сеть насосной станции Рамадан

С момента ввода в работу задающего устройства ЗУ поступает команда на запуск пускового устройства ПУ (автоматический выключатель QF) преобразователя частоты ПЧ, к которому через реактор L1, защищающий преобразователь от коммутационных сверхтоков, поступает соответствующий сигнал подключения его в работу. Одновременно один из выходов ПУ посредством измерительного датчика частоты ДЧ, а другой через выходной реактор L2, ограничивающий емкостные выходные токи преобразователя и пики напряжений на электроприводах, подключаются к соответствующим входам блока БВОЗ выбора очередности запуска насосных агрегатов. При этом подключаясь, к пусковому устройству частотного регулирования ПУ₁ (магнитный контактор КМ1) один из выходов блока БВОЗ подает сигнал к началу

осуществления плавного частотного пуска ($f = \text{var Гц}$). В результате срабатывания ПУ₁ включается в работу электродвигатель М1 и начинает разгонять насос Н1 в режиме плавного частотного пуска. С целью обеспечения его облегченного пускового режима и выравнивания величины напора в коммуникационном нагнетательном трубопроводе с величиной давления в магистральной напорной сети, с некоторой выдержкой времени, на вход вентильной задвижки В_{ХС1}, находящейся в открытом состоянии в коммуникационной трубопроводной сети КТ_{ХС} холостого сброса воды, от блока управления вентильной задвижкой БУВЗ₁, поступает команда на закрытие В_{ХС1}. В это же самое время на вход напорной задвижки НЗ₁ через блок управления ею БУНЗ₁ от пускового устройства ПУ₁ поступает сигнал на открытие напорной задвижки НЗ₁, чем начинается, осуществляется подача воды насосом Н1 по подводящему коммуникационному нагнетательному трубопроводу Н_{ТР1} в магистральную напорную сеть МНС насосной станции.

Сигнал, пропорциональный величине развиваемого напора насосом Н1, от датчика давления ДД₁ через включившийся замыкающий контакт К_{ПУ1} поступает в промежуточный блок сравнения ПБС₁, от которого по завершении процесса сравнения с поступающим сигналом от датчика давления ДД_Σ установленного на магистральной напорной сети результирующий сигнал поступает в общий блок сравнения ОБС и далее от него на вход управляющего устройства УУ, который продолжает изменять частоту (f) преобразователя ПЧ и, как следствие, скорость вращения электродвигателя М1 насоса Н1, стремящегося обеспечить поддержание постоянства требуемой величины давления (напора) равной давлению воды в магистральной напорной сети МНС насосной станции на данной ступени поагрегатного регулирования ее производительности.

Однако, с завершением пускового режима и выхода насоса Н1 на номинальный режим работы, развиваемый им максимальный напор (давление), все же остается ниже установленной величины $H_1 < H_{\text{зад}}$ (смотрите рис. 3 а).

При этом вырабатываемый на данной первой ступени регулирования соответствующий сигнал с одного из выходов общего блока сравнения ОБС, поступая в блок БВОЗ очередности запуска, приводит в состояние готовности к осуществлению пускового режима одного из насосов Н2 – Н4. Одновременно сигнал равный сигналу задания с другого выхода ОБС, поступая через управляющее устройство УУ в преобразователь частоты ПЧ, приводит его в состояние готовности к плавному запуску очередного насосного агрегата, а также при этом сигнал от датчика ДЧ, фиксируя достижение значения частоты равного частоте питающей сети ($f=50$ Гц), способствует через блок БВОЗ отключению пускового устройства ПУ₁ (магнитный контактор КМ1) и тем самым выключению его замыкающего контакта К_{ПУ1}, а также одновременному последующему включению сетевого пускового устройства ПУ₅ (автоматический выключатель QF1) непосредственно подключающего к питающей сети приводной электродвигатель М1, продолжающий функционировать с номинальными энергетическими показателями. Аналогичным образом производится пуск и регулирования скорости вращения насосов Н2, Н3 и Н4. На рассматриваемой насосной станции постоянно в работе могут находиться один, два или три насосных агрегата, где четверти насосный агрегат является резервным.

установленная на напорном трубопроводе H_{TP1} , открывается по команде блока управления приводом напорной задвижки БУНЗ₁.

Таким образом, разработанная система автоматического управления технологическим процессом водоподдачи насосной станции систем машинного водоподъема путем плавного изменения производительности любого из функционирующих ее насосных агрегатов в результате осуществления их плавного пуска и регулирования скорости вращения приводных электродвигателей насосов позволит рационально использовать гидроэнергетические ресурсы за счет экономии оросительной воды на каждой из ступени поагрегатного регулирования и снизить удельный расход электрической энергии на единицу объема перекачиваемой воды.

Литература

1. Копырин В.С., Бородацкий Е.Г. Автоматизация насосной станции с применением частотно-регулируемого электропривода // Силовая электроника, 2006; № 2. С.20-23.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. - М: «АКАДЕМА», 2004. -280 с.
3. Кадыров А.А., Хамудханов М.М. Методы исследования и расчета энерго- ресурсосберегающих режимов работы водоподъемных насосных станций. - Т: «Янги аср авлоди», 2013. -120 с.
4. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. - М.: Машино-строение, 2013. -176 с.
5. Combinative Control Method of Centrifugal Pump Based on Variable Frequency Drive and Auto Back Flow Control Valve / W.G. Zhang, W.D. Yang, F.X. Dou, L.J. Wang // Petrochemical Equipment. –2016. – Vol. 45. – № 6. – P. 73–76. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7466.2016.06.016
6. Ke, L. Modeling and Simulation of Variable Frequency Pump Control Fatigue Test Machine / L. Ke, Y.C. Liu // International Journal of Engineering, Transactions A: Basics. 2016. Vol. 29. №1. P. 92–102.
7. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А., Хамудханова Н.Б. Заявка № IAP 2018 0529 №12(212) –Т: Ўзбекистон республикаси интеллектуал мулк агентлиги расмий ахборотнома, 2018. – 33-34 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.316.937

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИДАГИ МАШИНАЛИ СУҒОРИШ
ТИЗИМИНИ НАСОС СТАНЦИЯЛАРДАГИ НАСОС АГРЕГАТЛАРНИНГ
ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРНИНГ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИНИ
ОШИРИШ**

С. Холиқов, У. Боқижонов, Н. Икромов, А. Ниғмонов

Мақолада Ўзбекистон Республикасидаги машинали суғориш тизимидаги Қарши магистрал каналидаги катта қувватли насос станциялари насос агрегатларни синхрон двигателли электр юритмаларининг ҳамда ўрта қувватли “Қўйлиқ-5” насос станциялари насос агрегатларининг асинхрон двигателли электр юритмаларининг энергия самарадорлигини ошириш масалалари кўриб чиқилган.

В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности электроприводов насосных агрегатов насосных станции системы машинного орошения Республики Узбекистан, электроприводов с синхронным двигателем насосных агрегатов насосных станций с большой мощностью Каршинского магистрального канала и электроприводов с асинхронным двигателем насосных агрегатов насосной станции с средней мощностью “Куйлюк -5”.

The article considers the issues of increasing the energy efficiency of electric drives of pumping units of pumping stations of the machine irrigation system of the Republic of Uzbekistan, electric drives with synchronous motor of pumping units of pumping stations with a large capacity of the Karshyn main canal and electric drives with asynchronous motor of pumping units of the pumping station with an average capacity of "Kuylyuk - 5".

Ўзбекистон худуддаги машинали суғориш тизимидаги насос станциялари (МСТНС) энергияни истеъмол қилиш хажми бўйича энергия сифимли объектлардан биридир. МСТНС даги электр ускуналарнинг ўрнатилган қуввати 2700 минг кВт дан ортиғини ташкил этиб 8 млрд. кВт электр энергияси истеъмол қилиниб, республикадаги умумий электр энергиянинг 17% ни ташкил этади. Ҳозирги вақтда 1300 насос станция (НС) ва 9000 дан ортиқ суғоришга ишловчи вертикал дренажли қудуқлар ва шунингдек сув чиқариши 200 м³/с бўлган Қарши магистрал каналининг (ҚМК) 1-6-сонли каби йирик НС эксплуатация қилинмоқдалар [1].

ҚМК НСларида ОП11-260 (НС-1) ва ОП 10-260 (НС 2-6) русумли насослар ўрнатилган. Асосий насос агрегатларнинг (НА) юритмалар учун ВДС -375/130-24 русумли қувват бирлиги 12500 кВт бўлган синхрон электр двигателлар (СД) билан жиҳозланган ва улар қуйидаги номинал маълумотларга эгадирлар.

НС1-НС6 ларининг хар бирида хар бирида олтигадан НА ўрнатилган, улардан бештаси – ишчи ва биттаси – захирадир. НСдаги электр юритмалар ростланмайдиган бўлиб, НСнинг сув таъминлаш графиги бўйича талаб этилаёт сув хажмининг миқдори ишлаётган НА сонини ўзгартириш, яъни СДни

тармоқдан бевосита узиш ёки улаш йўли билан амалга оширилади. Бу эса сув бериш графигининг НСнинг имкониятидан 15-20 % фарқ қилишига олиб келади, электр энергиянинг ва суғориш сувнинг қўшимча сарфига олиб келади. Бундан ташқари СДларнинг тармоққа бевосита уланиши вақтида юз берадиган ўткинча жараёнидаги ўткинча статор токи I_c номинал қийматидан 4-5 баравар ошиб кетади ва бу эса қўшимча электр таъминот тармоғида қўшимча кувватни йўқотишга олиб келади ҳамда электр двигателнинг ва насоснинг техник ҳолатини ёмонлашига олиб келади.

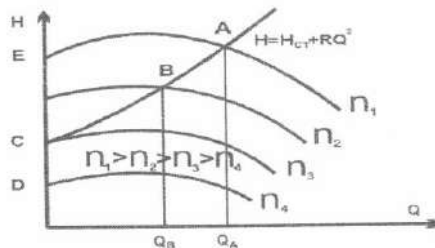
Двигател-нинг русуми	Кувват, кВт	Ток, А	Айланиш тезлиги айл/ мин	ФИК, %	Ротор		$\frac{I_{ИТ}}{I_H}$	$\frac{M_{ИТ}}{M_H}$
					Ток, А	Кучланиш, В		
ВДС - 375/130-24	12500	825	250	97.0	758	111	4,0	2,5

Насоснинг русуми	Сув бериш, м ³ /с	Напор, м	Айланиш тезлиги, айл/мин	ФИК, %
ОАВ 10-260	37,0	26,0	250	86
ОП11-260	40,0	19,3	250	86

Мақолада бундай салбий оқибатларни бартараф этиш мақсадида станциянинг сув таъминлаш графиги бўйича талаб этилаётган сув чиқариш ҳажмини таъминлаш мақсадида синхрон двигателларни сонини ўзгартирмасдан, яъни уларни тармоқдан ўзмасдан айланиш тезлигини ўзгартириш йўли билан сув чиқаришни ростлаш таклиф этилмоқда. Бунинг учун синхрон двигателнинг айланиш тезлигини частотавий ростлаш усули танлаб олиниб, синхрон двигателнинг тармоқ частотаси ўзгаргандаги момент – айланиш тезлиги тавсифлари қурилди. Маълумки СД нинг айланиш тезлиги билан тармоқ частотаси орасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Тармоқ частотаси камайганда $f_1 > f_2 > f_3 > f_4$ СДнинг айланиш тезлиги $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$ камайади ва мос равишда насоснинг унумдорлиги Q ҳам камайади (1-расм).



1-расм. Тармоқ частотасини ўзгартириш билан юритма двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартириш орқали насос қурилмасининг унумдорлигини ростлаш тавсифлари

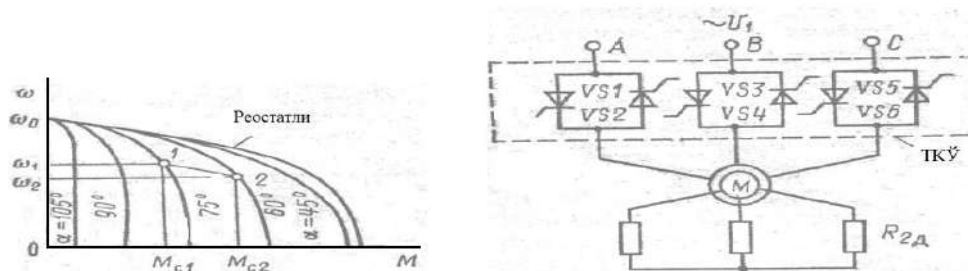
Бу қурилган тавсифлар асосда саноатда ишлаб чиқарилётган VD-P12500KUF531AS800ADC08 русумли частота ўзгартигичи танлаб олинди ва унинг техник маълумотлари жадвалда берилган:

**«ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ»
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК - 2021 г.**

Бундай частота ўзгартиргич ёрдамида синхрон двигателларни тармоқдан узмасдан туриб, уларнинг айланиш тезлигини ўзгартириб насос станциянинг талаб этилаётган сув беришни таъминлаш мумкин. Бу эса қўшимча энергия исрофини камайтиришга ҳамда электр энергиянинг сарфининг солиштирма меёрини камайтиришга олиб келади.

Кириш кучланиши, кВ	Тўлиқ қувват, кВА	Номинал чиқиш токи, А	Совутиш тури	Трансформатор қуввати, кВА	Оғирлиги, кг	Иссиқлик йўқотиши, кВт	Корпуснинг ўлчам тури
10	12000	800	хаволи	14000	42052	500	DC08

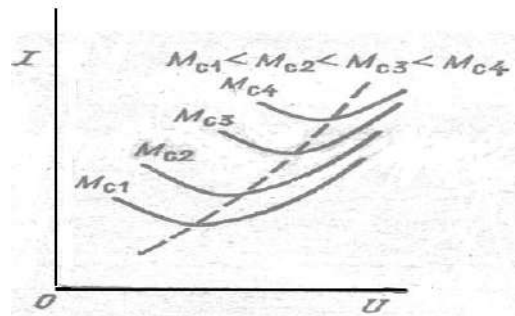
Маълумки республикада йирик НС билан бир қаторда ўрта ва кичик НС ҳам эксплуатация қилинмоқда ва уларнинг электр юритмаларида аксарияти асинхрон двигателлар (АД) ишлатилипти. Мисол тариқасида “Қўйлик-5” НСдаги НАда қуввати 250 кВт бўлган АД ишлатилиб, талаб этилаётган сув чиқариш хажми АДнинг номинал айланиш саклаб турган ҳолда сув чиқариш хажмини қувуридаги сурилма қопқокни очлишини ўзгартириб амалга оширилади. Бу эса қўшимча қувват йўқотишларни пайдо бўлишига олиб келади. Бундай салбий натижани бартараф этиш мақсадида сув чиқариш хажмини, сурилма қурилмани бутунлай очик ҳолида ёки ундан воз кечган ҳолда АДнинг тармоқдан статорга берилаётган кучланишини тиристорли кучланиш ўзгартиргич” (ТКЎ) ёрдамида ўзгартириш билан айланиш моментини, яъни айланиш тезлиги ўзгартирилади ва мос равишда насоснинг сув бериши Q ҳам ўзгаради (2-расм).



2-расм. ТКЎ – АД тизими: а) электр юритманинг схемаси; б) механик тавсифлар

Бундан ташқари 3-расмда кўрсатилгандек турли қаршилик моментларда статордаги кучланиш U камайганда ток I ҳам камайади. Расмдан кўриниб турибдики АДнинг хар бир юкласида (M_{c1} , M_{c2} , M_{c3} ва б.) шундай кучланиш борки унда унда АДнинг истеъмол токи минимал бўлади, яъни тармоқдан минимал қувват истемол қилинади.

Бундай қонуниятни қўллаш асинхрон двигател ва насос агрегатини энергия самарадорлигини оширади. Бундан ташқари ТКЎ ёрдамида АДни ишга тушириш, тормозлаш ва айланиш тезлигини, токни ҳамда моментни ростлашни амалга ошириш мумкин. Юқорида келтирилган тавсифларга асосан саноатда ишлаб чиқарилаётган ТКЎ танлаб олинди ва автоматлаштириган электр юритманинг схемаси ишлаб чиқилди.



3-расм. Турли хил юклама моментларида АД статор токининг кучланишга боғлиқда ўзгариши тавсифлари

Фойдаланилган адабиёт

1. Камалов Т.С. Частотнорегулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Отв.ред.Р.А.Захидов; Академия наук РУз, Инс-т энергетики и автоматики.-Ташкент: Фан,2014.-368 с.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган.*

УДК 621.311

ТАРИФНАЯ СИСТЕМА ОПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ КАК МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

А.А. Капанский, М.О. Узбеков, Б.Б. Бойназаров, А. Кодиров, М. Кобилов

Для энергосистемы Республики Беларусь и Республики Узбекистан равномерный график нагрузок является оптимальным, поскольку способствует сокращению потерь электроэнергии и снижению резервных мощностей электростанций [1,2]. Для потребителей электроэнергии экономическая эффективность определяется большим количеством факторов, в том числе режимом работы производства, характером индивидуальных и групповых электрических нагрузок, принятой тарифной системой и др. В зависимости от принятого тарифа величина оплаты за электроэнергию может существенно различаться, в связи с чем проведение исследований выбора экономически эффективного вида тарифа является актуальной задачей, позволяющей экономить значительные денежные средства как предприятию, так и энергосистеме.

На протяжении многих лет мы проводили исследования доли электрической энергии в структуре затрат производства. В зависимости от особенностей работы предприятия и от отрасли промышленности этот показатель существенно различался. Наибольшее значение наблюдалось в системе водоснабжения и канализации, где затраты на оплату электроэнергии достигали 25% (рис.1). Таким образом, предприятия с наибольшей долей электроэнергетики в структуре производства максимально заинтересованы в поиске методов снижения стоимости оплаты за электроэнергию.

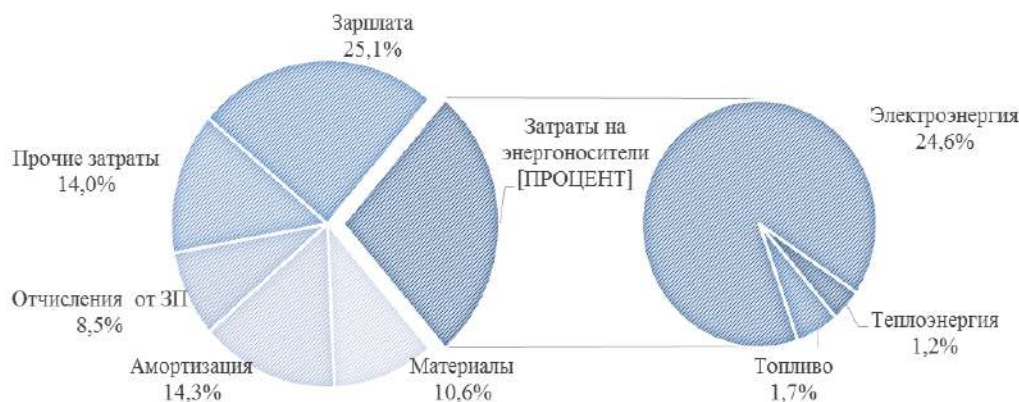


Рис. 1. Структура основных технико-экономических показателей типowego предприятия системы водоснабжения и канализации

Тарифная система служит экономическим стимулированием промышленных потребителей в выравнивании совмещенного графика электрической нагрузки. Система тарифов Республики Беларусь и Республики Узбекистан во многом схожа, однако имеет определенные отличия, некоторые из них

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

представлены в таблице 1. Основной особенностью отличающей тарифную систему Республики Беларусь является наличие статьи оплаты за электрическую мощность (основная ставка), в тоже время отличием в системе оплаты за электроэнергию в Республике Узбекистан является наличие скидок и надбавок к тарифам за компенсацию реактивной энергии.

Таблица 1

Краткий сравнительный анализ тарифной системы оплаты за электроэнергию Республики Беларусь и Республики Узбекистан

Наименование показателя	Республики Беларусь	Республики Узбекистан
Оплата за наибольшую совмещенную активную мощность, потребленную в часы максимальных нагрузок энергосистемы	Осуществляется	Не осуществляется
Скидки и надбавки к тарифу на электрическую энергию за компенсацию реактивной энергии	Не осуществляется	Осуществляется
Пиковый период	с 6 ⁰⁰ до 9 ⁰⁰ часов и с 17 ⁰⁰ до 22 ⁰⁰ часов	с 8 ⁰⁰ до 11 ⁰⁰ часов
Ночной период	с 22 ⁰⁰ до 06 ⁰⁰ часов	с 23 ⁰⁰ до 6 ⁰⁰ часов
Полупиковый период	с 9 ⁰⁰ до 17 ⁰⁰ часов	с 6 ⁰⁰ до 8 ⁰⁰ и с 11 ⁰⁰ до 23 ⁰⁰ часов

Отличием являются также используемые тарифные коэффициенты, корректирующие оплаты за электроэнергию по зонам суток:

- для Республики Узбекистан: оплата за электрическую энергию, использованную в часы максимума нагрузки единой электроэнергетической системы, осуществляется с применением повышающего коэффициента в размере 1,5 раза к установленному тарифу, а в часы минимальных нагрузок – с применением понижающего коэффициента в размере 1,5 раза к установленному тарифу и полупиковый период – по установленному тарифу;

- для Республики Беларусь тарифные коэффициенты определяются расчетным путем, их значения зависят от количества календарных дней в расчетном периоде (месяце) и корректируются в обязательном порядке в случае изменения соотношения между базовыми значениями ставок в декларации об уровне тарифов на электрическую энергию.

Интересной особенностью системы тарифов Республики Беларусь является наличие механизма планирования суточного электропотребления. В соответствии с инструкцией по применению тарифов потребитель Республики Беларусь должен так планировать суточные графики нагрузок, чтобы наибольшая потребленная активная мощность в вечерние часы максимальных нагрузок (с 18⁰⁰ до 21⁰⁰) энергосистемы не превышала наибольшей потребленной активной мощности в утренние часы максимальных нагрузок энергосистемы (с 8⁰⁰ до 11⁰⁰), в противном случае полная оплата за электрическую энергию не дифференцируется. Таким образом, потребители Республики Беларусь имеют больше маневра для регулирования электрической нагрузкой, управляя не только объемами электрической энергии в тарифных зонах, но и величиной наибольшей совме-

щенной активной мощности. Не смотря на плюсы такого механизма регулирования, по мнению авторов имеется важное упущение при составлении инструкции об оплате тарифов, связанное с тем, что сравнение максимумов нагрузок происходит за расчетный период, то есть сравниваются наибольшие получасовые максимумы утреннего и вечернего пика энергосистемы. Такой подход избавляет потребителя от ежесуточного контроля электропотребления, оставляя возможность увеличить нагрузку утреннего максимума в последний день расчетного периода.

Таким образом, ошибочно считать, что при внедрении системы АСКУЭ выбор тарифов с дифференцированием по зонам суток является оптимальным. Те исследования, которые мы провели за последние годы позволяют утверждать, что даже при многосменном производстве дифференциация оплаты может оказаться экономически не выгодной для предприятия. В связи с чем, для выбора оптимального тарифа оплаты за электроэнергию необходимо выполнение ежегодного мониторинга часового электропотребления. В таком случае предлагаемые требования, предъявляемые к аудиту системы энергоуправления должны включать в себя следующее:

- проведение исследования эффективности системы оплаты за электроэнергию на основании данных статистических наблюдений 30-и минутной дискретизации существующей системы автоматизированного учета электрической энергии, охватывающий длительный расчетный период;
- выполнение ежемесячной аналитики оплаты за электроэнергию в пределах расчетного периода календарного года;
- сравнение эффективности существующего тарифа оплаты за электроэнергию с альтернативными;
- заключение об экономической целесообразности смены тарифа по данным статистических наблюдений исследуемого периода.

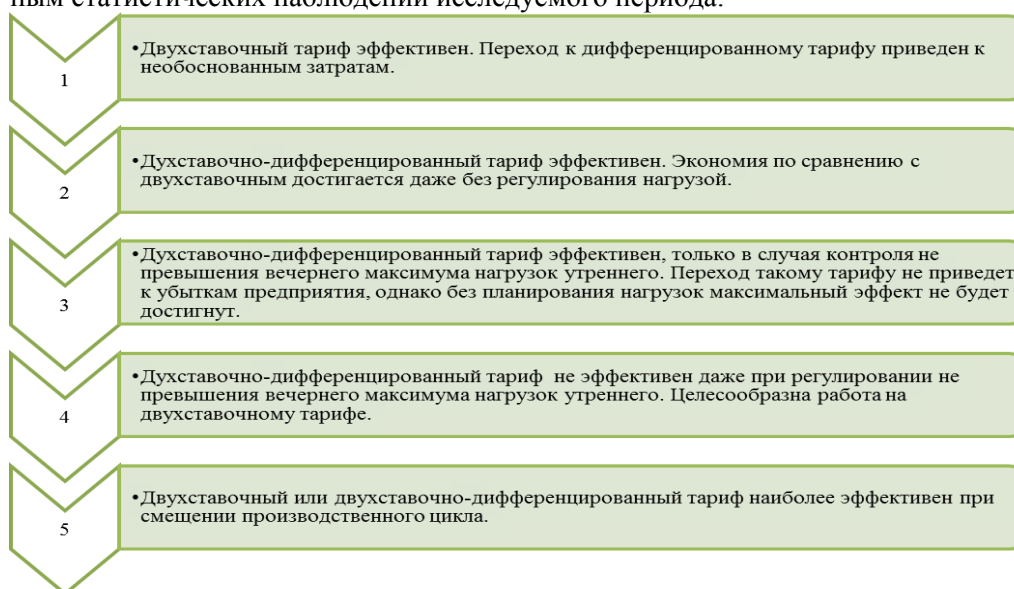


Рис. 2. Варианты принятия решения при выборе системы оплаты на примере тарифной системы Республики Беларусь

Стоит отметить, что анализ системы энергоуправления вкачает в себя работу с большим объемом данных, что требует определенной подготовки использования современных аналитических инструментов, в том числе углубленных знаний Microsoft Office Excel, Python и др. Комплексный анализ данных изменения электрической нагрузки включает в себя разработку энергетических балансов по производственной структуре, определение потребителей регуляторов, выявления возможностей регулирования электрической нагрузкой для повышения эффективности системы управления электроэнергией. Исходя из множества возможных сценариев принимается оптимальный (рис.2) как для потребителя, так и для энергосистемы.

Литература

1. Гура К.Ю. Выравнивание графика нагрузки и применение многотарифных электросчетчиков - реальный путь экономии энергоресурсов // Электрик. Межд. электротехнический журнал. 2010. № 1-2. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://electrician.com.ua/magazine/view793.html>
2. Шклярский Я.Э., Пирог С. Влияние графика нагрузки на потери в электрической сети предприятия //Записки Горного института. – 2016. – Т. 222.

Представлено Гомельским государственным техническим университетом и Ферганским политехническим институтом

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ГОДОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

