



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 3

2021

*Энергия ресурсларидан фойдаланиши
самарадорлигини ошириши учун мамлакатимиз
энергетика тизимини ислоҳ қилишимиз, бу
борада аниқ стратегия ишлаб чиқишимиш 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 ЁҚИЛГИ 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. ————— №3

ТОШКЕНТ - 2021

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

Акад. А.У.Салимов (раис), акад. Р.А.Захидов (раис ўринбосари), акад. Т.Х.Насиров,
акад. 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 мұхаррир:	акад. Аллаев К.Р.
Бош мұхаррир ўринбосари:	проф. Ситдиков Р.А.
Илмий котиб:	доц. Раҳмонов И.У.

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Т.Ш. Гайибов	Рос ФА мұхбир 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 Kreischer (Германия)

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

т.ф.д., проф. Р.П. Бобохаджаев	КР МФА акад. Б.К. Алияров (Қозогистон)
т.ф.д., проф. Ё.С. Аббосов	КР МФА акад. С.А. Кешуов (Қозогистон)
т.ф.д., проф. И.И. Садыков	т.ф.д., проф. Ж.С. Абдимуратов (Қозогистон)
PhD, доц. Ш.Ш. Абдумаликов	БелР МФА акад. А.А. Мехалевич (Белоруссия)

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

т.ф.д., проф. Ф.А. Хошимов	т.ф.д., проф. Н.Ш. Чемборисова (Россия)
т.ф.д., проф. Т.С. Камалов	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)

МҰҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

т.ф.д., проф. Г.Н. Узаков	PhD, проф. Kyubock Lee (Жанубий Корея)
т.ф.д., проф. Н.Р. Аvezova	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. Жагфаров (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 (Қозогистон)
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 күчаси, 2, ТошДТУ, ЭФ биноси,
220-хона. Тел. +99871-246-08-04; E-mail: tstu_energy@list.ru*

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Водород - келажак энергетикаси асоси.....	14
Т.Х. Насиров, О.В. Радионова, Ф.Б. Мухитдинова. Түлиқ бўлмаган фазали режимларни хисоблаш учун адаптив моделлар ва уларни истеъмолчиларга электр таъминотининг ишончилиги таҳлиллаш учун кўллаш.....	31
А.Н. Товбоев, М. Ибодуллаев, Т.Амиров. Феррорезонанс занжир вольт-ампер ва амплитуда-частотавий характеристикаларининг математик модели	44
А.Д. Таслимов, Ф.М. Рахимов, Ш.С. Самиев. Қишлоқ электр тармоғида кабель линясиининг оптималь куриши тенденцияси таҳдили	53
А. Маликов, Р. Узоков, З.У. Бойханов. Асинхрон мотор статор чулғамлари актив каршилиги ўзгаришини уч фазали ток ўзгартгичи чикиш сигналига таъсири.....	63
Ш.В. Хамидов , Б.Р. Нормуратов. Параллел курилмали facts технологиялари.....	72
А.Н. Расулов, М.Р. Рузиназаров. Уч фазали ферроресонансли ток стабилизаторлари...	83
Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков. Подстанциянинг ишончилигини аниқлаш ва хавфсизлигини баҳолаш масалалари.....	94
А.Ж. Есенбеков, М.Ибадуллаев, А.К.Нуралиев. Электр механик тизимларни математик моделлаштириш.....	103
Н.Н. Ниёзов. Электр энергияси истеъмоли параметрларини башоратлаш хатолигини камайтириш.....	119
Н.А. Халилов. Умумий ва бўлинган магнит ўтказгичли уч фазали электроферромагнит автопараметрик занжирларнинг асосий гармоникасида автопараметрик тебранишларнинг хусусиятлари.....	130
ИССИКЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
Д.Н.Мухиддинов, А.А. Бадалов, И.Б. Хайдаров, Д.А. Бадалова. Газларни қуруқ усулда тозалаш учун уюрмали чанг ушлагичлар.....	141
Мухиддинова Я.Д., Ахмедов С.Т. Целлюлоза материалли фильтр-полотноларни кондуктив куритиш жараёнининг энергетик самарадорлигини ошириш.....	151
Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев. Табий совуклик аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омборлари иссиқлик балансини моделлаштириш.....	171
С.И. Хамраев, С.М.Хужақулов, Б.И. Камолов. Қуёш иссиқлик таъминоти тизимли тажриба қишлоқ уйининг иссиқлик балансини тадқиқот килиш.....	181
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
Н.А. Халилов. Ноль симиз уч фазали симметрик тизим частотасига асосланган автопараметрик тебранишларнинг амплитуда-фазавий нисбати.....	193
И.У. Рахмонов. Қора металлургия корхоналарининг электр энергия истеъмолини асосий компонентлар усули асосида прогнозлеш.....	208
Х.М. Муратов, К.Ш. Қодиров. Сутканинг “эрталабки” ва “кечки” тифиз давларида худудларда электр энергияси истеъмолининг таҳлили.....	219
Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов, Д.М. Мирзаахмедов. Энергия тежайдиган күёш-иссиқлик насоси қуритиш ва совутиш камерасининг иссиқлик ва намлик режимини ўрганиш.....	229
М.Т. Махсудов, Д.Д. Каримжонов. Асинхрон моторларнинг реактив кувватини назорат ва бошқаруви учун ток ўзгарткичларининг динамик тавсифлари тадқики.....	240
М.Қ. Бобоғанов, Д.А. Рисмұхамедов, Ф.Н. Туйчиев, Ҳ.Ф. Шамсұтдинов, Ҳ.Г. Магдиев. Юқ кўтариш механизм моторлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиши.....	250
А.И. Қаршибаев, Б.Ш.Нарзуллаев. Кончилик корхоналаридаги электр ускуналарининг электр энергия истеъмоли самарадорлигини ошириш.....	263
Ж.А. Мавлонов. Рудаларни майдалаш жараённанда шарли тегирмонларнинг параметрларини ўрганиш ва электр юритма тизимни назорат килиш.....	272

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
А.А. Абдурахманов, Ю.Б. Собиров, С.Ш. Махмудов, Ш.М. Ахмадов.	281
Мужассамлашган нур оқими зичлигини ўлчаш учун фотометрия калибрология килиш.....	
А.Б. Сафаров, О.З. Тоиров, Р.А. Мамедов, М.Р. Чарыева. Муқобил энергия манбаларидан электр энергиясини олишда кичик тезликли электр генераторни лойихалаш ва динамик режимларини моделлаштириш.....	292
М.Н. Турсунов, У.Р. Холов, Т. Ахтамов, М. Эшматов, Н.Ё. Мухтаров. Қишлоқ ахолиси учун мобил фотоэлектрик курилма.....	307
Б.М. Тошмаматов, Х.А. Давлонов, О.И. Рахматов. Шахар каттик чикиндиларига термик ишлов беришнинг харорат режимини экспериментал ўрганиш.....	315
Л.А. Алиярова, Г.Н. Узаков, У.Х. Ибрагимов, Н.З. Рахимов. Комбинациялашган күёш коллекторининг гидродинамик режимини экспериментал тадқикот килиш.....	328
НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛГИ РЕСУРСЛАРИ	
Н.А. Маликова, А.Ф. Жамилов. Гидродинамик моделлаштириш учун юра чўкиндиларининг рақамли геологик моделларини катталаштириш.....	339
ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ	
Б.У. Уришев, А.П. Умиров. Сув хўжалиги тизимлари гидротехник иншоотлари энергетик потенциалидан фойдаланиш.....	347
М.М. Мухаммадиев, Б. Уришев, А. Абдуазиз уулу, У. Куватов, Х. Мурадов. Сугориш пайтида насос агрегатларини етказиб бериш учун ишлатиладиган қуёш энергиясини гидравлик сақлаш.....	356
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
Ш.Т. Пойнов. Қудукни сementлаш пайтида юқори ғовакли ва юқори ўтказувчан чўкиндиларда ортиқча босимни пасайтириш усуулари	366
ХОТИРА	
Рахимов Ш.Х. (1945-2021)	373
Бахадирханов М.С. (1942-2021)	377
БИЗНИНГ ЮБИЛЯРЛАР	
Насиров Т.Х. (80 ёшлигига)	380

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. ————— № 3

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. Ситдиков Р.А.

Ученый секретарь: доц. Раҳмонов 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 Kreischer (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. (Белоруссия)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

д.т.н., проф. Хошимов Ф.А. Чемборисова Н.Ш. (Россия)
д.т.н., проф. Камалов Т.С. Новиков Н.Л. (Россия)
д.т.н., проф. Пирматов Н.Б. проф. Ekkehard Bolte (Германия)
д.т.н., проф. Муратов Х.М. проф. Wilfrid Hofmann (Германия)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

д.т.н., проф. Узаков 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. Халиматов 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. Гловацик 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, ТашГТУ, 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

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Водород – основа энергетики будущего.....	14
Т.Х. Насиров, О.В. Радионова, Ф.Б. Мухитдинова. Адаптивные модели расчета неполнофазных режимов и их применение для анализа надежности электроснабжения потребителей	31
А.Н. Товбоев, М. Ибодуллаев, Т.Амирзов. Математическая модель вольт-амперной и амплитудно – частотной характеристик феррорезонансной цепи.....	44
А.Д. Таслимов, Ф.М. Рахимов, Ш.С. Самиев. Обзор тенденции оптимального построения кабельных линий в сельских электрических сетях	53
А. Маликов, Р. Узоков, З.У. Бойханов. Влияние изменения активного сопротивления обмоток статора асинхронного двигателя на выходной сигнал трехфазного преобразователя тока.	63
Ш.В. Хамидов, Б.Р. Нормуратов. Параллельные устройства технологии facts.	72
А.Н. Расулов, М.Р. Рузиназаров. Трёхфазный феррорезонансный стабилизатор тока...	83
Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков. Вопросы определения надежности и оценки безопасности электрической подстанции напряжением 10 кВ.....	94
А.Ж. Есенбеков, М.Ибадуллаев, А.К.Нуралиев. Разработка математической модели электромеханических систем.....	103
Н.Н. Ниёзов. Уменьшение погрешности прогнозирования параметров потребления электроэнергии.	119
Н.А. Халилов. Особенности автопараметрических колебаний на основной гармонике в 3-х фазных электроферромагнитных автопараметрических – цепях с общими и раздельными магнитопроводами.	130

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Д.Н. Мухиддинов, А.А. Бадалов, И.Б. Хайдаров, Д.А. Бадалова. Вихревые пылеуловители для сухой очистки газов.	141
Я.Д. Мухиддинова, С.Т. Ахмедов. Разработка безотходной технологии сушки регенерированных фильтр-полотен и оценка энергоэффективности кондуктивной сушки.	151
Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев. Математическая модель теплового баланса подземного плодовооще-хранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода.	171
С.И. Хамраев, С.М.Хужакулов, Б.И. Камолов. Исследование теплового баланса экспериментального сельского дома с системой солнечного теплоснабжения.	181

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Н.А. Халилов. Амплитудно-фазовые соотношения АПК на основной частоте для трехфазной симметричной системы без нулевого провода.	193
И.У. Рахмонов. Прогнозирование электропотребления предприятий черной металлургии на основе метода главных компонент.	208
Х.М. Муратов, К.Ш. Кадиров. Анализ потребления электроэнергии на территориях в "утренних" и "вечерних" пиковых периодах сутки	219
Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов. Разработка информационного обеспечения решения функциональных задач процессов управления энергосбережением.	229
М.Т. Махсудов, Д.Д. Каримжонов. Исследования динамических характеристик преобразователей тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей.	240
М.К. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тыйчиев, Х.Ф. Шамсутдинов, Х.Г. Магдиев. Разработка полюсопереключаемого обмотки для двигателей подъемных транспортных механизмов.	250
А.И. Қаршибаев, Б.Ш. Нарзуллаев. Повышение эффективности потребления электроэнергии оборудования машиностроительных заводов на горных предприятий....	263
Ж.А. Мавлонов. Исследование параметров шаровых мельниц и управления системой электропривода в процессе измельчение руды.	272

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
А.А. Абдурахманов, Ю.Б. Собиров, С.Ш. Махмудов, Ш.М. Ахмадов. Калибрировка фотометра для измерения плотности концентрированного лучистого потока.	281
А.Б. Сафаров, О.З. Тоиров, Р.А. Мамедов, М.Р. Чарыева. Проектирование и моделирование тихоходных электрогенераторов для получения электроэнергии от альтернативных источников	292
М.Н. Турсунов, У.Р. Холов, Т. Ахтамов, М. Эшматов, Н.Ё. Мухтаров. Мобильная фотоэлектрическая установка для жителей сельских регионов.	307
Б.М. Тошмаматов, Х.А. Давлонов, О.И. Рахматов. Экспериментальные исследования температурного режима термической переработки твердых бытовых отходов.	315
Л.А. Алиярова, Г.Н. Узаков, У.Х. Ибрагимов, Н.З. Рахимов. Экспериментальное исследование гидродинамического режима ком-бинированного солнечного коллектора. .	328
НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ	
Н.А. Маликова, А.Ф. Жамилов. Ремасштабирование цифровых геологических моделей юрских отложений для гидродинамического моделирования.	339
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ	
Б.У. Уришев, А.П. Умиров. Использование энергетического потенциала гидротехнических сооружений водохозяйственных систем.	347
М.М. Мухаммадиев, Б. Уришев, А. Абдуазиз уулу, У. Куватов, Х. Мурадов. Гидравлическое аккумулирование солнечной энергии, используемой для питания насосных установок при поливе.	356
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
Ш.Т. Поёнов. Пути решения проблемы регенерации автотранспортных масел в условиях Узбекистана	366
ПОМНИМ И СКОРБИМ	
Рахимов Ш.Х. (1945-2021)	373
Бахадирханов М.С. (1942-2021)	377
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Насиров Т.Х. (80 лет)	380

**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. ————— №3

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. Turabdzhanyov, DScTech, prof. Zh.B. Toshov

EDITORIAL TEAM

Chief Editor: acad. Allaev K.R.

Deputy Chief: prof. Sitdikov R.A.

Scientific Secretary Editor: docent. Rakhamonov 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. Kamalov T.S.	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

ELECTRIC POWER	
K.R. Allaev. Hydrogen – foundation for the future.	14
T.X. Nasirov, O.V. Radionova, F.B. Muxitdinova. Adaptive models for calculation of non-full-phase modes and their application for analysis reliability of power supply to consumers.	31
A.N.Tovboev, M. Ibodullaev, T.Amirov. Mathematical model of current-voltage and amplitude-frequency characteristics of a ferroresonant circuit.	44
A.D. Taslimov, F.M. Rakhimov, S.S. Samiev. Overview of the trends for optimum construction of cabling lines in rural electric networks.	53
A. Malikov, R. Uzakov, Z.U. Boikhanov. Effect of changes in the active resistance of stator windings of an asyn-chronous electric motor on the output signal of a three-phase current converter.	63
Sh.V. Khamidov , B.R. Normuratov. Parallel devices facts technology.	72
A.N. Rasulov, M.R. Ruzinazarov. Three-phase ferroresonance current stabiliz.	83
Salihjan S. Khalikov, Sarvar S. Khalikov. Issues of determining the reliability and safety assessment of a substation.	94
A.J. Esenbekov, M.Ibadullaev, A.K.Nuraliev. Development of a mathematical model of electromechanical systems.	103
N.N. Niyazov. Reducing the errors of prediction parameters of electricity consumption.	119
N.A. Khalilov. Features of auto-parametric oscillations at the fundamental harmonic in 3-phase electro-ferromagnetic auto-parametric - circuits with common and separate magnetic circuits	130
HEAT AND NUCLEAR ENERGY	
D.N.Mukhiddinov, A.A. Badalov, I.B. Khaydarov, D.A. Badalova. Vortex dust collectors for dry gas cleaning.	141
Mukhiddinova Ya. D., Akhmedov S. T. Development of a waste-free drying technology for regenerated filter cloths and evaluation of the energy efficiency of conductive drying.	151
G.N. Uzakov, Sh.K. Yakhshiboev. Modeling of the thermal balance of an underground fruit and vegetable storage facility with a ground accumulator of natural cold.	171
S.I. Khamraev, S.M.Khuzhakulov, B.I. Kamolov. Study of the heat balance of an experimental rural house with a solar heating system.	181
ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING	
N.A. Khalilov. Amplitude-phase ratios of apc at the fundamental frequency for a three-phase symmetric system without a neutral wire	193
I.U. Rakhmonov. Forecasting from power consumption of ferrous metallurgy enterprise based on the principle component method.	208
H.M. Muratov, K.S. Kadyrov. Analysis of electricity consumption in areas in the "morning" and "evening" peak periods of the day.	219
G.K. Ishankhodjaev, M.B. Sultanov. Development of information supply solution of functional tasks of energy saving management processes.	229
M.T. Maksutov, D.D. Karimzhanov. Research of the dynamic characteristics of current converters for monitoring and controlling the reactive power of asynchronous motors.	240
M.K. Bobozhanov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tyychiev, X.F. Shamsutdinov, H.G. Magdiev. Development of pole-changing winding for motors of lifting transportation mechanisms.	250
A.I. Karshibaev, B.SH.Narzullaev. Increasing the efficiency of electric power consumption of machine plant equipment in mining enterprises.	263
J.A. Mavlonov. Investigation of the parameters of ball mills and control of the electric drive system in the process of ore grinding.	272
ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	
A.A. Abdurakhmanov, Yu.B. Sabirov, S.S. Makhmudov, Sh.M. Akhmadov. Calibration of	281

a photometer for measuring the density of a concentrated radiant flux.....	
A.B. Safarov, O.Z. Tairov, R.A. Mammadov, M.R. Charyeva. Design and simulation of dynamic modes of quiet electric generators for obtaining electric power from alternative energy sources.....	292
M.N. Tursunov, U.R. Kholov, T. Akhtamov, M. Eshmatov, N.Yo. Mukhtarov. Mobile photovoltaic installation for rural residents.....	307
B.M. Toshmamatov, Kh.A. Davlonov, O.I. Rakhmatov. Experimental study of the temperature regime of thermal processing of municipal solid waste.....	315
L.A. Aliyarova, G.N. Uzakov, U.H. Ibragimov, N.Z. Rakhimov. Experimental study of the hydrodynamic regime of a combined solar collector.....	328
OIL AND GAS. FUEL RESOURCES	
N.A. Malikova, A.F. Zhamilov. Upscaling of digital geological models of Jurassic sediments for hydro-dynamic modelling.....	339
ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY	
B.U. Urishev, A.P. Umirov. Use of the energy potential of hydraulic structures of water management systems.....	347
M.M. Muhammadiev, B. Urishev, A. Abduaziz uulu, U. Kuvatov, X. Muradov. Hydraulic storage of solar energy used to supply pump units when watering.....	356
SCIENTIFIC REPORTS	
Sh.T. Polenov. Ways to reduce overpressure in highly porous and highly permeable sediments during well cementing.....	366
REMEMBER AND GORGE	
Rakhimov Sh.Kh. (1945-2021)	373
Baxadirxanov M.S. (1942-2021)	377
OUR ANNIVERSARIES	
Насиров Т.Х. (80 ёшлигига)	380

УДК 620.9

ВОДОРОД – ОСНОВА ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО

К.Р. Аллаев

Мақолада жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасига водородни табдиқ қилиши истиқболлари келтирилган. Водород универсал энергоресурслари кўрсатилган ва углеводородлардан қайта тикланувчи энергия (ҚТЭ) манбаларига ўтиши жараёнида асосий манба бўлиши мумкинлиги ва анъанавий энергия манбаларини охир-оқибатта бутунлай амалиётдан чиқариб ташлаши имконияти кўрсатилган. Водород ишлаб чиқаришининг асосий технологиялари ва уларнинг хусусиятлари келтирилган. Табиий газдан ишлаб чиқарилаётган водороднинг таннаҳхи, CO_2 ни ичиши, сақлаши ва ишлатиши жараёнида керак бўлган иқтисодий сарфлар келтирилган. Ҳозирги замонда ишқорий электролизерлар водородни кўп миқдорда ишлаб чиқаришида асосий ускуналарлиги кўрсатилган. Шу билан бирга охирги лойиҳаларда полимерли мембрана (РЭМ) асосидаги электролизерлар асосида водород ишлаб чиқариши амалга оширилаётгани кўрсатилган. РЕМ электролизерлар эластик (эгилувчан) хусусиятга эга ва шунинг учун ўзгарувчан ҚТЭ манбалари билан ишлаши мақсадга мувофиқ. Юқори самарадорли қаттиқоқсили электролизерлар (SOEC-Solid oxide electrolyser cell) ҳам табдиқ килинмоқда. Водород ишлаб чиқаришида CO_2 бўлмаслиги шарт. Шунинг учун жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасининг истиқболли ривожланишида водород ишлаб чиқариши табиий газ ва кўмир билан боғлиқ бўлмаслиги кўрсатилган. Жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасининг истиқболли ривожланиши қайта тикланувчи ва атом энергетикаси (АЭС) билан боғлиқ. Шунинг учун водород ишлаб чиқаришида ҚТЭ ва АЭС томонидан ишлаб чиқарилган электр энергиясини ишлатиши мақсаддага мувофиқлиги кўрсатилган.

Водород ишлаб чиқаришидаги иқтисодий маблағлар ва инвестиция масалалари ўрганилган.

В статье приведены данные по перспективам применения водородной энергетики в мире и Узбекистане. Показано, что водород является универсальным источником энергии и в перспективе может стать переходным энергоресурсом, при полном переходе от традиционных к возобновляемым источникам энергии, с дальнейшим вытеснением углеводородов, как источников энергии. Приведены основные технологии производства водорода – основные их преимущества и недостатки. Приведены стоимость производства водорода из природного газа с учетом затрат на улавливание, хранение и утилизацию углекислого газа. Показано, что

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

щелочные электролизеры являются наиболее зрелой технологией электролиза, поэтому они доминируют на рынке, особенно для крупномасштабных проектов. Во многих новых проектах делается выбор в пользу конструкций мембран с полимерным электролитом (PEM). Электролизеры PEM могут работать более гибко и, следовательно, более совместимы с переменным генерированием возобновляемой электроэнергии. Также начинают реализовываться проекты с использованием высокоэффективных твердооксидных электролизеров (SOEC- Solid oxide electrolyser cell). Основное направление развития энергетики мира и Узбекистана определяется совместным применением возобновляемых и атомных источников энергии, в связи с этим показана перспективность производства водорода методом электролиза воды, с использованием электроэнергии, вырабатываемой ВИЭ и АЭС. Производство водорода должно быть безуглеродным. В связи с этим показано, что в перспективе ни в одном из сценариев роста мировой потребности в водородном топливе, природный газ и уголь не рассматриваются в качестве основного сырья для производства водорода. Приведены данные по стоимостям различных технологий производства водорода и инвестициям в их развитие.

The article provides data on the prospects for the use of hydrogen energy in the world and Uzbekistan. It is shown that hydrogen is a universal source of energy and in the future can become a transitional energy resource, with a complete transition from traditional to renewable energy sources, with further displacement of hydrocarbons as energy sources. The main technologies of hydrogen production are presented - their main advantages and disadvantages. The cost of hydrogen production from natural gas is given, taking into account the costs of capturing, storing and utilizing carbon dioxide. It has been shown that alkaline cells are the most mature electrolysis technology and therefore dominate the market, especially for large scale projects. Many new projects are now opting for polymer electrolyte membrane (PEM) designs. PEM electrolyzers can operate more flexibly and therefore more compatible with variable renewable electricity generation. Projects using high-performance solid oxide electrolyser cells (SOEC - Solid oxide electrolyser cell) are also beginning to be implemented. The main direction of energy development in the world and in Uzbekistan is determined by the joint use of renewable and nuclear energy sources, in this connection, the prospects for hydrogen production by the electrolysis of water are shown, using electricity generated by renewable and nuclear power plants. Hydrogen production must be carbon-free. In this regard, it is shown that in the future, in none of the scenarios of the growth of the world demand for hydrogen fuel, natural gas and coal are considered as the main raw materials for the production of hydrogen. The data on the costs of various technologies for the production of hydrogen and investments in their development are presented.

Введение. Водородная энергетика — отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для аккумулирования, транспортировки, производства и потребления энергии. Водород является наиболее распространенным элементом на Земле и в космосе; тепло от сгорания водорода очень высока, а продуктом выделения является вода (которая вновь вводится в оборот). Водородная энергетика относится к альтернативной энергетике [1].

Развитые страны постепенно отказываются от ископаемого топлива. На смену ему должны прийти экологически чистые источники энергии. Такой альтернативой наряду с электричеством становится, в том числе, водород [2]. Новая энергетическая трансформация приведёт к смене уклада энергосистем и постепенному формированию мирового рынка энергетики на основе водорода, как это уже случилось со сланцевой революцией на газовом и нефтяном рынках в 2008 – 2013 годах [3].

Водород обладает рядом преимуществ, поскольку он универсален и может быть использован аналогично природному газу – в транспорте, промышленности, электроэнергетике, а также храниться и передаваться аналогичными способами [4]. Это мощный энергоноситель и один из важнейших сырьевых материалов современной нефтехимической и химической промышленности. Его получают различными способами, которые можно разделить на физические, электрохимические и химические методы. Водород - это энергоноситель [5], на получение 1 единицы которого, сейчас затрачивается 4 единицы энергии [6].

Мировая потребность в чистом водороде увеличилась с менее 20 млн. тонн в 1975 году до более 74 млн. тонн в 2019 году, и к 2050 году увеличится до 370 млн. тонн в год. По прогнозам МЭА это потребует ввода в мире до 2050 года новых АЭС суммарной мощностью в 15 ГВт в год [7].

Первой страной, сформировавшей свою национальную водородную стратегию, стала Япония. Ее стратегия появилась в декабре 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 Австралия увидела свет 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 [8].

В январе 2017 года создан Водородный Совет (Hydrogen Council) – ассоциация крупнейших мировых энергетических и машиностроительных компаний, нацеленная на создание водородной энергетики в мировом масштабе. В Совет входят представители европейских, американских, японских, китайских и корейских компаний [8].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Взгляды крупнейших развитых стран на роль водорода близки: повышение энергетической безопасности за счет диверсификации источников энергии, развитие технологий на экспорт и выполнение климатических обязательств.

На рис. 1. приведен прогноз производства водорода в мире.

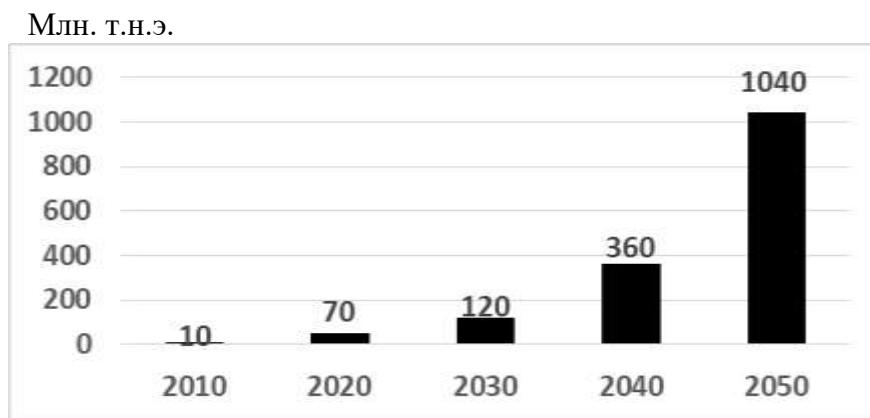


Рис.1. Прогноз производства водорода в мире [9]

В [9,10] отмечается, что к 2050 году 18% мировой потребности в энергии может быть удовлетворено водородом, что составляет около 78 ЭДж (1 ЭДж- 1000 000 000 000 000 Дж). Соответствующий потенциал снижения выбросов -6 гигатонн СО₂ в год. Для достижения этой цели должна ВИЭ в мировом конечном потреблении энергии увеличиться с 18% в 2020 году до 65% в 2050 году.

Технологии получения водорода. В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода: паровая конверсия природного газа, газификация угля, электролиз воды, водород из биомассы [1].

В зависимости от вида промышленного производства, водород принято разделять на «серый» – из угля, нефти и газа, «голубой» – ПГУ, ТЭС с технологией улавливания и хранения углерода (УХУ - CCS), и «зеленый» – из воды. Согласно недавним исследованиям Wood Mackenzie, сегодня 99% водорода является «серым» и «голубым», создавая огромный углеродный след [3].

В настоящее время в мире способом паровой конверсии природного газа производится примерно (90-95)% всего водорода. Водяной пар при температуре (700 - 1000)°C смешивается с метаном под давлением в присутствии катализатора. Себестоимость процесса (2–5) доллара за килограмм водорода (долл/кг). Паровая конверсия метана приводит к эмиссии углекислого газа – 10 кг СО₂/кг Н₂.

Газификация угля - старейший способ получения водорода. Уголь нагревают с водяным паром при температуре (800 - 1300)°С без доступа воздуха. Себестоимость процесса (2–2,5) долл/кг.

В отличие от углеводородов, водород способен к окислению при низких температурах с прямым преобразованием химической энергии в электрическую, что может оказаться решающим аргументом для его применения в энергетике. Устройства, позволяющие реализовать эту уникальную особенность, так называемые топливные элементы или электрохимические генераторы энергии, характеризуются очень высоким коэффициентом полезного действия – (70-80)% [5,11]. Для сравнения: КПД лучших двигателей внутреннего сгорания составляет 35-40%. Для солнечных электростанций коэффициент составляет всего 15-20%, но сильно зависит от погодных условий. КПД лучших ветряных электростанций доходит до 40%, что сравнимо с парогенераторами, но ВЭУ также требуют подходящих погодных условий и дорогого обслуживания [12].

Топливные элементы (fuel cells) - несомненно, важнейший перспективный сегмент технологий распределенных энергоресурсов. По прогнозу Navigant Research, мощности стационарных топливных элементов вырастут с 500 МВт в 2018 году до 3000 МВт в 2025 году и этот процесс будет продолжаться [13].

Водород из биомассы получается термохимическим или биохимическим способами. При термохимическом методе биомассу нагревают без доступа кислорода до температуры (500 - 800) °С (для отходов древесины), что намного ниже температуры процесса газификации угля. В результате процесса выделяется водород (H_2), метан (CH_4),monoоксид углерода-угарный газ (CO). Себестоимость процесса (5–7) долл/кг.

В химической промышленности водород также используют в производстве карбамида, мыла и пластмасс. В газопереработке водород необходим для получения смесей, например, с метанолом, этиленом и пропиленом [14].

Ожидается существенное повышение спроса на водород в нефтеперерабатывающей промышленности мира — с его помощью будут повышать качество нефти. Водород используется для увеличения глубины переработки, улучшения характеристик нефти, очистки нефтепродуктов от сернистых загрязнений, производства широкой номенклатуры нефтепродуктов: топлив, масел, смазок [14].

Электролиз воды. Электролиз позволяет расщеплять молекулы воды на водород и кислород, а если электричество для этого процесса поступает из возобновляемых источников, то в итоге получится «зеленый» водород. Эта технология станет отличной возможностью сократить выбросы и повысить ценность чистой энергии [15,16].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В настоящее время себестоимость производства водорода из воды (различные виды электролиза) в (3–6) раз выше, чем получение водорода из природного газа. Этот метод используют лишь тогда, когда необходимо получить особо чистый водород [17].

Производство водорода должно быть безуглеродным. В связи с этим ни в одном из сценариев роста мировой потребности в водородном топливе природный газ и уголь не рассматриваются в качестве основного сырья для производства водорода [18].

Водородная энергосистема. Водород может быть недостающим звеном в трансформации энергетики: электроэнергия из ВИЭ и АЭС может использоваться для производства водорода, что, в свою очередь, может обеспечить энергию для других секторов отраслей экономики [10].

Использование ВИЭ и атомной энергии для производства водорода возможно в различных процессах: химических, электролизе воды, высокотемпературном электролизе при себестоимости процесса 2,33 долл/кг. Производство и использование водорода с помощью атомной энергии не сопровождаются вредными выбросами в атмосферу, зато предполагают выработку дешевой электроэнергию и крупномасштабное получение пресной воды [14].

По прогнозам Международного энергетического агентства, к 2040 году доля генерации электроэнергии на солнечных и ветряных электростанциях в мире увеличится с 13% до 34% [13]. Следовательно, мировая энергетика будущего будет состоять из следующих основных декарбонизированных и энергоэффективных составляющих – ВИЭ, АЭС, ГЭС, водородного топлива, умных сетей. Умные энергосети – это несколько технологий, в основном цифровых инструментов, которые используют данные для того, чтобы сделать электрическую сеть более автономной и предсказуемой [15].

Хранение водорода. Надежное хранение водорода – серьезная научно-техническая задача. Наиболее разработанный способ хранения водорода – в баллонах, в сжатом виде. Сейчас уже существуют сверхлёгкие баллоны, рассчитанные на давление до 450 атм. Атом водорода настолько мал, что при очень высоких давлениях способен просто „просочиться“ сквозь стенки баллона. При обычных условиях водород – это газ, но при низких температурах он превращается в жидкость, и тогда его можно хранить и транспортировать в теплоизолированных сосудах – криостатах. Уже испытаны криогенные баки для автомобилей с экранно-вакуумной изоляцией, которые продлевают срок автономного хранения водорода до двух с лишним недель (и это при разности температур между жидким водородом и окружающей средой более 250°C).

Конструкции криогенных автомобильных баков для жидкого водорода с экранно-вакуумной изоляцией были разработаны в США, ФРГ и Японии.

Очевидно, что создание эффективных криогенных систем хранения водорода на автомобилях - достаточно подготовленное техническое решение.

Транспорт. В XXI веке главными драйверами роста производства водорода будут автотранспорт и системы рассредоточенного энергоснабжения, использующие водородные топливные элементы. К 2024 году количество транспортных средств с водородными топливными элементами по всему миру вырастет до 580 тысяч, а к 2030 году — около 1,5 миллионов [14].

В Японии к 2025 году число машин, работающих на водороде, предполагается довести до 200 тыс., а к 2030 году – до 800 тыс. Впрочем, пока процесс распространения водородных автомобилей сдерживается крайне ограниченным масштабом водородных заправок. В середине 2019 года заправочных станций было только 30 и только в трех крупнейших городах страны – Токио, Нагое, Осаке [3].

Евросоюз, в свою очередь, одобрил программу «Водородный коридор» (H_2 live), которая предусматривает строительство водородных автозаправочных станций в 20 минутах езды от потребителя к 2020 году и в 10 минутах езды – к 2030 году [3].

В табл. 1. приведен прогноз проникновения водородного автотранспорта на европейский рынок.

Таблица 1
Прогноз проникновения водородного автотранспорта на европейский
рынок, в % от общего количества автомобилей [1]

Сценарий	2020	2030	2040	2050
Высокое проникновение	3,3%	23,7%	54,4%	74,5%
Низкое проникновение	0,7%	7,6%	22,6%	40,0%

Канада первой в мире интегрировала водород в городской транспортный автопарк. С 2005 года аналогичный принцип активно используется в Нидерландах, Испании, Германии, Италии, Люксембурге, Исландии. Масштабные проекты по водородизации городского транспорта реализуются также в Австралии и Китае [3].

Необходимость замены дизельных локомотивов на водородные обосновывается постоянным ростом цен на дизельное топливо, а также решением Международного союза железных дорог полностью отказаться от дизельной тяги к 2050 году. В первую очередь подвижной состав на водородном топливе может заменить маневровые локомотивы и дизельные пригородные поезда на малонагруженных маршрутах [17].

Стоимость и инвестиции. Водородная энергетика — это «запас на будущее», когда от ископаемого топлива придется окончательно отказаться

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ся, а возобновляемые источники энергии не смогут покрывать нужды человечества.

Разработчики смогли снизить стоимость автомобильных водородных топливных элементов с 275 долл/кВт в 2002 году до 30 долл/кВт к 2020 году [1].

Приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) от топливных элементов на природном газе в США, по оценке Lazard, равна (106–167) долл/МВт*ч, что примерно равна показателям атомных (112–183) долл/МВт*ч и угольных (60–231) - долл/МВт*ч электростанций и меньше приведенной стоимости индивидуальных крышных солнечных панелей (187–319) долл/МВт*ч [16,18].

Мировой рынок водородного топлива к 2040 году оценивается в (32–164) млрд. долларов [17]. Ожидается, что стоимость производства водорода методом электролиза снизится с 11,5 долл/кг до 5,7 долл/кг, а уменьшение стоимости топливных элементов в три-пять раз и хранения водорода в два-три раза. Водород, произведенный на основе генерации ВИЭ, по прогнозам международного агентства возобновляемой энергетики IRENA, к 2025 году будет стоить (4–6) долл/кг с перспективой снижения цен до 2 долл/кг к 2040 году [3].

По некоторым прогнозам инвестиции в водородную энергетику в мире через 30 лет составят 2,5 трлн. долларов в год и будут созданы около 30 млн. рабочих мест, и при этом почти 20% традиционных ископаемых энергоносителей будут вытеснены из энергобаланса мира [13].

На рис.2 приведены прогнозные данные по инвестированию в водородную энергетику в мире при благоприятном развитии технологий и соответствующих принимаемых решений.

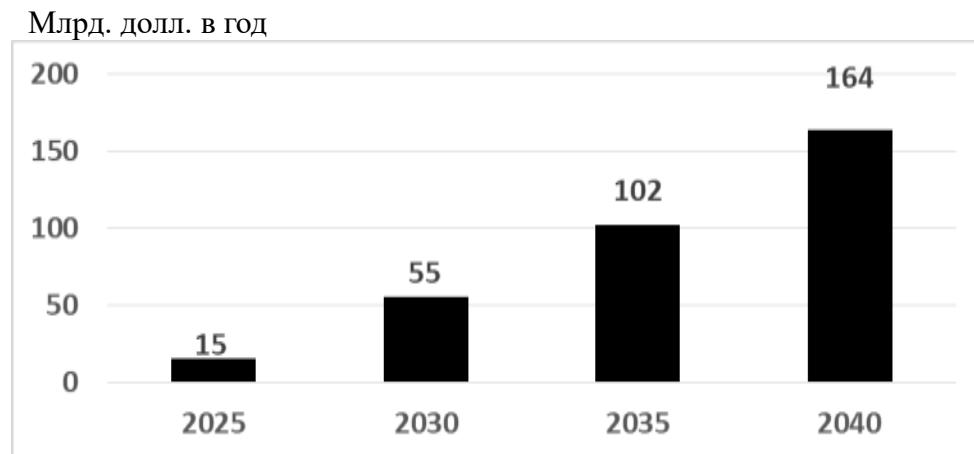


Рис. 2. Прогноз рынка водородного топлива в мире [8]

На рис.3 приведены стоимость производства водорода из природного газа с учетом затрат на улавливание, хранение и утилизацию углекислого газа (CCUS).

Долл/кг

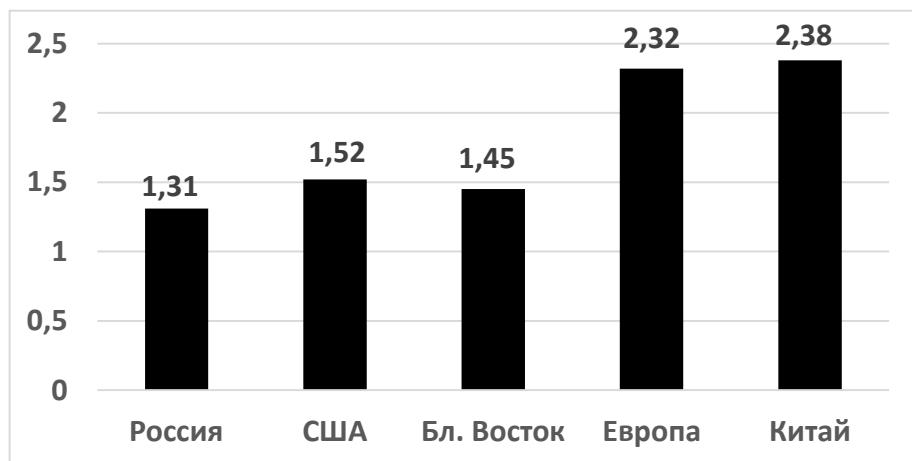


Рис.3. Стоимость производства водорода из природного газа с учетом затрат на улавливание, хранение и утилизацию углекислого газа (CCUS) [21]

Возобновляемый водород может производиться почти во всём мире, а его себестоимость составит (0,8–1,6) долл/кг до 2050 года, а стоимость поставок возобновляемого водорода в Китай, Индию и Западную Европу может упасть примерно до 2 долл/кг к 2030 году и до 1 долл/кг к 2050 году. Важно отметить, что это позволит сделать производство чистого водорода с помощью возобновляемой электроэнергии и АЭС дешевле, чем производство его из природного газа, которое практикуется в настоящее время [19].

По оценке IRENA (2019 год), стоимость 1 кг водорода на базе ветровой энергии составляет в среднем около 4 долл/кг, солнечной — почти 7 долл/кг, тогда как производство из угля или газа обходится в (1,5–2,5) долл/кг, и с развитием технологий эта разница исчезнет далеко после 2030 года. Следует отметить, что цена на водород для покупателя с доставкой до места потребления находится в диапазоне (3–6) долл/кг Н₂ к 2025 году, с перспективой снижения до 2 долл/кг Н₂ до 2040 года [20-25]. Этот значительный спад соответствует Парижским климатическим целям [22].

Япония рассматривает водород как более надежный источник энергии, по сравнению с солнечной и энергией ветра. Для реализации плана правительство Японии намерено выделить 19,2 млрд. долларов и ввести некоторые налоговые облегчения [23].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Китай лидирует в мире по производству водорода, его годовой объем производства составляет 20 миллионов тонн, что составляет около одной трети мирового производства. Однако, большая часть производства водорода в Китае привязана к «серому водороду», основанному на ископаемом топливе [22].

На рис.4 приведен прогноз потребления чистого водорода в некоторых отраслях в мире.

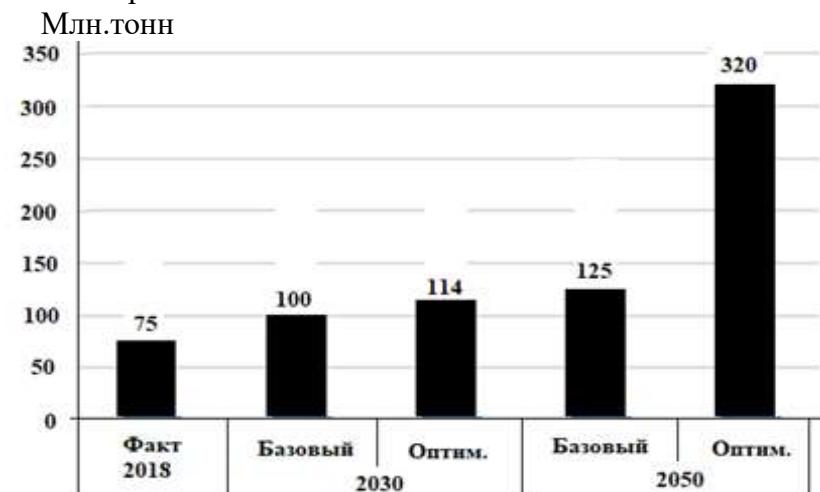


Рис.4. Прогноз потребления чистого водорода в некоторых отраслях в мире [25]

Примерное распределение потребления чистого водорода в мире в некоторых отраслях, в настоящее время и прогноз на 2050 год, согласно рис. 4 следующее [25]:

- 2018 год: общее – 75 млн. тонн, в том числе: химическая промышленность – 37 млн. тонн (50%), нефтепереработка – 35 млн. тонн (46%), металлургия, электроника и прочая промышленность – 3 млн. тонн (4%);

- 2050 год: общее – 320 млн. тонн, в том числе, химическая промышленность – 50 млн. тонн (15,4%), нефтепереработка – 45 млн. тонн (14%), металлургия, электроника и прочая промышленность – 75 млн. тонн (23,6%); транспорт и энергетика – 150 млн. тонн (47%).

Электролизеры. В долгосрочной перспективе вода станет основным источником получения водорода с помощью атомной и возобновляемой энергии.

Электролизеры позволяют производить чистый водород из воды без содержания углерода. Электролизеры - это хорошо известная и давно используемая технология в различных отраслях промышленности, они обеспечивают:

- использование водорода в качестве более чистого сырья для промышленных процессов;
- хранение электроэнергии;
- заправку транспортных средств;
- закачку водорода в газовую сеть;
- производство синтетического топлива.

Щелочные электролизеры являются оборудованием наиболее зрелой технологии электролиза, поэтому они доминируют на рынке, особенно для крупномасштабных проектов. Однако во многих новых проектах в настоящее время делается выбор в пользу конструкций мембран с полимерным электролитом (PEM). Электролизеры PEM могут работать более гибко и, следовательно, более совместимы с переменным генерированием возобновляемой электроэнергии. Также начинают анонсироваться проекты с использованием высокоэффективных твердооксидных электролизеров (SOEC- Solid oxide electrolyser cell) [25].

На рис.5 приведен прогноз ежегодного ввода мировых электролизных мощностей.

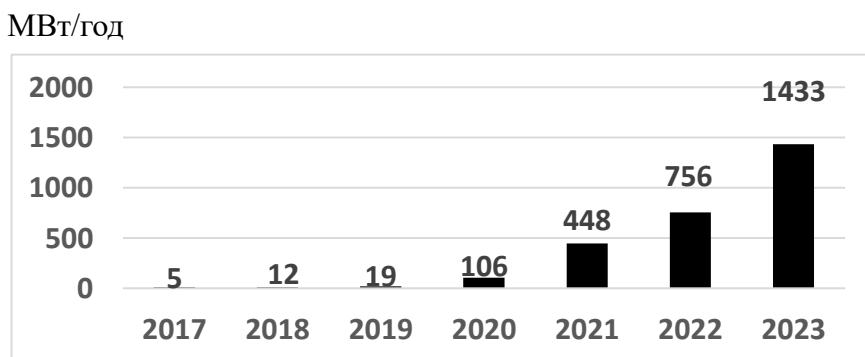


Рис.5. Прогноз ежегодного ввода мировых электролизных мощностей
217-2023 годы [25]

Следует отметить, что две технологии электролиза, основанные как на щелочных, так и на твердых полимерных мембранных электролитах, разрабатываются параллельно. Значительное развитие технологий электролиза и снижение затрат на электролиз водорода ожидается к 2025 году и далее. Капитальные затраты на электролиз с применением протонообменной мембранный технологии в среднем в 1,57 раза ниже, чем у щелочных электролизеров [26].

На рис. 6 приведены динамики изменения капитальных затрат на электролиз в зависимости от мощности электролизера и применяемой технологии.

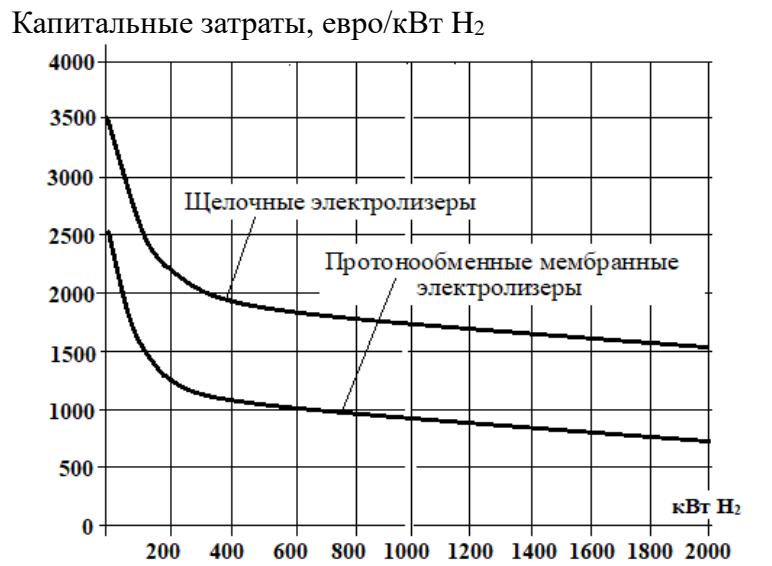


Рис. 6. Капитальные затраты на электролиз в зависимости от мощности электролизера и применяемой технологии [26]

На рис.7 приведен прогноз изменения удельной стоимости мембранны-полимерного и щелочных электролизеров.

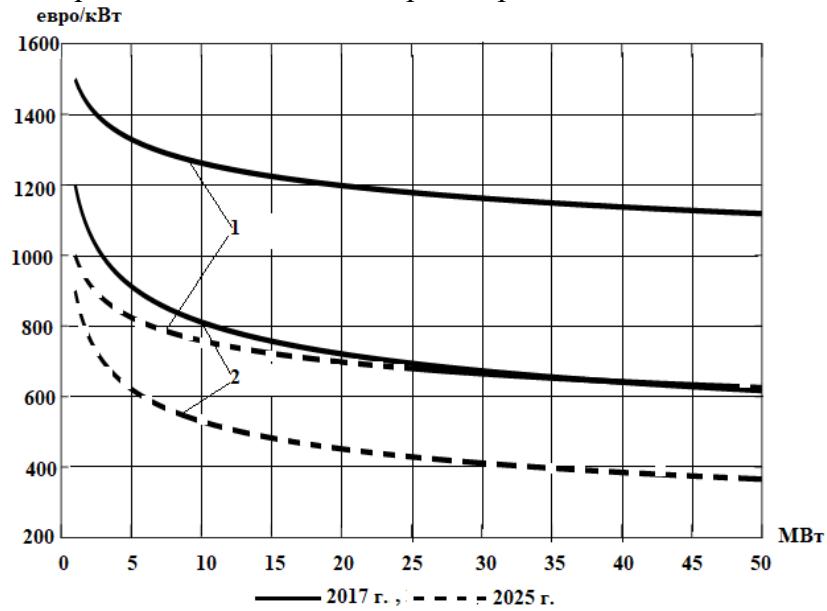


Рис.7. Прогноз изменения удельной стоимости мембранны-полимерного (1) и щелочного (2) электролизеров (расчет автора)

Технологии щелочных электролизеров и PEM имеют разные динамические характеристики, которые могут обеспечивать определенные услуги для электросети. В целом, щелочной электролиз предполагает меньшую гибкость, по сравнению с PEM, с точки зрения диапазона нагрузки и времени отклика. Однако при надлежащей эксплуатации этой гибкости может быть достаточно для решения медленных сетевых услуг, таких как создание резерва восстановления частоты и запасов водорода.

Перспективы развития водородной энергетики Узбекистана. В Узбекистане также отмечается важность и перспективность производство водорода и развитие водородной энергетики для формирования «зеленой» экономики государства. Принято Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» №ПП-5063 от 9 апреля 2021 года [28].

Укрепление энергетической безопасности Республики Узбекистан требует создания необходимых условий для расширения возможностей использования возобновляемых источников энергии и стабильного развития водородной энергетики, включая усиление научного потенциала данной сферы.

В целях создания инфраструктуры водородной энергетики в Узбекистане, организован Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Узбекистана. При институте организовывается научно-исследовательский центр водородной энергетики и лаборатория по испытанию и сертификации технологий возобновляемой и водородной энергетики.

В перспективе основой развития энергетики государства станет совместное применение (симбиоз) возобновляемых и атомных источников энергии, так как наиболее выгодным с точки зрения экологии и технологических затрат остается получение водорода с их помощью. Это уже готовые технологии, а значит, «зеленый» водород получит дальнейшее развитие в ближайшие 15-20 лет [27].

Исследования, проведенные в республике с учетом имеющихся местных условий, показывают, что водород остается практически единственным экологически чистым топливом для автомобильного транспорта, а в более широком плане - и для любых объектов энергетики будущего [29]. Поэтому, Чтобы водородная энергетика в Узбекистане развивалась, необходима дальнейшая разработка технологий по производству водорода электролизом с использованием возобновляемой и атомной энергии, создание комплексов по производству, хранению и транспортировке водорода, разработка эффективных и экологически безопасных энергоустановок.

Согласно Концепции развития электроэнергетики Узбекистана до 2030 года, предполагается внедрение в энергосистему возобновляемых

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

источников энергии суммарной мощностью 8000 МВт, в том числе солнечных электростанций на 5000 МВт, ветроэлектростанций - 3000 МВт. Кроме того, к этому времени предполагается строительство атомной электростанции мощностью 2400 МВт. Доля солнечных и ветровых источников в энергетике Узбекистана к 2030 году планируется довести до 30% [30].

Необходимо отметить, что в ядерно-водородные исследования включаются все ядерные державы. В США получение водорода на основе электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, уже признано перспективной стратегией и с 2019 года выделяются крупные гранты на эксперименты в этой области [27].

Разработками в области крупнотоннажного производства водорода с использованием атомной энергии занимаются в лабораториях Айдахо, ORNL и General Atomics (США), институте ядерных и энергетических технологий INET Университета Синьхуа (Китай), Институте атомной энергии JAERI (Япония), Исследовательском институте атомной энергии KAERI (Республика Корея) [30-33].

Во Франции и Великобритании крупнейшие операторы и владельцы АЭС также рассматривают вопрос производства водорода.

Коэффициент мощности атомной электростанции может быть увеличен до высоких значений (более 95%), если водород производится на месте, либо электролизом, либо другими процессами, связанными с ядерным реактором [31]. Поэтому намного выгоднее сохранять у АЭС высокий КИУМ, а образующиеся в часы низкой нагрузки излишки электроэнергии пускать на производство водорода [32].

Таким образом, в XXI веке ожидается резкий рост спроса на водород. В долгосрочной перспективе вода станет основным источником получения водорода с помощью атомной и возобновляемой энергии. При этом принципиальной ключевой задачей водородной энергетики становится масштабное производство водорода [34-37].

Литература

1. Водородная энергетика. ([https://ru.wikipedia.org/ wiki/Водородная энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная_энергетика)).
2. Global Action Agenda Progress Report The Hydrogen Energy Ministerial 2020 On-line Special Event October 14, 2020. (<https://www.meti.go.jp/press/2020/10/20201015002/20201015002-1.pdf>).
3. Гриб Н. Водородная энергетика: мифы и реальность. (<http://www.ngv.ru/magazines/article/vodorodnaya-energetika-mify-i-realnost/>).

4. Перспективы развития водородной энергетики рассмотрели эксперты рабочей группы в ТПП РФ. (<https://tpprf.ru/ru/mobile/news/323884/02.09.2019>).
5. Узбекистан перейдет на водородную энергетику. (https://energobelarus.by/news/V_mire/uzbekistan_pereydet_na_vodorodnyu_energetiku/28.07.2011).
6. В Узбекистане 90% электроэнергии производится за счёт газа и угля. (<https://kun.uz/ru/news/v-uzbekistane-90-elektroenergii-proizvoditsya-za-schyot-gaza-i-uglya-takoy-ploxoystokazatel-ostalsya-tolko-v-schitannyx-stranax-spetsialist.29.08.2020>).
7. Велесюк А. Водородная энергетика — тренд XXI века. (https://atomicexpert.com/hydrogen_energy).
8. Бурдин И., Тертышная А., Чаусов И. Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива. / Под ред. Холкин Д. Экспертно-аналитический отчет. - Москва. Инфраструктурный Центр Energy Net, 2018. 32 р.
9. Водородная энергетика мира 2020: состояние и перспективы. (<https://yandex.uz/images/search?text=Водородная%20энергетика>).
10. Hydrogen from renewable power. Technology outlook for the energy transition. September 2018. 52 p. (www.irena.org).
11. Новиков В. Какое место займет водород в альтернативной энергетике Узбекистана? (<https://nuz.uz/nauka-i-tehnika/1187128-kakoe-mesto-zajmet-vodorod-v-alternativnoj-energetike-uzbekistana.html.03.02.2021>).
12. Перспективы развития водородной энергетики, самые продвинутые водородные технологии. (<https://building-tech.org/perspektivy-razvitiya-vodorodnoj-energetiki-samye-prodvinutye-vodorodnye-tehnologii/08.02.2020>).
13. Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика: разрушит ли новое топливо - ископаемую цивилизацию. (<https://www.forbes.ru/biznes/358673-vodorodnaya-ekonomika-razrushit-li-novoe-toplivo-iskopayemuyu-civilizaciyu.16.03.2018>).
14. Водородная энергетика – тренд XXI века. (<http://atomicexpert>).
15. Мировая энергетика будущего — водород, умные сети и энергоэффективные здания. (<https://eenergy.media/2020/02/06/mirovaya-energetika-budushhego-vodorod-umnye-seti-i-enegoeffektivnye-zdaniya/>).
16. Полякова Т.В. Состояние и перспективы развития водородной энергетики. Вестник МГИМО Университета, 2012. С.156-164.
17. Водород вступит в реакцию. (<https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1476515>).
18. Frank-Thomas Wenzel. Hydrogen around the world. (<https://www.newenergy.info/knowledge/technology/hydrogen-around-the-world.24.08.2020>).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

19. Углеводородам найдут место в водородной эпохе как минимум до 2050 года. (<https://regnum.ru/news/polit/2901050.html>. 02.04.2020).
20. Митрова Т., Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию. М.: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2019. - 63 с.
21. Мастепанов А. Водородная энергетика России: состояние и перспективы. - М. Энергетическая политика (energopolis.ru), 23.12.2020.
22. Will China do for hydrogen what it did for solar power? <https://www.power-technology.com/features/will-china-do-for-hydrogen-what-it-did-for-solar-power/11.01.2021>.
23. Япония намерена к 2030 году нарастить использование водорода в энергетике до 10 млн т. (https://energobelarus.by/news/V_mire_yaponiya_namerena_k_2030_godu_narastit_ispolzovanie_vodoroda_v_energetike_do_10_mln_t/ 11.12.2020).
24. Гимади В., Амирагян А., Поминова И., Курдин А., Колобов О., Мартынюк А., Кутузова А., Колобанов С., Подлесная А., Звягинцева А., Антонян Л. // Энергетический бюллетень. Водородная энергетика, М. 2020 №89. Октябрь, - 29 с.
25. The Covid-19 Crisis and Clean Energy Progress. Part of [Tracking Clean Energy Progress](#). IEA. Report — June 2020.
26. Alexandra Kopteva, Leonid Kalimullin, Pavel Tsvetkov, Amilcar Soares. Prospects and Obstacles for Green Hydrogen Production in Russia. Energies 2021, 14, 718. <https://doi.org/10.3390/en14030718>.
27. Водород — новое светлое будущее энергетики? (<https://ecosphere.press/2020/11/19/vodorod-novoe-svetloe-budushhee-energetiki/> 19.11.2020).
28. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» №ПП-5063 от 9 апреля 2021 года.
29. Узбекистан перейдет на водородную энергетику. (https://energobelarus.by/news/V_mire/uzbekistan_pereydet_na_vodorodnyu_energetiku/ 28.07.2011).
30. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под ред. академика Салимова А.У. - Т.: «Fan va texnologiyalar nashriot – matbaa uyi». 2021, 951 с.
31. Greg F. Naterer., Ibrahim Dincer., Calin Zamfirescu. Hydrogen Production from Nuclear Energy. Springer-Verlag London 2013. 492 p.
32. David Kramer. Could hydrogen bail out nuclear power? As nuclear-powered water electrolysis becomes cheaper, it could compete with the current, carbon-intensive hydrogen production process. Physics Today 73, 8, 20 (2020). (<https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.3.4543.01.08.2020>).
33. Аминов Р. З., Байрамов А. Н., Гарифовский М. В. Оценка системной эффективности многофункционального водородного комплекса на АЭС. (<https://doi.org/10.15518/isjaee.2019.13-15.24-39>).

34. Jeffrey Jacobs. Economic Modeling of Cost Effective Hydrogen Production From Water Electrolysis by Utilizing Iceland's Regulating Power Market. Thesis of 60 ECTS credits submitted to the School of Science and Engineering at Reykjavík University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Sustainable Energy Science January 2016. 43 p.
35. Green hydrogen cost reduction scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal. IRENA. 2020. 106 p.
36. Andreas Rosenstiel, Nathalie Monnerie, Jürgen Dersch, Martin Roeb, Robert Pitz-Paal, Christian Sattler. Electrochemical Hydrogen Production Powered by PV/CSP Hybrid Power Plants: A Modelling Approach for Cost Optimal System Design. Energies 2021, 14, 3437. <https://doi.org/10.3390/en14123437>.
37. Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry. Feasibility study reportJule. 2019. 90 p.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

**АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА НЕПОЛНОФАЗНЫХ
РЕЖИМОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Т.Х. Насиров, О.В. Радионова, Ф.Б. Мухитдинова

Maqolada elektr tarmoqlarining to'liq bo'limgan fazali rejimlarida iste'molchilarga elektr ta'minotining ishonchliliqi masalalari ko'rib chiqiladi va tahlil qilinadi. To'liq bo'limgan fazali rejimlarni hisoblash uchun elektr energiyasi tizimlari (EET) rejimlarini modellashtirishning yagona tugunli printsipi asosida qurilgan chiziqli bo'limgan shaklda adaptiv modellardan foydalanish taklif etiladi, bu hisob-kitoblarning aniqligini sezilarli darajada oshirishi mumkin.

To'liq bo'limgan fazali rejimlarni hisoblash uchun ishlab chiqilgan usul, ketma-ketliklar orasidagi to'g'ridan-to'g'ri elektr ulanishlarisiz kompleks almashtirish sxemalardan (KAS) foydalanishga asoslangan. KASni shakllantirish uchun nosimmetrikliklar joylarida simmetrik komponentlarning individual ketma-ketliklarining almashtirish sxemalari chegara shartlari asosida o'zaro bog'lanadi, ularni modellashtirish ideal transformatorlar to'plamlari yordamida amalga oshiriladi. To'g'ridan-to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikdagi sxemalar orasidagi aloqa uchun ideal transformatorlardan foydalanish KAS doirasida tarmoq elementlarini modellashtirishning yagona printsipini ta'minlashga imkon beradi.

Elektr tarmog'inining to'liq bo'limgan fazali ishslash rejimlarining texnik va ehtimollik xususiyatlari berilgan. Iste'molchilarni elektr ta'minotining ishonchlilikini hisobga olgan holda samarali tuproqli neytralli elektr tarmoqlari modeli taklif etiladi. Model to'liq bo'limgan fazali rejimlarning parametrlarini va natijada hosil bo'lgan oqimlarning assimetriyasini baholashga, shuningdek, minimal iqtisodiy zararlanish holatiga rioya qilgan holda iste'molchilar yuklarini tanlab maqsadli cheklash orqali assimetriya sharoitida qabul qilinadigan rejimlarni joriy etishga imkon beradi elektr energiyasining kam ta'minlanishidan.

To'liq bo'limgan fazali rejimlarda 110 kV va undan yuqori elektr tarmoqlarining ishslash natijalarini va ularning shikastlangan elementlarni ajratish bilan ishlashi taqqoslash, ularning ishlaydigan yagona holatidan barqaror bir fazali qisqa tutashuvlardan kelib chiqadigan favqulodda vaziyatlarda ularning ishslashining eng samarali rejimini iqtisodiy jihatdan asoslashga imkon beradi.

Рассматриваются и анализируются вопросы надежности электроснабжения потребителей при неполнофазных режимах электрических

сетей. Для расчета неполнофазных режимов предлагается использовать адаптивные модели в нелинейной постановке, построенные на едином узловом принципе моделирования режимов электроэнергетических систем (ЭЭС), позволяющие существенно повысить точность расчетов.

Разработанная методика расчета неполнофазных режимов основана на применении комплексных схем замещения (КСЗ) без прямых электрических связей между последовательностями. Для формирования КСЗ схемы замещения отдельных последовательностей симметричных составляющих в местах несимметрии соединяются между собой на основании граничных условий, моделирование которых осуществляется с помощью наборов идеальных трансформаторов. Использование идеальных трансформаторов для связи между схемами прямой, обратной и нулевой последовательностей позволяет обеспечить единый принцип моделирования элементов сети в рамках КСЗ.

Приводятся технические и вероятностные характеристики неполнофазных режимов работы электрической сети. Предлагается модель электрических сетей с эффективно заземленной нейтралью, учитывающая надежность электроснабжения потребителей. Модель позволяет оценивать параметры неполнофазных режимов и возникающую при этом асимметрию токов, а также осуществлять ввод режимов в допустимую по условиям асимметрии область путем выборочного целенаправленного ограничения нагрузок потребителей с соблюдением условия минимума экономических ущербов от недоотпуска электроэнергии.

Сопоставление результатов работы электрических сетей 110 кВ и выше в неполнофазных режимах и их работы с отключением поврежденных элементов позволяет экономически обосновать наиболее эффективный режим их функционирования в аварийных ситуациях, возникающих при устойчивых однофазных коротких замыканиях.

Reviewed and analyzes the issues of reliability of power supply to consumers in non-full-phase modes of electric networks. To calculate non-full-phase modes, it is proposed to use adaptive models in a nonlinear formulation, built on a single nodal principle of modeling the modes of electric power systems (EPS), which can significantly increase the accuracy of calculations.

The developed method for calculating non-full-phase modes is based on the use of complex equivalent circuit (CEC) without direct electrical connections between the sequences. To form the CEC, the equivalent circuits of individual sequences of symmetrical components in the places of asymmetries are interconnected on the basis of boundary conditions, the modeling of which is carried out using sets of ideal transformers. The use of ideal transformers for communication between direct, reverse and zero-sequence circuits allows to

provide a unified principle of modeling network elements within the framework of the CEC.

The technical and probabilistic characteristics of non-full-phase modes of the electrical network are given. A model of electric networks with an effectively grounded neutral is proposed, taking into account the reliability of power supply to consumers. The model makes it possible to evaluate the parameters of non-full-phase modes and the emerging asymmetry of currents, as well as carry out the entry of modes into the region admissible under asymmetry conditions by means of selective targeted restriction of consumers' loads with compliance the condition of minimum economic damages from under-supply of electricity.

Comparison of the results of operation of electrical networks of 110 kV and above in non-full-phase modes and their operation with disconnection of damaged elements makes it possible to economically substantiate the most effective mode of their operation in emergency situations arising from stable single-phase short circuits.

Введение. Развитие и усложнение ЭЭС, многообразие режимов их работы, цифровизация экономики определяют необходимость постоянного развития и совершенствования методов их расчета и анализа с помощью современных информационных и компьютерных технологий [1].

Неполнофазные режимы (НПФР) возникают при работе отдельных элементов ЭЭС с неполным числом фаз. При повреждениях основного электросетевого оборудования (линий электропередачи, групп однофазных трансформаторов, шунтирующих реакторов) в сетях 110 кВ и выше, работающих с эффективно заземленной нейтралью, основная часть отключений связана с устойчивыми однофазными короткими замыканиями, доля которых достигает в среднем 65%.

При этом возможны два варианта:

1. На период ремонта поврежденного оборудования отключить поврежденный элемент вообще, снижая тем самым пропускную способность сети с возможными энергоэкономическими последствиями в форме ограничений нагрузок некоторой части потребителей, недоотпуска им электроэнергии и нанесения тем самым экономического ущерба или

2. Используя пофазное управление выключателями или выделяя с помощью разъединителей поврежденную фазу, перевести работу поврежденного элемента в неполнофазный режим «два провода – земля», приводящий к появлению в сети составляющих токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей с соответствующими последствиями в виде возможных перегрузок оставшихся в работе фаз и перегреву трансформаторов, генераторов и электродвигателей токами обратной последовательности. Для недопущения этих перегрузок потребуются огра-

ничения нагрузок потребителей с появлением им недоотпуска электроэнергии и экономического ущерба от нарушений электроснабжения.

Длительность неполнофазных режимов может составлять от нескольких часов (ремонт фазы воздушной линии (ВЛ) или замена фазы трансформатора) до нескольких суток и месяцев (заводской ремонт поврежденной фазы трансформатора при отсутствии резервной фазы) [2]. Работа в таких режимах является одним, а часто и единственным способом повышения надежности функционирования ЭЭС и электроснабжения потребителей в послеаварийных и ремонтных режимах.

Использование НПФР связано с проведением скрупулезных расчетов, что, в свою очередь, требует разработки соответствующих математических моделей, алгоритмов и прикладного программного обеспечения.

Постановка задачи определения допустимости и эффективности применения неполнофазных режимов. Для оценки допустимости неполнофазных режимов работы электрической сети с эффективно заземленной нейтралью необходимо:

1) рассчитать параметры нормального режима и параметры неполнофазного установившегося режима ЭЭС, определить параметры несимметрии при повреждении и последующем отключении одной из фаз;

2) определить уровень перегрузки по току «здоровых» фаз, степень асимметрии токов и величину токов обратной последовательности, как наиболее опасных для возникновения перегрева работающих в сети генераторов, трансформаторов и двигательной нагрузки потребителей;

3) оценить мероприятия по разгрузке генерирующих мощностей и ограничению нагрузок потребителей для снятия перегрузок с элементов сети (генераторы, трансформаторы, «здравые» фазы ЛЭП).

Для выявления экономической эффективности применения неполнофазных режимов ЭЭС и для повышения надежности работы сети необходимо:

первое – оценить недоотпуск электроэнергии потребителям с ограниченной нагрузкой и обусловленный этим экономический ущерб при работе в неполнофазном режиме;

второе – определить вероятность и частоту возникновения неполнофазных режимов;

третье – определить вероятный ущерб потребителям при работе электрической сети в неполнофазном режиме $\bar{Z}_{уц}^{НПФР}$.

Для сравнения следует провести подобные расчеты для альтернативного варианта анализа надежности работы сети с отключением поврежденного элемента (ЛЭП, трансформатора), осуществив при необходимости

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

сти меры по вводу режима в допустимую по параметрам режима область и введя требуемые для этого ограничения нагрузок потребителей.

Далее необходимо определение недоотпуска электроэнергии и ущерба потребителям от нарушений их электроснабжения в режиме отключения поврежденного элемента (РОПЭ) сети, оценка вероятности и частоты этих ситуаций и вероятного ущерба потребителям $\bar{Z}_{uyu}^{ROP\mathcal{E}}$.

Для выбора варианта ведения режима сети: неполнофазного или с отключением поврежденного элемента, необходимо сопоставить значения вероятных ущербов при ограничениях нагрузок в неполнофазных режимах с ущербами при отключениях поврежденных элементов:

$$\bar{Z}_{uyu}^{NPF\mathcal{E}} \text{ и } \bar{Z}_{uyu}^{ROP\mathcal{E}} \quad (1)$$

и выбрать вариант с минимальным ущербом потребителям [3,4]:

$$\min \left\{ \bar{Z}_{uyu}^{NPF\mathcal{E}}, \bar{Z}_{uyu}^{ROP\mathcal{E}} \right\}. \quad (2)$$

Адаптивные модели расчета неполнофазных режимов ЭЭС. К математическим моделям и алгоритмам решения задач расчета и анализа режимов ЭЭС, кроме общих требований надежности, быстродействия, удобства представления исходной и выходной информации, предъявляются все более высокие требования в отношении адекватности отображения реальных режимов, адаптивности к изменениям структуры сети, режимов и видов возмущений.

На основе проведенного анализа существующих методов расчета неполнофазных режимов ЭЭС [5-16] сделан вывод о целесообразности применения для их расчетов и анализа комплексных схем замещения (КСЗ) на базе симметричных составляющих.

Линейные математические модели расчета несимметричных, в том числе неполнофазных, режимов ЭЭС используются для целей релейной защиты и автоматики (РЗиА). Рассчитываются аварийные режимы ЭЭС, обусловленные как однократной поперечной или продольной несимметрией, так и режимы коротких замыканий (к.з.) в электрических сетях, работающих в неполнофазном режиме.

Разработанная методика расчета неполнофазных режимов основана на применении комплексных схем замещения без прямых электрических связей между последовательностями.

Для формирования КСЗ схемы замещения отдельных последовательностей симметричных составляющих в местах несимметрии соединяются между собой на основании граничных условий. Моделирование граничных условий несимметрии при составлении КСЗ может осуществляться с помощью многополюсников связи (МС) [7,8] или наборов идеальных трансформаторов (ИТ) [15,16] с коэффициентами трансформации $K_{it} = 1, a, a^2$, где $a = \exp(j2\pi/3)$, соответствующими коэффициентам урав-

нений граничных условий. Эти два разных способа моделирования граничных условий базируются на принципиально различных подходах к представлению мест несимметрий. В первом случае рассматривается матрица собственных и взаимных проводимостей места несимметрии; во втором случае с помощью набора ИТ непосредственно составляются граничные условия несимметрии.

Использование ИТ для связи между схемами прямой (ПП), обратной (ОП) и нулевой (НП) последовательностей позволяет обеспечить единый принцип моделирования элементов сети в рамках КСЗ. Кроме того, если нумерацию узлов КСЗ осуществить так, чтобы узлы ИТ получили последние номера, то матрица узловых проводимостей КСЗ будет иметь блочно-диагональную структуру с окаймляющей частью, в которой расположены проводимости связей ИТ с узлами несимметрии. Блочно-диагональная структура матрицы КСЗ позволяет при анализе неполнофазных режимов избежать процедуры сквозной оптимальной перенумерации узлов комплексной схемы и максимально использовать результаты вычислений предшествующего установившегося режима. При этом максимально используются преимущества расчета таких матриц методами оптимального исключения переменных. Применение же МС для моделирования ГУ несимметрий продольного типа нарушает блочно-диагональную структуру матрицы узловых проводимостей КСЗ за счет появления непосредственных связей между узлами несимметрии схем ПП, ОП и НП.

Исходя из преимуществ моделирования граничных условий ИТ перед МС, разработан универсальный алгоритм расчета неполнофазных и сложннесимметричных режимов ЭЭС по комплексным схемам замещения [15,16].

КСЗ, составленная для расчета неполнофазных и сложннесимметричных режимов ЭЭС, описывается системой линейных узловых уравнений:

$$Y_{KCZ} \dot{U}_{KCZ} = \dot{J}_{KCZ}, \quad (3)$$

где Y_{KCZ} – матрица узловых проводимостей КСЗ;

\dot{U}_{KCZ} – искомый вектор напряжений узлов КСЗ;

\dot{J}_{KCZ} – вектор узловых токов КСЗ.

Структуру системы (3) можно представить следующим образом:

$$\begin{bmatrix} Y^{(1)} & 0 & 0 & Y^{(1-D)} \\ 0 & Y^{(2)} & 0 & Y^{(2-D)} \\ 0 & 0 & Y^{(0)} & Y^{(0-D)} \\ Y^{(D-1)} & Y^{(D-2)} & Y^{(D-0)} & Y^{(D)} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{U}^{(1)} \\ \dot{U}^{(2)} \\ \dot{U}^{(0)} \\ \dot{U}^{(D)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{J}^{(1)} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $Y^{(1)}, Y^{(2)}, Y^{(0)}$ – матрицы узловых проводимостей схем ПП, ОП и НП, соответственно;

$Y^{(i-D)}, Y^{(D-i)}$ – матрицы проводимостей связей ИТ с узлами несимметрии ПП, ОП и НП ($i = 1, 2, 0$);

$Y^{(D)}$ – матрица узловых проводимостей ИТ;

$\dot{U}^{(1)}, \dot{U}^{(2)}, \dot{U}^{(0)}$ – векторы узловых напряжений схем ПП, ОП и НП;

$\dot{J}^{(1)}$ – вектор задающих токов в узлах ПП, определяемых значениями сверхпереходных ЭДС генераторов, полученных из предварительно рассчитанного доаварийного установившегося режима.

Система линейных уравнений узловых напряжений, описывающая КСЗ, с фиксированными значениями сверхпереходных ЭДС генераторов и нагрузок решается методом упорядоченного исключения неизвестных (методом Гаусса). Кроме того, в результате решения представляется возможность непосредственного определения токов и напряжений в схемах отдельных последовательностей.

Использование для расчетов неполнофазных установившихся режимов (НПФУР) линейных моделей электрических систем, применяемых для целей РЗиА, приводит к большим погрешностям. НПФУР являются, по существу, нагрузочными режимами, поэтому их расчет, как и расчет нормальных установившихся режимов энергосистем, должен проводиться при задании величин мощностей нагрузочных и генераторных узлов, то есть по нелинейным моделям.

Схемы замещения отдельных последовательностей ПП, ОП и НП формируются на базе тех же линейных моделей, за исключением учета нагрузок и генераторов. Как известно, в координатах симметричных составляющих синхронные генераторы являются источниками мощности только ПП. Источниками токов и напряжений ОП и НП являются места несимметрий. Поэтому нагрузки и генераторы при расчете НПФУР учитываются следующим образом: в схеме ПП – мощностью нормального (доаварийного) режима; предусматривается также фиксация модуля напряжения генераторных узлов. Потери мощности в нагрузках и генераторах, вызванные протеканием в них токов ОП и НП учитываются соответствующими сопротивлениями.

КСЗ, составленная для расчета НПФУР ЭЭС, описывается системой нелинейных узловых уравнений вида (4). Уравнения узловых напряжений

для узлов ПП являются нелинейными, так как задающие токи в узлах ПП определяются через мощности узлов:

$$\dot{J}_i^{(1)} = \hat{S}_i / \hat{U}_i, \quad (5)$$

где \hat{S}_i и \hat{U}_i – сопряженные значения мощности и напряжения i -го узла.

Разработана методика решения системы нелинейных узловых уравнений, описывающих КСЗ. Предварительно прямым ходом Гаусса исключаются пассивные узлы схем ОП и НП и дополнительные узлы ИТ. В результате получаем преобразованную систему нелинейных уравнений ПП:

$$Y_*^{(1)} \dot{U}^{(1)} = (\hat{U}_{(diag)}^{(1)})^{-1} \cdot \hat{S}, \quad (6)$$

где $Y_*^{(1)}$ – матрица узловых проводимостей расширенной (преобразованной) схемы ПП;

$(\hat{U}_{(diag)}^{(1)})^{-1}$ – обратная диагональная матрица сопряженных напряжений узлов ПП;

\hat{S} – вектор сопряженных мощностей узлов.

Решение (6) осуществляется методом Ньютона-Рафсона для узловых уравнений в форме баланса токов в прямоугольной системе координат [16-20]. Далее обратным ходом Гаусса определяются напряжения узлов ОП и НП.

Методика расчета НПФУР по комплексным схемам замещения обладает достаточной простотой алгоритма, так как базируется на узловых уравнениях, и универсальностью для электрических систем любой сложности. Кроме того, полученная матрица $Y_*^{(1)}$ представляет собой матрицу узловых проводимостей энергосистемы с учетом неполнофазных включений и может быть использована для целей исследования статической апериодической устойчивости НПФУР.

Технические характеристики неполнофазных режимов работы электрической сети. Рассмотрим коэффициенты, характеризующие состояние сети, работающей в неполнофазном режиме [1,21].

1. Коэффициент перегрузки по току оставшихся в работе фаз «В» или «С» при отключении фазы «А».

При неполнофазном режиме с отключением фазы «А» и сохранением в работе «здоровых» фаз «В» и «С» определение коэффициента перегрузки по току оставшихся в работе фаз «В» и «С» осуществляется по следующей формуле:

$$k_{nep}^{(1)} = \{abs(I^{(B)}) - I_{B,L}^{npeo}\}_{>0} / I_{B,L}^{npeo}, \quad (7)$$

где $I_{B,L}^{npeo}$ – предельно допустимый по нагреву ток в «здоровой» фазе.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

2. Коэффициент асимметрии токов.

Максимальная асимметрия токов будет равна отношению полного тока в фазе «В» (или в фазе «С») к току прямой последовательности:

$$k_{\text{асим}}^{(1)} = I^{(B)} / I^{(1)}. \quad (8)$$

3. Коэффициент асимметрии по току ОП:

$$k_{\text{асим}}^{(2)} = I^{(2)} / I^{(1)}. \quad (9)$$

Эти три коэффициента являются техническими характеристиками состояния сети, работающей в неполнофазном режиме.

В [2] указывается, что при работе сети в неполнофазном режиме асимметрия токов в фазах генераторов не должна превышать следующих значений:

а) для турбогенераторов – 12%;

б) для гидрогенераторов с воздушным охлаждением обмоток статоров мощностью 125 МВА и ниже – 20%, мощностью более 125 МВА – 15%, а для гидрогенераторов с водяным охлаждением обмоток статоров – 10%;

в) для синхронных компенсаторов – 20% .

При этом ток обратной последовательности при длительной работе не должен превышать для турбогенераторов – 5% и для гидрогенераторов – 10%.

Если коммутационные мероприятия по снижению асимметрии токов и токов обратной последовательности не дают нужных результатов, то необходимо идти на ограничения нагрузок потребителей и снижение общей загрузки перегруженных ЛЭП и генерирующего оборудования.

Разгрузка сети должна осуществляться целенаправленно с выбором для ограничений нагрузок тех узлов, которые приводят к ограничению тока в наиболее перегруженной ЛЭП, работающей в неполнофазном режиме. Для этого следует использовать общезвестную систему коэффициентов распределения токов $k_{(j)}^{(i)}$.

Ток в перегруженной ветви j определим по выражению:

$$I_{(j)} = \sum_{i=1}^{n_y} k_{(j)}^{(i)} \times I_y^{(i)}, \quad (10)$$

где $I_y^{(i)}$ – результирующий ток в i -м узле.

Для ограничения нагрузок выбираются узлы с коэффициентами $k_{(j)}^{(i)}$, влияющими на разгрузку наиболее перегруженной j -й ветви до выполнения условия:

$$I_{(j)} = \text{abs}(\sum_{i=1}^{n_y} k_{(j)}^{(i)} \times I_y^{(i)}) - I_{(j)}^{\text{пред}} = 0, \quad (11)$$

при одновременном обеспечении минимума ущерба потребителям по принципам, изложенным в [4].

Степень ограничения нагрузок узлов для ликвидации перегрузки ЛЭП, работающих в неполнофазном режиме, определяется как:

$$\varepsilon_i^{opr} = k_{nep}^{(1)} = \{abs(I^{(B)}) - I_{BL}^{pred}\}_{>0} / I_{BL}^{pred}. \quad (12)$$

Если при этом коэффициенты асимметрии токов по модулю (8) и по обратной последовательности (9) окажутся больше своих предельных (нормативных) значений, то потребуется дополнительное ограничение нагрузок потребителей в узлах сети до достижения условия:

$$k_{asym}^{(1)} \leq k_{pred}^{(1)}; \quad k_{asym}^{(2)} \leq k_{pred}^{(2)}. \quad (13)$$

С учетом изложенного, ограниченные нагрузки узлов составят:

$$\Delta P_{nagp_i}^{\max} = \varepsilon_i^{opr} P_{nagp_i}^{\max}, \quad (14)$$

а ограничение нагрузки системы будет равно сумме ограничений нагрузок узлов:

$$\Delta P_{cicm}^{opr} = \sum_i \Delta P_{nagp_i}^{\max}. \quad (15)$$

Вероятностные характеристики неполнофазных режимов и ущерб потребителям от нарушений их электроснабжения. Вероятностные характеристики неполнофазных режимов представляют собой:

1. Среднегодовую частоту однофазных устойчивых к.з. на входящих в схему ЛЭП и трансформаторах связи (последними, в принципе, можно пренебречь, учитывая их крайне редкую повреждаемость относительно к.з. на ЛЭП):

$$\lambda_{уст}^{ab(1)} = k_{к.з.}^{(1)} \lambda_{уст}^{ab}, \quad 1/\text{год}, \quad (16)$$

где $k_{к.з.}^{(1)}$ – доля однофазных к.з. в общей повреждаемости элемента (в расчетах можно принимать значения этого коэффициента для ЛЭП – 0,65 и для ОРУ – 0,60).

2. Среднее время восстановления (ремонта) однофазного отказа элемента, $\tau_{к.з.}^{ab(1)} \approx 3\text{--}6 \text{ ч/откл};$

3. Вероятность аварийных состояний элементов при однофазных к.з.:

$$q_{к.з.}^{(1)} = \lambda_{уст}^{ab(1)} \tau_{к.з.}^{ab(1)} / 8760, \text{ отн. ед.} \quad (17)$$

Недоотпуск электроэнергии потребителям определится по выражению [1,21]:

$$\Delta \vartheta_{к.з.}^{ab(1)} = 8760 \sum_{j=1}^N \varepsilon_i^{opr} \Delta P_{nagp_i}^{\max} q_{к.з.}^{(1)} \gamma_i(\varepsilon_i^{opr}), \text{ млн. кВт·ч/год}, \quad (18)$$

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

где $\gamma_i(\mathcal{E}_i^{oep})$ – плотность ограничивающей части графика нагрузки i -го узла в функции степени ограничения ее нагрузки.

При этом ущерб потребителям от нарушений их электроснабжения для обеспечения функционирования сети с допустимыми параметрами асимметрии составит:

$$Z_{ущ.к.з.}^{ae(1)} = 8760 \sum_{j=1}^N \mathcal{E}_i^{oep} \Delta P_{наер_j}^{\max} q_{k.z.}^{(1)} \gamma_i(\mathcal{E}_i^{oep}) z_{ущ_i}^{ae}(\mathcal{E}_i^{oep}), \text{ млн. у.е./год}, \quad (19)$$

где $z_{ущ_i}^{ae}(\mathcal{E}_i^{oep})$ – удельный ущерб от нарушений электроснабжения потребителей i -го узла, у.е./ кВт·ч [4].

Как показали предварительные расчеты для нескольких схем электрических сетей экономически целесообразнее использовать при устойчивых однофазных к.з. неполнофазный режим, чем работать с отключением поврежденных элементов.

Заключение. 1. Работа электрических сетей в неполнофазных режимах является одним, а часто и единственным способом повышения надежности функционирования ЭЭС и электроснабжения потребителей в послеаварийных и ремонтных режимах.

2. Применение адаптивных нелинейных моделей расчета неполнофазных установившихся режимов ЭЭС позволяет существенно повысить точность расчетов.

3. Предлагаемая модель электрических сетей напряжением 110 кВ и выше с учётом надёжности электроснабжения потребителей позволяет оценивать параметры неполнофазных режимов при однофазных коротких замыканиях в сетях с заземлённой нейтралью, а также возникающую при этом асимметрию токов в «здоровых» фазах по модулю и по токам обратной последовательности. Кроме этого позволяет осуществлять ввод режимов в допустимую по условиям асимметрии область путём выборочного целенаправленного ограничения нагрузок потребителей с соблюдением условия минимума экономического ущерба.

4. Сопоставление результатов работы электрических сетей 110 кВ и выше в неполнофазных режимах и их работы с отключением поврежденных элементов позволяет экономически обосновать наиболее эффективный режим их функционирования в аварийных ситуациях, возникающих при устойчивых однофазных коротких замыканиях.

Литература

1. Насиров Т.Х., Непомнящий В.А., Радионова О.В. Анализ надежности электроснабжения потребителей при неполнофазных режимах с использованием адаптивных моделей их расчета. /Сборник трудов Меж-

дународного научного семинара «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (Ташкент, 23-27 сент. 2019 г.): Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2-х книгах. / Книга 1. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019, 371 с. – С. 135-143.

2. Методические указания по применению неполнофазных режимов работы основного электрооборудования электроустановок 330-1150 кВ. – М.: ОРГРЭС, 1999.

3. Непомнящий В.А. Экономико-математическая модель надежности энергосистем и их электрических сетей // Электричество, 2012, №2. – С. 5-16.

4. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 190 с.

5. Лосев С. Б., Чернин А. Б. Вычисления электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.

6. Дунаева Н.П., Конторович А.М., Щербачев О.В. Методика расчета неполнофазных установившихся режимов сложных электрических систем. // Труды ЛПИ, 1980, № 369. – С. 3-5.

7. Соколов Н.И. Построение и применение комплексных схем замещения при сложных несимметричных цепях // Электричество, 1949, № 8. – С. 21-28.

8. Попов В.А. Исследование и разработка методов расчета на ЦВМ электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электросистемах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МЭИ, 1972. – 32 с.

9. Берман А.П. Расчет несимметричных режимов электрических систем с использованием фазных координат // Электричество, 1985, № 12. – С. 102-105.

10. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. – 273 с.

11. Вайнштейн Р.А., Лозинский К.С., Коломиец Н.В. Расчет несимметричных режимов в электроэнергетической системе на основе сочетания систем координат // Известия ТПУ, Томск, 2010, Т. 316, № 4. – С. 146-152.

12. Осак А.Б. Практические методы расчета токов короткого замыкания в ЭЭС при сложных видах замыканий с использованием фазных координат. // Технические науки – от теории к практике, 2016, № 2. – С. 181-192.

13. Рагозин А.А., Мисриханов М.Ш., Попов В.А., Якимчук Н.Н., Медов Р.В. Моделирование электроэнергетических систем при решении задач несимметричных режимов // Повышение эффективности работы

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

энергосистем: Труды ИГЭУ, Вып. 4. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – С. 51-62.

14. Мисриханов М.Ш., Рагозин А.А., Попов В.А., Кушкова Е.И. Методика расчета установившихся неполнофазных режимов оборудования 110 кВ и выше в электрических системах / Повышение эффективности работы энергосистем: Труды ИГЭУ, Вып. 4. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – С. 62-69.

15. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Моделирование сложннесимметричных режимов для целей релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем // «Энергоэксперт» – Санкт-Петербург, 2012, № 1. – С. 4-6.

16. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Моделирование режимов электрических систем. – Т.: «Fan va texnologiya», 2016. – 336 с.

17. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Адаптивные методы расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Т.:Фан ва технология, 2018. – 240 с.

18. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Об адаптивных методах расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. /Сб. научных трудов международной научно-технической конференции: «Энергоэффективность – основа развития энергетики Узбекистана»// «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журнали, Тошкент, 2018. № 3-4, 70-75 б.

19. Насиров Т.Х., Радионова О.В., Гайибов Т.Ш. Применение узлового метода в задачах анализа режимов электроэнергетических систем. – Т.: “Fan va texnologiya”, 2019. – 260 с.

20. Nasirov T.X., Radionova O.V. Elektr stansiyalar va tizimlarning rejimlari va o‘tish jarayonlarining maxsus masalalari. – Т.:Fan va texnologiya, 2019. – 72 b.

21. Nasirov T.H., Nepomnyashchiy V.A., Radionova O.V. Analysis of reliability of power supply of consumers in non-full-phase modes using adaptive models of their calculation.// Methodological Problems in Reliability of Large Energy Systems (RSES 2019) 23-27 September 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901012>.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.3.011

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛЬТ - АМПЕРНОЙ И АМПЛИТУДНО – ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРОРЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ

А.Н. Товбоев, М. Ибодуллаев, Т. Амиров

Маълумки, сизим ва noctizikli индуктивликдан тузилган электр занжирларда параметрлар ёки кучланишинг аниқ бир қийматларида феррорезонанс ҳодисаси юзага келади. Ушбу ҳодисага параметр қийматларини частота ёки киришидаги кучланишини ўзгартириши ҳисобига эришиши мумкин. Ноctizikli феррорезонанс занжирларда юзага келадиган тебраниши жараёнлар жуда мураккаб бўлиб, уларни тадқиқот қилиши ҳам қийин масала ҳисобланади. Амалда феррорезонанс ҳодисаси асосида ток ёки кучланиши барқарорлигини таъминловчи стабилизатор ёки турли хилдаги частота ўзгартирувчи қурилмалар ясаш мумкин. Бундан ташкири феррорезонанс ҳодисаси электр тамином тизимларида юзага келиши, уткинчи жараенлани хосил килиб электр жиҳозларининг ишдан чикишига ҳам сабаб болади. Мақолада феррорезонансли занжирларда ҳосил бўладиган автопараметрик тебранишлар хусусияти ўрганилиб, дифференциал тенгламасини гармоник мувозанатланиши усулига асосан ечилган. Ток амплитудасининг кучланиши ва частотага нисбатан ифодаловчи алгебраик тенгламалари келтириган. Натижада график асосида қурилган вольт-ампер ва амплитуда-частотавий характеристикадан кучланишинг битта қийматига тукнинг учта қиймати мос келиши курсатилган. Компьютерда моделлаштириши билан феррорезонанс ҳодисасининг ҳосил бўлиши чегаралари параметрларга нисбатан таҳлил қилиниб, вольт-ампер ва амплитуда-частотавий характеристикалари қурилган. Феррорезонанс ҳодисаси бошлангич шартларга нисбатан, ўткинчи жараёни таҳлил қилиниб, барқарорлик чегаралари ҳам башоратланган. Одатда феррорезонанс ҳодисаси юзага келганда, занжирда ток ва кучланишлар сакраб узгаради ва фаза фарки ҳам узгаради. Бази холларда субгармоник тебранишлар ҳам ҳосил булиши мумкун. Маколада келтириган натижалар амалда кучланиши стабилизаторы, фаза – дискретли, частота узгартичли қурулмаларни лоихалашда ва электр тамином тизимида юзага келадиган феррорезонанс ҳодисасини татқикот қилишда ҳам фойдаланиши мумкун.

Известно, что в электрической цепи, содержащей емкость и нелинейную индуктивность при определенных значениях параметров цепи и приложенного напряжения, возникает феррорезонансное колебание. В

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

отличие от линейных, в нелинейных электрических цепях феррорезонансного режима можно достичь изменением параметров цепи, частоты и входного напряжения. Следует отметить, что колебательные процессы в нелинейных феррорезонансных цепях обладают исключительным многообразием и сложностью для исследований. Многие явления такого рода с успехом используются в стабилизирующих и частотопреобразующих устройствах. С другой стороны, возникновение и продолжительное существование автоколебаний в системах электроснабжения крайне нежелательно, так как они вызывают перенапряжения, дополнительные термические и динамические усилия в электромеханической аппаратуре, ложное срабатывание релейной защиты и т.п. В статье приведены результаты исследования возбуждения автопараметрических колебаний основной гармоники последовательной феррорезонансной цепи, принимая вольт-амперную характеристику в виде кубического полинома, составлены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие феррорезонансную цепь и решенные методом гармонического баланса. Получены алгебраические уравнения, выражающие зависимости вольт-амперной и амплитудо-частотной характеристики цепи. Показано, что при возбуждении феррорезонанса происходит скачкообразное изменение тока с опрокидыванием фазы. В неустойчивой области вольтамперной характеристики наблюдается возбуждения субгармонических колебаний. Компьютерным моделированием построены вольт-амперные и амплитудно-частотные характеристики феррорезонанса напряжений и определены области возбуждения при изменении параметров цепи. Рассмотрен процесс возбуждения феррорезонансных колебаний, где одному значению напряжения соответствуют три значения тока в зависимости от начальных условий и определены области устойчивых колебаний. Изучен процесс возбуждения феррорезонансных колебаний и характер протекания переходного процесса в зависимости от начальных условий. Построены амплитудно-частотные характеристики в зависимости от изменения емкости. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании стабилизатора напряжения, фазо-дискретных устройств, преобразователя частоты и тд. А также могут быть полезными при изучении феррорезонансных явлений в системах электроснабжений.

It is known that a ferroresonance oscillation occurs in an electrical circuit containing capacitance and nonlinear inductance at certain values of the circuit parameters and the applied voltage. Unlike linear, in nonlinear electrical circuits, the ferroresonance mode can be achieved by changing the circuit parameters, frequency and input voltage. It should be noted that oscillatory processes in nonlinear ferroresonance circuits have an exceptional variety and complexity for research. Many phenomena of this kind are successfully used in

stabilizing and frequency-converting devices. On the other hand, the occurrence and continued existence of self-oscillations in power supply systems is highly undesirable, since they cause overvoltage, additional thermal and dynamic forces in electromechanical equipment, false operation of relay protection, etc. The article presents the results of a study of the excitation of autoparametric oscillations of the fundamental harmonic of a sequential ferroresonance circuit, taking the volt-ampere characteristic in the form of a cubic polynomial, nonlinear differential equations describing the ferroresonance circuit and solved by the harmonic balance method. Algebraic equations expressing the dependences of the volt-ampere and amplitude-frequency characteristics of the circuit are obtained. It is shown that when the ferroresonance is excited, an abrupt change in the current occurs with phase overturning. In the unstable region of the current-voltage characteristic, excitations of subharmonic oscillations are observed. The volt-ampere and amplitude-frequency characteristics of the voltage ferroresonance are constructed by computer modeling and the excitation regions are determined when the circuit parameters change. The process of excitation of ferroresonance oscillations is considered, where three current values correspond to one voltage value depending on the initial conditions and the regions of stable oscillations are determined. The process of excitation of ferroresonance oscillations and the nature of the transition process depending on the initial conditions are studied. The amplitude-frequency characteristics are constructed depending on the change in capacitance. The results of the study can be used in the design of a voltage stabilizer, phase-discrete devices, a frequency converter, etc. And they can also be useful in the study of ferroresonance phenomena in power supply systems.

Введение. Автоколебательные процессы в нелинейных электроферромагнитных цепях обладает исключительным многообразием и сложностью их исследований. Многие явления такого рода с успехом используется в стабилизирующих и частото-преобразующих системах [2,4,5,6,8,10,11,13,14,15,18,19,20]. С другой стороны возникновение и продолжительное существование автоколебаний в системах электроснабжения крайне нежелательно, так как они вызывает перенапряжения, дополнительные термические и динамические усилия в электромеханической аппаратуре, ложное срабатывание релейной защиты и т.п. [1,2,3,4,7,8,12,16].

Основная часть. Для выявления физическую картину автопараметрических процессов на основной гармонике феррорезонанса рассмотрим последовательное соединение катушке со стальным магнитпроводом и конденсатора подключенных синусоидально напряжения $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Принимая вебер-амперное характеристики нелинейное индуктивность.

$$\psi = \alpha i - \beta i^3 \quad (1)$$

(эта аппроксимация справедлива только $\frac{d\psi}{dt} > 0$ т.е. при $\sqrt{\alpha/3\beta}$) емкость С и сопротивление r считаем известными. Для построение вольт-амперное (ВАХ) амплитудно-частотных (АЧХ) характеристик цепи используем метод гармонического баланса. В первом приближении метода учитываем только первую гармонику всех периодических величины в цепи и принимая ток равным: $i(t) = I_m \sin \omega t$ тока в соответствии с (1) потокосцепление

$$\psi(t) = (\alpha I_m - 0,75\beta I_m^3) \sin \omega t + 0,25\beta I_m^3 \sin 3\omega t$$

Уравнение цепи записывается в виде:

$$\frac{d\psi}{dt} + ri + \frac{1}{C} \int idt = u(t)$$

или после подстановки значений (1) получим:

$$\left(\alpha \omega - \frac{1}{\omega C} - 0,75\beta I_m^2 \right) I_m \cos \omega t + r I_m \sin \omega t + 0,75\omega \beta I_m^3 \cos 3\omega t = u(t) \quad (2)$$

Пренебрегая третью высшей гармоникой входное напряжение представим:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) = U_a \sin \omega t + U_b \cos \omega t,$$

$$\text{где } U_m = \sqrt{U_a^2 + U_b^2}; \varphi = \arctg \frac{U_b}{U_a}.$$

После подстановки $u(t)$ в (2) приравняем коэффициенты при одинаковых тригонометрических функция в левый и правой части, возведя в квадрат и сложив их получим уравнения ВАХ и АЧХ цепи:

$$\left[\left(\alpha \omega - \frac{1}{\omega C} - 0,75\beta I_m^2 \right)^2 + r^2 \right] I_m^2 = U_m^2 \quad (3)$$

Принимаем $\omega = \text{const}$ построим зависимость между $U_m = f(I_m)$ по уравнению (3).

$$\text{Обозначим } \alpha \omega - \frac{1}{\omega C} = \xi \text{ и положим для определенности } \xi > 0.$$

Уравнение вольт-амперной характеристики примет вид:

$$\sqrt{(\xi - 0,75\beta I_m^2) I_m^2 + (r I_m)^2} = U_m \quad (4)$$

Напряжение U_m представляет собой геометрическую сумму напряжений на реактивной и резистивной частях контура.

Феррорезонансу соответствует равенство нулю реактивной составляющей напряжения $\xi - 0,75\beta I_m^2 = 0$; таким образом, резонанс имеет место при значения тока

$$I_{m0} = I_p = \sqrt{\xi/0,75\beta\omega} \quad (5)$$

При $r = 0$ вольтамперная характеристика представляет собой кубическую параболу, изображенную в виде кривой «а» на рис.1 (по осям координат отложены модули амплитуд тока и напряжения). При токах меньших I_0 цепь имеет индуктивный характер, при больших -емкостной.

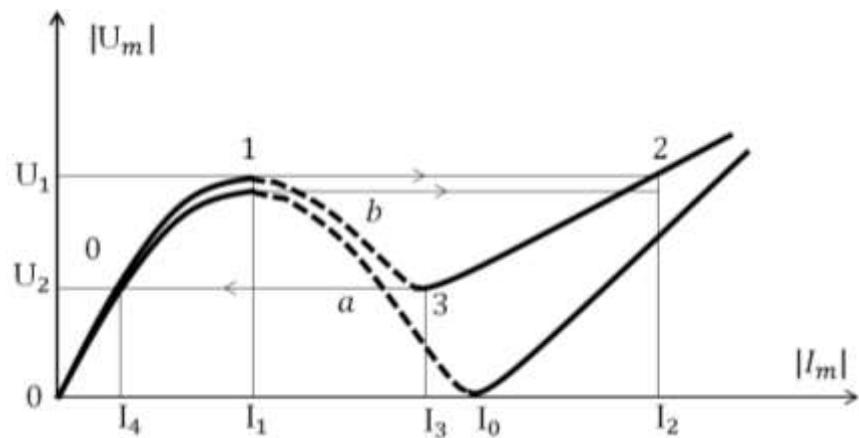


Рис.1. Вольт-амперные характеристики феррорезонанса напряжений

При наличии потерь в контуре к суммарному напряжению на реактивных элементах прибавляется напряжение на резистивном элементе, поэтому вольтамперная характеристика $U_m(I_m)$ (кривая «б» на рис.1) проходит выше характеристики контура без потерь.

На вольтамперной характеристике имеется область напряжений от U_1 до U_2 , где одному значению напряжения U_m соответствуют три стационарных значения тока I_m . При питании цепи от источника ЭДС эта область представляет собой область феррорезонансных скачков амплитуды тока. При плавном увеличении напряжения от нуля при значении $U_m = U_1$ ток скачком увеличивается от значения I_1 до I_2 ; при уменьшении напряжения до $U_m = U_2$ ток скачком уменьшается от I_3 до I_4 .

Очевидно, что все значения токов, лежащие на ветви 1–3 вольтамперной характеристики с отрицательной производной $\partial U_m / \partial I_m$ (падающий участок или участок с отрицательным наклоном) являются не-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

устойчивыми при питании цепи от источника ЭДС. Снять вольт-амперную характеристику полностью можно только при питании цепи от источника тока.

При малых сопротивлениях $r \approx 0$ точка минимума вольт-амперной характеристики соответствует току феррорезонанса I_0 . При увеличении сопротивления минимум характеристики смещается влево от точки резонанса. Это видно из выражения для экстремумов вольт-амперной характеристики:

$$I_{\text{экстр}}^2 = \frac{2(2\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 3r^2})}{9\beta}, \quad (6)$$

где положительному знаку перед корнем соответствуют минимумы, отрицательному - максимумы характеристики. Видно, что с увеличением сопротивления r подкоренное выражение уменьшается и, следовательно, уменьшается ток, соответствующий минимуму напряжения. При $r > \xi/\sqrt{3}$ вольт-амперная характеристика становится монотонной, феррорезонансные скачки в этом режиме отсутствуют.

При наличии сопротивления r напряжение $u(t)$ при резонансе равно $u(t) = rI_m \sin \omega t + 0,75\omega\beta I_m^3 \cos 3\omega t$.

Наличие высших гармоник оказывается на точности измерений при эксперименте.

В уравнении (3) зафиксируем напряжение U_m и построим зависимость тока I_m от частоты ω :

$$I_m = U_m / \sqrt{\left(\alpha\omega - \frac{1}{\omega C} - 0,75\omega\beta I_m^2\right)^2 + r^2}. \quad (7)$$

При малых напряжениях и малых токах величиной $0,75\omega\beta I_m^2$ в знаменателе (7) можно пренебречь, и уравнение примет вид, аналогичный уравнению линейного последовательного резонансного контура с резонансной частотой $\omega_0 = 1/\sqrt{\alpha C}$. Эта характеристика изображена на рис.2 (кривая «a»). с увеличением амплитуд U_m и I_m резонансная частота, определяемая условием, увеличивается:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{0,375\beta I_m^2}{\alpha} + \sqrt{(0,375\beta I_m^2/\alpha)^2 + \omega_0^2}. \quad (8)$$

Зависимость резонансной частоты от тока изображена на рис.2 пунктирной линией. Амплитудно-частотные характеристики имеют такой же характер, как и в случае линейного контура, то есть располагается симметрично относительно резонансной частоты. Вид амплитудно-частотной характеристики при достаточно большом напряжении изображен на кривой «b» рис.2. На этой характеристике имеется область, где одному значению частоты соответствуют три значения тока. Эта область представляет собой область феррорезонансных скачков амплитуды тока. При плавном увеличении частоты до значений $\omega > \omega_2$ ток скачком уменьшается от значения I_1 до I_2 . При уменьшении частоты до $\omega < \omega_1$ ток уве-

личивается от I_3 до I_4 . Очевидно, что все значения токов, лежащие на участке 1-3 характеристики, являются неустойчивыми.

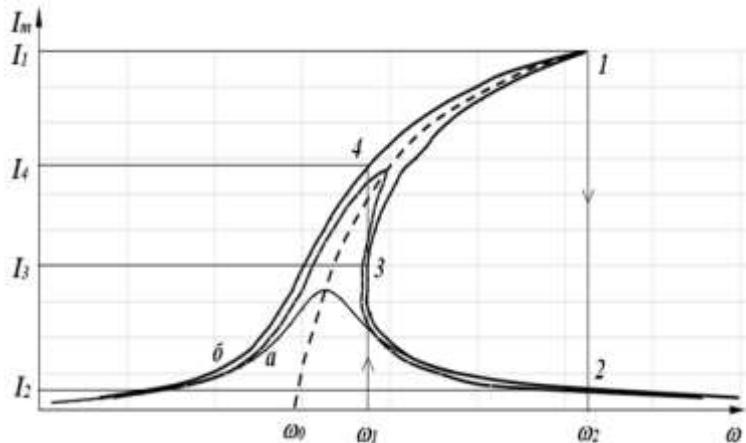


Рис.2. Амплитудно-частотные характеристики феррорезонанса напряжений

Вольтамперная характеристика рис.1 соответствует частоте, лежащей в диапазоне от ω_1 до ω_2 . Их также можно построить графическим способом.

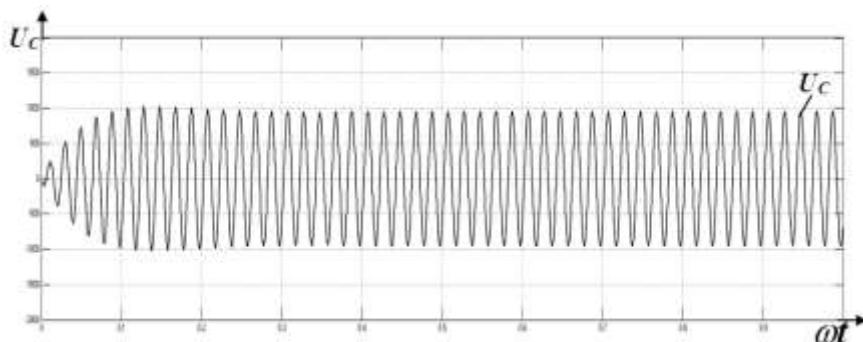


Рис.3. Процесс возбуждения феррорезонанса напряжений

Процесс возбуждения феррорезонанса напряжения при изменении входного напряжения U , и параметров цепи были исследованы в компьютерной модели. Вольт-амперные характеристики по уравнению (3) при $U_{\text{вх}} = 150$ В; $R = 0 \div 10$ Ом; $X_c = 50$ Ом приведены рис.1. Откуда следует, что феррорезонанс в цепи наступает при $U_L = U_C = 100$ В и $I = 1,2$ А. Оциллограммы кривых феррорезонанса напряжения на емкости показаны в рис.3. Согласно (7) построены графики амплитудно-частотной характеристики при изменении емкости $16 \div 50$ мкФ (рис.2).

Выводы. 1. В феррорезонансных цепях в определенных соотношениях параметров цепи и приложенного напряжения возникает феррорезонанс.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

нансное явление со скачкообразным изменением тока и напряжения с опрокидыванием фаз.

2. Математическим моделированием построены вольт-амперные, амплитудно-частотные характеристики феррорезонансный цепи, где показаны, одному значению напряжения соответствуют три значения тока.

3. На основе феррорезонансных явлений можно построить, стабилизаторы напряжения и тока, делители частоты, фазодискретные устройства, многоустойчивые элементы, бесконтактные реле и т.д

Литература

1. Филлипов Е. Нелинейная электротехника. - М.: Энергия,2015.- С.496.
2. Каримов А.С., Рахимов Г.Р. Автопараметрические преобразователи числа фаз и частоты переменного тока. -Т.: Фан, 1975.- С.173.
3. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи, - М.: Высшая школа, 2015. –С. 380.
4. А.Н. Расулов, Т.М. Кадыров. Электромагнитные цепи в режимах стабилизации и регулирования. Монография. - Т, 2014 . – С.191.
5. Бедрицкий И.М. Параметрические источники вторичного электропитания с электроферромагнитными элементами. Монография Т.2020-С.162.
6. Богданов А.И. Феррорезонансные стабилизаторы напряжения М.Энергия 1992-С.136.
7. Кажекин И.Е. Исследование устойчивости состояний равновесия феррорезонансного контура. Вестник молодежной науки 2019 №1-С.18-23
8. Матюк В.Ф. Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. Неразрушающий контроль и диагностика 2011 №2 – С.3-20.
9. Маматов С.С, Расулов А.Н., Каримов Р. Исследование феррорезонансного стабилизатора тока “Наука и современное общество: взаимодействие и развитие”.2017 Т.2 №1- С.66-70.
10. Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р. Феррорезонансные устройства для стабилизации тока. Технические науки. №3-4 1916 С.5-9.
11. Ибадуллаев М.И., Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р., Шавкатов В.В. Способы компенсации отрицательного участка вольт-амперной характеристики феррорезонансной цепи. Проблемы энерго- и ресурсосбережения Т.2020 №3-4 С.122-125.

12. Дозоров С.А., Кокелев П.А. ,Опре В.М. Трансформаторно-емкостной стабилизатор тока. Вестник Саратовского государственного технического университета 2012 №2 С.59-65.
13. Ибадуллаев М.И., Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р. Стабилизация тока в двухфазно-однофазных цепях. Проблемы энерго - и ресурсосбережения Т.2018 №3-4 С.134-139.
14. Саенко Ю.Л., Попов А.С. Исследование феррорезонансных процессов с учетом варьирования вебер-амперной характеристики трансформаторов напряжения, “Техническая электродинамика” К.2012 №4 С. 110-120.
15. Жуховицкий Б.Я., Негневицкий И.Б. Теоретические основы электротехники ч.2 М.1965г. С.238.
16. Каримов А.С., Львов В.К. Исследование симметричный трехконтурной автопараметрической цепи в режиме возбуждения колебаний на частоте источника питания. Электричество 1987 №11 С.41-46.
17. Курzin Н.Н., Коблев Б.А. Стабилизаторы напряжения переменного тока “Научный журнал КубГАУ 2017 №130 С. 2-11.
18. Jacobson D.A. Examples of ferroresonance in a high voltage power system. “In Proc.IEEE Power Engineering Society General Meeting 2003- 2 p. 1206-1212.
19. Betritskiy I.M., Boltaev O.T. Modeling of sensors of the Hale in software packages Simscape and Simulink – “European science Revier” №1, 2019 №1-P.18-23.
20. Radmanech H., Abassi A. and Rostami M. Analysis of Ferroresonance phenomena in power transformers including neutral resistance effect, IEEE conference , Georgia, USA 2009.

*Представлено Навоийским государственным
горным институтам и Таишентским государственным
техническим университетом*

УДК: 621.316.1

**ҚИШЛОҚ ЭЛЕКТР ТАРМОГИДА КАБЕЛЬ ЛИНИЯСИНИНГ
ОПТИМАЛ ҚУРИШ ТЕНДЕНЦИЯСИ ТАХЛИЛИ**

А.Д. Таслимов, Ф.М. Рахимов, Ш.С. Самиев

Ushbu maqolada jahonda qishloq xo'jaligida ishlab chiqarishni zarur miqdorda elektr energiyasi bilan ishonchli ta'minlash bo'yicha belgilangan vazifalarini muvaffaqiyatli hal etish qishloq xo'jaligi elektr tarmoqlarini yanada rivojlantirish, jumladan qishloq joylardagi iste'molchilar elektr ta'minoti ishonchlilagini oshirish va uzatilayotgan elektr energiyasi sifatini oshirish uchun kabel liniyalaridan foydalanishni hamda bu yo'nalishda qishloq elektr tarmoqlari elementlarini tanlash usullarini takomillashtirish katta ahamiyatga ega ekanligi haqida yozilgan. SHu munosabat bilan qishloq xo'jaligi iste'molchilariga kabel tarmoqlari yordamida elektr energiyasi etkazib berish va qishloq elektr tarmoqlarini loyihalash, rekonstruksiya, modernizatsiya qilish va ishlatishda ularning optimal parametrlaridan foydalanish orqali liniyalardagi isroflarni kamaytirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Jahon energetikasini rivojlantirishda yangi elektr tarmoqlarini qurish, mavjud elektr tarmoqlarini modernizatsiya va rekonstruksiya qilish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Jumladan, qishloq xo'jaligi hududlari elektr iste'moli va yuklamalarining sezilarli oshishi sababli, ularning elektr ta'minoti tizimida elektr energiya isroflarini kamaytirish, hamda energiya va resurs tejamkor texnologiyalarni joriy qilish yo'nalishlaridagi ishlarni ko'rsatib o'tish mumkin. Bu yo'nalishda mamlakatimiz qishloq elektr tarmoqlarini optimal qurish bilan elektr energiyani uzatish va taqsimlash samaradorligini ta'minlash, elektr ta'minoti ishonchlilagini oshirish, ayniqsa past kuchlanishli elektr tarmoqlarida elektr energiya isroflarini sezilarli darajada kamaytirish dolzarb hisoblanadi. Bu vazifalarini bajarish uchun xususan, elektr tarmoqlarining optimal parametrlarini aniqlash, ularning ishonchlilagini oshirishda nazariy va ilmiy ishlarni olib borish hamda qishloq elektr tarmoqlarini loyihalash, qurish, modernizatsiya qilish va ishlatish bo'yicha tegishli tavsiyalar olish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

В мире особое внимание уделяется решению задач по надежному обеспечению сельскохозяйственного производства необходимым количеством электроэнергии, что требует дальнейшего развития электрических сетей сельскохозяйственного назначения, в том числе и применения кабельных линий с целью повышения надежности электроснабжения потребителей в сельской местности и качества передаваемой электроэнергии. Большое значение в этом направлении приобретает совершенствование методов выбора элементов сельских электрических сетей. В

этой связи важной задачей является повышение надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей с применением кабельных сетей и снижение потерь электроэнергии в кабельных линиях за счет применения их оптимальных параметров при проектировании, реконструкции, модернизации и эксплуатации сельских электрических сетей. В мире для развития энергетики проводятся научно-исследовательские работы по строительству новых, модернизации и реконструкции действующих электрических сетей. В том числе, можно показать, работы направленные на снижение потерь электроэнергии в системе электроснабжения из-за значительного увеличения электрических нагрузок и электропотребления сельских потребителей и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий. В данном направлении при оптимальном построении сельских электрических сетей нашей страны, одной из важных задач является обеспечение экономичности передачи и распределения электроэнергии, повышение надежности электроснабжения, особенно значительное снижение потерь электроэнергии в низковольтных электрических сетях. Для выполнения указанных задач, в частности, определения оптимальных параметров электросетей и повышения их надежности важным является проведение теоретических и научных работ и получение соответствующих рекомендаций по их внедрению при проектировании, сооружении, модернизации и эксплуатации сельских электрических сетей.

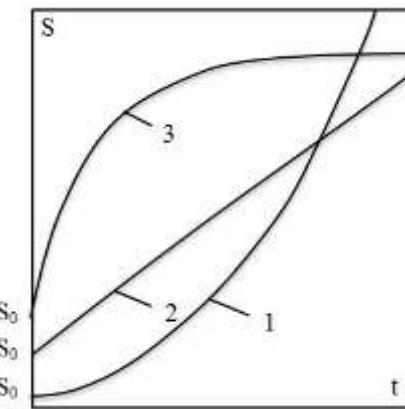
This article describes in the world special attention is paid to solving problems of reliable provision of agricultural production with the required amount of electricity, which requires further development of electrical networks for agricultural purposes, including the use of cable lines in order to increase the reliability of electricity supply to consumers in rural areas and the quality of transmitted electricity. Improvement of methods for selecting elements of rural electrical networks is acquiring great importance in this direction. In this regard, an important task is to increase the reliability of power supply to agricultural consumers using cable networks and reduce electricity losses in cable lines through the use of their optimal parameters in the design, reconstruction, modernization and operation of rural electrical networks. In the world for the development of the energy sector, research is being carried out on the construction of new, modernization and reconstruction of existing electrical networks. In particular, it can be shown that works aimed at reducing electricity losses in the power supply system due to a significant increase in electrical loads and electricity consumption of rural consumers and the introduction of energy and resource-saving technologies. In this direction, with the optimal construction of rural electrical networks in our country, one of the important tasks is to ensure the efficiency of transmission and distribution of elec-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

tricity, increase the reliability of electricity supply, especially a significant reduction in electricity losses in low-voltage electrical networks. To accomplish these tasks, in particular, to determine the optimal parameters of power grids and improve their reliability, it is important to carry out theoretical and scientific work and obtain appropriate recommendations for their implementation in the design, construction, modernization and operation of rural power grids.

Кириш. Республикамиз электр энергетикасини ривожлантиришда тизимнинг асосий параметрларини танлаш учун замонавий ёндашувлардан фойдаланиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, жумладан қишлоқ электр тармоқларини оптималлаштириш, янгилаш ва ишончлилигини ошириш усулларини ишлаб чиқишига алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017 – 2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида « ...иктисодиётнинг энергия ва ресурслар сифимларини қисқартириш, иктисодиёт тармоқларида энергия сарфини камайтиришнинг мақсадли параметрларига мувофиқ амалга ошириладиган энергия тежовчи технологияларни ишлаб чиқаришга кенг жорий этиш,... » вазифалари белгиланган. Аммо ҳозирги кунда қишлоқ хўжалиги тақсимловчи электр тармоқлари параметрларини танлашда чегараланишлар (электр тармоқларининг рухсат этилган токи ва кучланиш юқотилиши шартлари), юкламани ўсиш динамикаси, параметрларни унификациялаш тамойили ва тармоқни ривожланишини ҳисобга олиб, қишлоқ электр тармоқларини мақбул равишда қуриш муаммолари, шунингдек кабель линияларидан фойдаланган ҳолда қишлоқ истеъмолчиларини электр таъминоти ишончлилигини ошириш муаммолари етарлича ўрганилмаган.

Асосий қисм. Ҳозирги вақтда қишлоқ хўжалигининг тақсимловчи тармоқлари юкламасининг доимий ўсиши билан ажралиб туради. Бундай шароитларда электр узатиш линияларининг параметрларини тўғри танлаш, биринчи навбатда ҳаво ва кабель линияларининг кўндаланг кесим юзаларини танлаш, катта аҳамиятга эга [1,2,3,4,5]. Бунинг учун дастлаб динамик ўзгарувчан юклама остидаги кабель линиясининг ривожланишининг оптимал тенденцияси аниқланиши лозим. Тадқиқотларда юклама ўсишини экспоненциал (кўрсаткичли), чизиқли ва оддий ўзгартирилган кўрсаткичли функция қонунларига мувофиқ кўриб чиқиш тавсия этилади [10,11,12,13]. Юкламанинг ўсиш қонуниятлари график тарзда 1-расмда кўрсатилган.



1 – расм. Юкламанинг ўсиш қонунлари: 1 – экспоненциалли (күрсаткичли); 2 – чизиқли; 3 – оддий ўзгаририлган күрсаткичли

Юклама ўсишининг экспоненциал функциясидан фойдаланиш юкламанинг доимий йиллик ўсиши шароитида тадқиқотлар ўтказиш имконини беради. Ҳар қандай вақтдаги юклама қўйидаги ифода билан аниқланади:

Юклама ўсишининг экспоненциал функцияси:

$$S_t = S_0(1 + k_{\dot{y}_c})^t \quad \text{ёки} \quad S_t = S_T(1 + k_{\dot{y}_c})^{t-T}; \quad (1)$$

бунда: S_0 – бошланғич юклама; $k_{\dot{y}_c}$ – юкламани ўсиш коэффициенти; S_T – хисобий давр охиридаги юклама.

Хисобий даврнинг охиридаги S_T юклама қўйидаги аниқланади:

$$S_T = S_0(1 + k_{\dot{y}_c})^T; \quad (2)$$

бунда

$$S_0 = S_T(1 + k_{\dot{y}_c})^{-T}. \quad (3)$$

S_0 ни (3) ифодадаги қийматини (1) ифодага қўйиб юкламанинг ўсиш қонунини қўйидаги охирги ифода орқали топамиз:

$$S_t = S_T(1 + k_{\dot{y}_c})^{t-T}. \quad (4)$$

Юкламанинг чизиқли ўсишида олиб борилган тадқиқотлар, доимий юклама ортиши билан электр тармоғини қуриш тенденцияларини ўрганишга имкон берди. Юкламанинг чизиқли ўсиш қонунида ҳар қандай вақтдаги юклама қўйидаги ифода билан аниқланади:

$$S_T = S_0(1 + k_{\dot{y}_c}T) \quad \text{ёки} \quad S_t = S_T(1 + k_{\dot{y}_c}T)^{-1}(1 + k_{\dot{y}_c}t). \quad (5)$$

Оддий оддий ўзгаририлганган функция йиллик нисбий юкланишни нолгача пасайиши ва кейинги доимий юкланиш шароитида кабель линияларини ривожлантириш бўйича тадқиқотлар ўтказишга имкон беради. Юклама ўсишининг ушбу модели эксплуатация шароитларига яқин бўлган вақтда оптималь тенденциясини тадқиқ қилишга имкон беради. Бунда юклама маълум даражага етади ва келажакда уни қайта

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

тақсимлаш туфайли доимий бўлиб қолади. Бундай ҳолда, юклама қуидаги ифода бўйича аниқланади:

$$S_t = S_T \left[1 - \left(1 - \frac{1}{k_T} \right) m^t \right], \quad (6)$$

бунда: m – юкламанинг динамик ўсиш коэффиценти. k_T – юклама ўсишининг карралик коэффициенти:

$$k_T = \frac{S_T}{S_0}. \quad (7)$$

Тадқиқотларни амалга ошириш учун кабель линияни оптималь қуришнинг динамик дастурлашга асосланган оптимальлаштириш модели ишлаб чиқилди. Бундай масалани динамик дастурлаш усули асосида ечиш мумкин ва бу мақсадга мувофиқдир [6,7,8,9].

Дастлаб ҳар бир N кесимнинг битта кабелини ёки ҳар қандай N кесимнинг иккита параллел кабелини, шу жумладан тенг кесимини ётқизиш кўриб чиқилади. Эксплуатация қилиш жараёнида истеъмолчи юкламасининг ортиши билан ҳар йили қуидаги вариантлар кўриб чиқилади: дастлаб қабул қилинган кабель (ёки паралел кабеллар) қолади ёки мавжуд кабелга параллел равишда қўшимча иккинчи кабель ётқизилади. Бунда кабель линиясининг барча N номинал кесим юзали вариантлари кўриб чиқилади.

Динамик дастурлаш нуқтаи назаридан тадқиқот қуидагича амалга оширилади. Бошланғич юкламаси P_0 ва унинг ўсиш динамикаси $P_t = f(P_0, t)$ бўлган истеъмолчини электр таъминоти учун ҳисобий даврнинг бошида $t = 0$ кабел линияларни қуриш қабул қилинади:

- N номиналдан битта F_i кабель кесими юзаси билан;
- N номиналдан иккита F_i ва F_j кабель кесими юзаси билан (i тенг бўлиши мумкин j га).

Кейинги ҳар бир t қадамда (босқичда) (қадам бир йилга тенг) линиянинг шу вариантидан фойдаланиш (битта кабель ва иккита кабель билан) ва кабелларнинг ҳар бир F_j кесим юзасига параллел равишда кабель ётқизиш орқали кабель линиясининг ўтказувчанлигини ошириш варианти кўриб чиқилади.

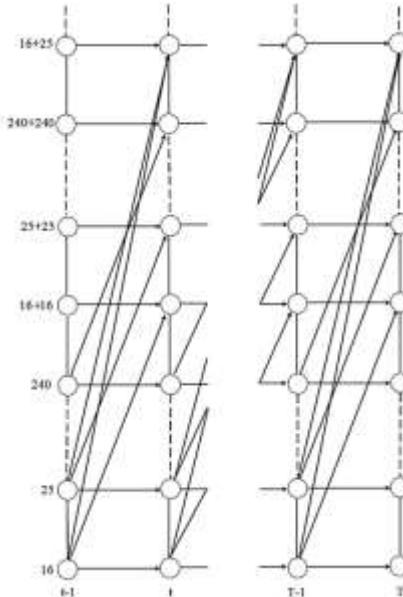
Кўриб чиқилган вариантлар n даражали деб қабул қилинган. Даражалар сони N' танланган номинал кесим юзалари қаторига ва уларнинг мумкин бўлган комбинацияларига мос келади ва улар нол қадамда ўрнатилади ($t = 0$ вақтда). Ҳар бир t қадамда (босқичда) кабель линияси $N' = 2N + \sum_{n=1}^N (n - 1)$ мумкин бўлган ҳолатларда ва берилган S_t юклама (унинг ўзгариш динамикаси туфайли) остида бўлиши мумкин. Шу билан бирга ҳолат даражаси ўзгаришсиз қолиши ёки юқори даражага (2 – расм) ўзгариши мумкин. Бошланғич кесим юзасини ва кабель линияларининг ўтказувчанлигини ошириш кетма-кетлигини танлашни оптимальлаштириш шундан иборатки, ҳар бир босқичда бир ҳолатдан иккинчисига ўтишнинг мақбул варианти белгиланади, бу эса уни амалга

ошириш учун минимал харажатларни таъминлайди. Ушбу минимал харажат оптимальлаштиришнинг кейинги босқичида хисобга олинади. Ҳисобий давр T охирида минимал харажатли даража аниқланади ва тескари харакат орқали кабель линиясини ривожлантириш учун энг мақбул вариант аниқланади.

Бунда хисоблар асосий меъзон бўлган - умумий харажатлар асосида амалга оширилади [14,15,16,17,18,19,20]. Умумий харажатларнинг ифодаси қўйидагича бўлади:

$$z = \sum_{t=1}^T [(E_m + p_a)(K_t - K_{t-1}) + \frac{(F_i + F_j)(1 + x^2 \gamma^2 F_i F_j) U_i}{[(F_i + F_j)^2 + 4x^2 \gamma^2 F_i^2 F_j^2] U_h^2 \gamma \cos^2 \varphi} \times \\ \times (P_t^2 - P_{t-1}^2) 10^{-5}] l(1 + E_{mk})^{1-t}; \quad (9)$$

Бунда, E_m – капитал харажатлар самарадорлигини меъёрий коэффициенти; K_t – t йилдаги капитал маблағлар; E_{mk} – турли вақтдаги харажатларни меъёрий келтириш коэффициенти; t – харажатларни келтириш йили – барча варианtlар учун бир хил; P_t – t йилдаги актив юклама; P_{t-1} – $t-1$ йилдаги актив юклама; x – кабелнинг реактив қаршилиги; $\cos \varphi$ – қувват коэффициенти; F_i , F_j i - ҳамда j – кабель кесим юзалари.

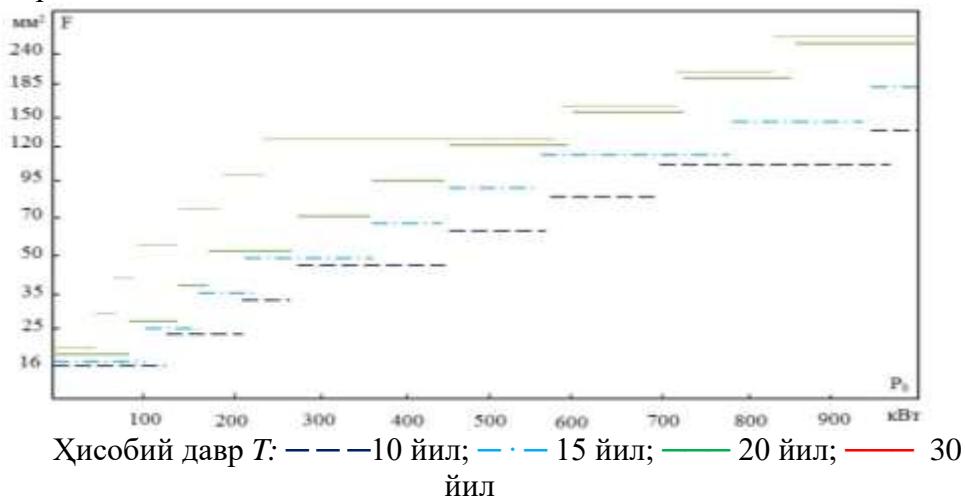


2 – расм. Оптимальлаштириш моделининг кўриниши

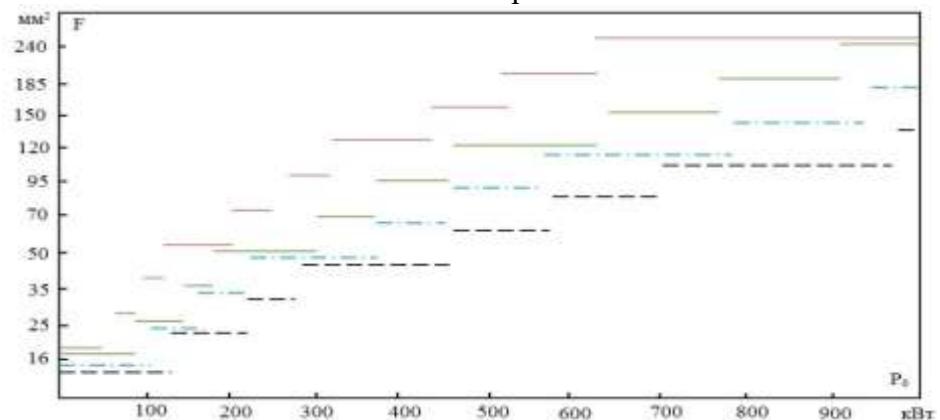
Таклиф этилган оптимальлаштириш модели ёрдамида динамик дастурлаш асосида тадқиқотни ўтказиш алгоритми ва дастури ишлаб

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

чиқилди. Ушбу дастурлаш асосида олинган натижалар 3 ва 4 – расмларда келтирилган.



3 – расм. Турли ҳисобий даврларда чекловларни ҳисобга олган ҳолда
линия кесим юзаларини танлаш



4 – расм. Турли ҳисобий даврларда чекловларни ҳисобга олмаган ҳолда
линия кесим юзаларини танлаш

Кабель кесим юзаларини танлаш техник чекловларни (рухсат этилган ток ва кучланиш йўқотилиши бўйича) ҳисобга олиб ва олмасдан амалга оширилган. Бунда ҳисобий давр сифатида: 10 , 15, 20 ва 30 йиллар олинган.

Чеклов шартларини ҳисобга олган ҳолда оптималлаштириш моделига оид тадқиқотлар қуидагиларни кўрсатди. Ҳисобий давр 20 йилгача бўлган кабель кесим юзаларини мақбул танлаш тенденцияси шундан иборатки, бутун давр мобайнида дастлабки юкламага қараб кабелнинг оптимал кесим юзаси танланади ва эксплуатация жараёнида

линияда юклама қобилиятини ошириш амалга оширилмайди. Ҳисобий давр давомийлиги *T* нинг ошиши билан кабелларининг кесим юзаларини танлаш тенденцияси бироз ўзгаради. Дастребаки юкламанинг кийматига қараб, барча ҳисобий давр учун битта кабелли линия ёки маълум даврдан сўнг - биринчи кабелга параллел равишда иккинчиси ётқизилади.

Дастребаки юклама ортиб бориши билан ҳисобий даврининг бошида мўлжалланган кабель кесим юзалари номинал кесим юзалари шкаласи бўйича деярли кетма-кет ортиб борувчи тартибда танланади (3 – расм). Худди шу тадқиқотлар қаъбул қилинган чекловларни ҳисобга олмаган ҳолда ҳам ўтказилди (4 – расм). Бундай ҳолда бутун ҳисобий давр мобайнида фақат битта кабель линияни танлаш энг яхши тенденция ҳисобланади. Ҳар иккала ҳолатда ҳам кабель линияларининг кесим юзаларини танлаш тенденциялари 15 йилгача ҳисобий давр учун мос келади. Кесим юзаларини танлаш учун белгиланган оптималь тенденция юклама ўсишининг қонуниятлари учун ҳам амал қилиниши маълум бўлди ва бунда фақат чегаравий ва бошланғич юкламалар ўзгаради.

Хуноса. Оптимальлаштириш моделидан олинган натижалар 15 йилгача бўлган ҳисобий давр учун кабель кесим юзасини ушбу даврдаги юкламага асосланиб танлаш тенденциясини ва рухсат этилган ток ҳамда кучланиш исрофлари чекловлари кесим юзасини танлашга таъсир этмаслигини кўрсатди. Одатда кабель линияларининг хизмат қилиш муддатида (30 йил) кабелларининг кесим юзаларини танлашнинг белгиланган маъқул тенденция сақланиб қолади. Бироқ, бу ҳолда қабул қилинган чекловларнинг таъсири сезирарли бўлади, бунинг натижасида 20 йил ёки ундан юқори бўлган эксплуатациядан кейинги даврда - иккинчи кабелни параллел равишда ётқизиш маъқул ҳисобланади.

Адабиёт

1. Таслимов А.Д., Рахимов Ф.М. Определение области целесообразного применения схем построения распределительных электрических сетей // Развитие науки и технологий. – Бухара, 2019. Том 23 № 1. – С. 115-121. (05.00.00. №24).
2. Таслимов А.Д., Рахимов Ф.М., Бердышев А.С. Выбор оптимальных параметров кабельной электрических сетей в условиях неопределенности по минимаксным критериям // Научно-технический журнал, Ферганской политехнической институт. - Фергана, 2020. Том 24 № 2. – С. 84-88. (05.00.00. №20).
3. Taslimov A.D., Melikuziyev M.V., Rakhimov F.M. Methodology in multicriteria problems optimization and unification of parameters of power supply systems // European Science review. – Austria, Vienna, 2018. - № 9-10 (September-October). Vol.1. – Pp. 214-216. (05.00.00. № 3).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

4. Taslimov A.D., Rakhimov F.M., Melikuziyev M.V. Optimization (unification) of parameters of electrical supply systems under the conditions of uncertainty of load development // European Science review. Austria, Vienna, 2019. - №1-2 (January-February). Vol.1. – Pp. 127-129. (05.00.00. № 3).
5. Taslimov A.D., Rakhimov F.M. Yuldashev A.A., Melikuziyev M.V. Multiparameter optimization of the parameters of distributed electrical networks taking into account unification // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2019. – Vol.6. Issue 12. – Pp. 1259-1263. (05.00.00. № 8).
6. Таслимов А.Д., Рахимов Ф.М. Программа оптимизации параметров распределительных сетей до 1000 В с учетом унификации. / Программа для ЭВМ. DGU 05740, 2018.
7. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Рахимов Ф.М. Программа формирования математической модели суммарных затрат низковольтных электрических сетей для выбора их оптимальных параметров. / Программа для ЭВМ. DGU 07379, 2019.
8. Таслимов А.Д., Юлдашев А.А., Рахимов Ф.М., Меликузиев М.В. Программа расчёта показателей надёжности кабельных линий на основе статических данных / Программа для ЭВМ. DGU 08019, 2020.
9. Таслимов А.Д., Юлдашев А.А., Рахимов Ф.М., Меликузиев М.В. Программа выбора сечений жил кабельей при различных законах роста нагрузки по динамической оптимизационной модели // Программа для ЭВМ. DGU 08020, 2020.
10. Taslimov A.D., Berdishev A.S., Melikuziyev M.V., Rakhimov F.M. Method of choosing the unification of cable sections of electric network cables under conditions of load development uncertainty / E3S Web of Conferences 139, 01082 (2019), Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” RSES 2019 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901081>).
11. Taslimov A.D., Berdishev A.S., Melikuziyev M.V., Rakhimov F.M. Method of selecting parameters of cable lines distributive networks 10 kv in uncertainty conditions // E3S Web of Conferences 139, 01082 (2019), Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” RSES 2019 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901082>).
12. Taslimov A.D., Berdishev A.S., Rakhimov F.M. and Yuldashev A.A. Optimal tendency of selecting cable cross-sections for agricultural electrical networks // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1515, 2020, – pp. 1-5. (doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022056).
13. Taslimov A.D., Alimov A.A., Melikuziev M.V., Rakhimov F.M. Determination of the optimal parameters of power distribution networks by the method of criterion analysis// International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, No. 11s, (2020), – pp. 1578-1583.

14. Taslimov A., Rakhimov F., Nematov L., Markaev N., Bijanov A., Yunusov R. Economic load intervals for selecting 10 kV cable crosssections for agricultural consumers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 883, Issue 1, 20 July 2020, 012102 IOP Publishing (doi:10.1088/1757-899X/883/1/012102).
15. Taslimov A.D., Rakhimov F.M., Norkulov A.O., Yuldashev A.A. Research of the optimum scale of standard sections of agricultural purpose lines / E3S Web of Conferences 216, 01158 (2020), Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” RSES 2020 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601158>).
16. Рахимов Ф.М. Методы нормирования электропотребления промышленных предприятий / Горно-металлургический комплекс: Проблемы и их решения: Материалы республиканской научно-технической конференции. – Алмалық, 8 апрель, 2015. – 239 с.
17. Эшев Х.Х., Рахмонов Ф.Н., Рахимов Ф.М. Навоий иссиқлиқ электр станциясининг Ўзбекистон энерготизимидағи тутган ўрни / Горно-металлургический комплекс: Проблемы и их решения: Материалы республиканской научно-технической конференции. – Алмалық, 8 апрель, 2015. – 213 с.
18. Рахимов Ф.М., Рахимов Ф.М. Разработка технико-экономической модели при многокритериальной унификации сечений кабелей / Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса: Материалы IX Международной научно-технической конференции. – Навои, 12-14 июня, 2017. – 144 с.
19. Рахмонов Ф.Н., Рахимов Ф.М. Исследование статической устойчивости электрических систем функцией Ляпунова в квадратичной форме / Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса: Материалы IX Международной научно-технической конференции. – Навои, 12-14 июня, 2017. – 162 с.
20. Таслимов А.Д., Рахимов Ф.М. Потенциал снижения потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях / Инновация – 2018: Сборник научных статей. Международная научная конференция. – Ташкент, 2018. – С.112-113.

*Тошкент давлат техника университети ва
Навоий давлат кончилик институтлари
томонидан тақдим этилган*

UDC 621.314

EFFECT OF CHANGES IN THE ACTIVE RESISTANCE OF STATOR WINDINGS OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR ON THE OUTPUT SIGNAL OF A THREE-PHASE CURRENT CONVERTER

A. Malikov, R. Uzakov, Z.U. Boikhanov

Ushbu maqolada asinxron dvigatelning ishlashi davomida uning stator chulg'amlarida tok oqib o'tayotganda, mis chulg'amlarning qizishi va tashqi muhit temperaturasiga ta'siri bayon etilgan. Hamda ushbu qizishni aniqlash maqsadida laboratoriya sharoitida tajriba olingan. Olingan natijalar uch fazali tok o'zartirgichning chiqish signaliga ta'siri toliq ko'rib chiqilan. Natijada bu olingan qiymat asinxron dvigatelning stator chulg'amlari aktiv qarshiligidining o'zgarishi yaqqol bayon etilgan. Eksplutatsiya davrida chulg'am qizish temperurasini aniqlash orqali qanchalik standart ko'rsatkichlariga yaqinligini o'rGANIB, mashina energetik ko'rsatkichlariga baho berish mumkin bo'ladi. Shu maqsadda qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni qizish temperurasini va u orqali stator chulg'amlari aktiv qarshiliklarini o'zgarishi tadqiq etildi. Keyinchalik atrof – muhitga sochilayotgan issiqlik miqdori ortib boradi. Shu borada biror vaqtdan keyin elektr mashina shunday qiziydiki, mashinadan ajralayotgan issiqlik atrof muhitga sochila boshlaydi. Temperatura ko'tarilishi to'xtashi bilan issiqlik muvozanati kuzatiladi ya'ni elektr mashinadan ajralayotgan issiqlik tashqi muhitga sochila boshlaydi. Olingan tajriba natijalaridan ko'rINADIKI, asinxron motor ish holatida stator chulg'amlarini qarshiligin o'zgarishi kuzatilib, o'zgarish kattaligi ish vaqtini davomiyligiga va stator chulg'amlaridan o'tayotgan tok kuchi miqdoriga bog'liq ekan. Eksplutatsiya davrida chulg'am qizish temperurasini aniqlash orqali qanchalik standart ko'rsatkichlariga yaqinligini o'rGANIB, mashina energetik ko'rsatkichlariga baho berishimiz mumkin. Shu maqsadda qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni qizish temperurasini va u orqali stator chulg'amlari aktiv qarshiliklarini o'zgarishini tadqiq etamiz. Shuni alohida aytish kerakki, asinxron mashinalarda ruhsat etilgan qizish temperurasidan harorat ortib ketsa, stator chulg'amlarining qizishiga olib keladi va juda havfli nosozlikni keltirib chiqaradi.

В статье описывается влияние нагрева медных обмоток и температуры внешней среды при протекании тока в обмотках статора на их сопротивление во время работы асинхронного двигателя. Также были проведены эксперименты в лабораторных условиях. Результаты показывают влияние трехфазного преобразователя на выходной сигнал. В результате эта величина выражается в изменении активного сопротивления обмоток статора асинхронного двигателя. Изучив насколько близки

определенные температуры нагрева обмоток стандартным показателям в период эксплуатации, можно оценить энергетические показатели машины. Для этой цели исследуем процессы нагрева обмоток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и изменение активных сопротивлений статорных обмоток. Электрическая машина нагревается настолько, что выделяемое ею тепло начинает рассеиваться в окружающую среду, когда повышение температуры прекращается, наблюдается тепловое равновесие, то есть тепло, выделяемое машиной, начинает рассеиваться в окружающую среду. Полученные результаты показывают, что в рабочем состоянии асинхронного двигателя происходит изменение сопротивлений обмоток статора, величина изменения зависит от продолжительности работы и от силы тока, протекающего по обмоткам статора. Для исследования влияния изменения сопротивления обмоток статора на сигналы в виде выходных напряжений измерительных элементов, расположенных на пазах статора, рассмотрена работа трехфазного асинхронного двигателя с тремя измерительными элементами, расположенными в пазах статора. Следует отметить, что если температура превышает допустимую температуру нагрева в асинхронных машинах, это вызовет перегрев обмоток статора и опасное повреждение.

The article describes the effect of copper windings on the heating and temperature of the external environment when current flows in the stator windings during the operation of an asynchronous motor. There have also been laboratory experiments to detect this heat. The results show that the effect of the three-phase converter on the output signal is discussed in detail. As a result, this value is clearly expressed in the change in the active resistance of the stator windings of the induction motor. Having studied how close certain heating temperatures of the windings are to standard indicators during operation, we can evaluate the energy performance of the machine. For this purpose, we investigate the process of heating the windings of an asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor and the change in the active resistance of the stator windings. Thus, after some time, the electric machine will become so hot that the heat released from the machine begins to dissipate to the environment. When the temperature increase stops, thermal equilibrium is observed, that is, the heat generated from the machine begins to dissipate to the environment. The results obtained show that in the operating state of an asynchronous motor, there is a change in the resistance of the stator windings, the magnitude of the change depends on the duration of operation and on the strength of the current flowing through the stator windings. To study the effect of changes in the resistance of stator windings on signals in the form of output voltages of measuring elements located on the stator slots, we consider the operation of a

three-phase asynchronous motor with three measuring elements located on the stator slots. It should be noted that if the temperature exceeds the allowable heating temperature in asynchronous machines, it will cause the stator windings to overheat and cause a very dangerous malfunction.

Introduction. During operation, electric machines are always heated due to energy loss. When determining the laws of heating, it is assumed that the machine will heat up conditionally over the entire volume in the same way, heat dissipation occurs over the entire surface.

Let's write the heat balance equation for electric machines [1]:

$$Qdt = Gcdt + S\lambda\tau dt, \quad (1)$$

Qdt – the amount of heat released by an electric machine in elementary time;
 Q – the amount of heat generated by an electric machine per unit time;
 t – time;

$Gcdt$ – the amount of heat to be absorbed and spent on heating;
 G – mass of the electric machine;
 c is the specific heat capacity, the amount of heat that is spent on heating 1 kG of mass per 1 °C at ;
 τ is the difference in between the temperature of the electric machine and the ambient temperature;
 $C\lambda\tau dt$ is the amount of heat dissipated from the surface of the electric machine to the medium evenly;
 S – heat dissipation area;
 λ – коэффициент is the heat dissipation coefficient.

Methods. When starting an electric machine, the heating temperature will be the same as the medium, i.e. $\tau \approx 0$, since $S\lambda\tau \times dt \approx 0$ the heat generated in electric machines is spent on increasing the temperature of its parts. Later, the amount of heat dissipated to the environment also increases. Thus, after some time, the electric machine will become so hot that the heat released from the machine begins to dissipate to the environment. When the temperature increase stops, thermal equilibrium is observed, that is, the heat generated from the machine begins to dissipate to the environment.

$$Q_{dt} = S\lambda\tau_{tur} * dt, \quad (2)$$

τ_{tur} – stable temperature of the electric machine:

$$\tau_{tour} = \theta_{typ tour} - \theta_1; \quad (3)$$

$\theta_{typ tour}$ – temperature of steady heating of the electric machine, °C.

From the (2)-th formula, we get the following:

$$\tau_{mfp} = \frac{Q}{S\lambda}. \quad (4)$$

From the (4)-th formula, it can be seen that the temperature of stable heating of an electric machine does not depend on the mass of the machine, but

depends on the scattering area and on the scattering coefficient for the time unit of time [2].

The dependence of the heating temperature of an electric machine on time τ is determined from the following equation:

$$\tau = \tau_{\text{уст}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right). \quad (5)$$

e is the base of the natural logarithm;

T is the heating constant.

$\tau = f(t)$ - figure 1 shows a graph based on (4) the heating curve formula.

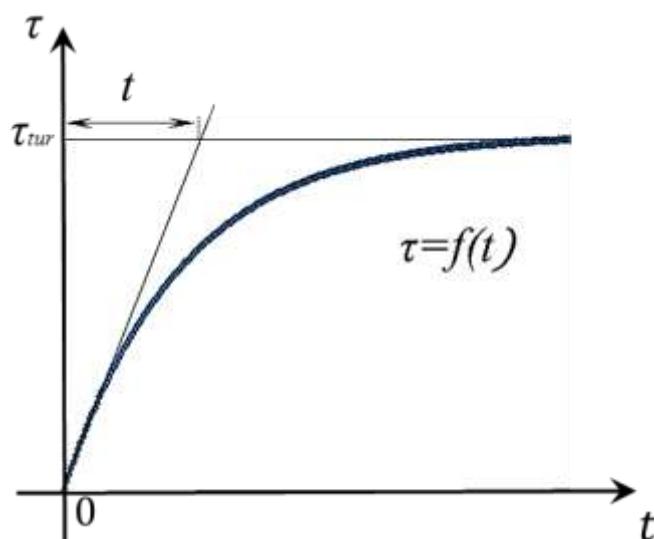


Fig.1. Heating curve

According to fig.1 it takes a long time to reach a stable heating temperature of an electric machine.

The segment of the tangent drawn by the curve of the heating line of the graph at the beginning is quantitatively equal to the heating constant τ [3].

According to GOSTU 183-74 for gas condition (surrounding area) media at a temperature of 40° C. Therefore, the temperature rise of parts of an electric machine is determined by the following expression:

$$\tau_{\text{тур}} = \theta_{\text{тур}} - 40; \quad (6)$$

here $\theta_{\text{тур}}$ is the stable heating temperature of parts of an electric machine.

Determination of the physical stable temperature of the electric machine is made by the method of resistance difference, that is, the measured active resistance r_1 of the winding resistance of the electric machine before starting and the measured resistance r_2 during the achievement of stable heating. This amount of time depends on the operating mode of the electric machine.

Stable heating temperature of the winding

$$\theta_{\text{typ tour}} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda r_1} + \theta_1; \quad (7)$$

θ_1 – winding temperature before starting the electric machine, $^{\circ}\text{C}$;

λ is the temperature coefficient, for copper and aluminum $\lambda = 0.004 \text{ } ^{\circ}\text{Oc}^{-1}$.

Having studied how close certain heating temperatures of windings are to standard indicators during operation, we can evaluate the energy performance of the machine. For this purpose, we study the process of heating the windings of an asynchronous electric motor with a closed-loop rotor and the change in the active resistances of the stator windings [4,5].

III. Results

The investigated three-phase electric motor with a closed-loop rotor with a power of 750 W, stator windings are connected to the network by a star (fig.2).

In the initial state, that is, before switching on to the network (temperature in the stator part $\tau = 33.2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$), the results of measuring resistances are given below:

- 1) $U_1 - U_2$ yes 10.14Ω ;
- 2) $V_1 - V_2$ yes 10.18Ω ;
- 3) $W_1 - W_2$ yes 10.19Ω .

After starting the electric motor, heating begins, the temperature rises, and as a result, the resistance of the stator windings also increases, which are calculated using the expression below

$$R_2 = R_1 [1 + \lambda(t_2^0 - t_1^0)]. \quad (8)$$

After starting the electric motor, we can monitor the temperature using the sensor placed on the stator part. With an increase in the duration of operation of the electric motor, an increase in temperature is observed. That is, after starting the electric motor

- after 3 minutes of operation, the sensor reading is $37.5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$;
- after 23 minutes of operation, the sensor reading is $55.1 \text{ } ^{\circ}\text{C}$;
- after 37 minutes of operation, the sensor reading was $62.8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$.

After the last temperature measurement, the electric motor is disconnected from the grid and the active resistances of the stator winding are measured, we have the following results:

- 1) $U_1 - U_2$ yes 11.40Ω ;
- 2) $V_1 - V_2$ yes 11.45Ω ;
- 3) $W_1 - W_2$ yes 11.43Ω .

The results obtained show that in the operating state of an asynchronous motor, there is a change in the resistance of the stator windings, the magnitude of the change depends on the duration of operation and on the strength of the current flowing through the stator windings.

To study the effect of changes in the resistance of stator windings on signals in the form of output voltages of measuring elements located on the stator slots, we consider the operation of a three-phase asynchronous motor with three measuring elements located on the stator slots (fig.2).



Fig. 2. Three-phase asynchronous electric motor with three measuring windings

After starting the asynchronous electric motor, we calculate the negative voltage at the outputs of three element current-to-voltage converters located on the stator slots (u_1-u_2 , v_1-v_2 , w_1-w_2) for constant loads. After starting the electric motor, three minutes after starting at the voltage outputs of the current converter:

- 1) $u_1 - u_2$ yes 3,665 V;
 - 2) $v_1 - v_2$ yes 3,631 V;
 - 3) $w_1 - w_2$ yes 3,721 V;
- identified after completing 23 minut of work:
- 1) $u_1 - u_2$ yes 3,658 V;
 - 2) $v_1 - v_2$ yes 3,619 V;
 - 3) $W_1 - w_2$ yes 3.71 V;
- identified after completing 31 minut of work:
- 1) $u_1 - u_2$ yes 3,656 V;

- 2) $v_1 - v_2$ yes 3,616 V;
- 3) $W_1 - W_2$ yes 3,714 V.

Conclusion. As the obtained results show, changes in the resistance of the stator windings at the outputs of the three-phase current converter (7) to voltage will lead to a corresponding change in the signals in the form of voltages (8).

$$U_{u1-u2} = \frac{U_1 - \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \cdot I_1}{w_1 / w_{meas.}}; \quad (9)$$

here u_1 is the voltage of the stator windings at the terminals, I_1 is the current passing through the stator windings, P_1 , X_1 is the active and reactive resistances of the stator windings, w_1 is the number of turns of the stator windings, $w_{meas.}$ is the number of turns of the measuring winding.

References

1. Махсудов М. Т., Бойхонов З. У. Исследование электромагнитных преобразователей тока в напряжение // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №3. С. 150-154. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/mahsudov> (дата обращения 15.03.2018)
2. Borodenko V. A. resource Saving as the main principle of creating automation devices of power systems // Vestnik NIA RK, Moscow, 2006, no. 2.12 p.
3. PatentRUz. №04185. Three-phase current-to-voltage unbalance Converter/Amirov S.F., Azimov R.K., Siddikov I.Kh., Khakimov M.H., Hushbokov B.H., Sattarov Kh. a. Rasmiy akhborotnoma. -2010. №6.
4. Regulation on the procedure for organizing work on reactive power compensation // Teshabayev B.M., Yusupaliev M.M, Saliev A.G., The Siddiqui I.H., Umarov F.U. / Approved N 1864 of 10.10.2008. justice Ministry. Of the Republic of Uzbekistan. Tashkent, GIUsawanhouse. 2008. 24 p. (in Russian).
5. Yusupbekov N.R., Key Z.Kh., Malikov A.V. Bases of automation of technological processes: a tutorial. In 2-2 hours. – Tashkent: TSTU, 2007. ЧН1-2 – 152, 115 s .
6. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T.M., Siddikov I.Kh., Energy Management raining in Uzbekistan // The final report of the Project ECTJEP-10328 – 97. TU - Berlin (Germany), TEI -Athens (Athens, Greece), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1997-2001.– 234 p.
7. Siddikov I.Kh., Boikhonov Z.U., Karimjonov D.D. Elements And Devices For Monitoring And Control of Energy Efficiency. The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984) Published: September 29, 2020 | Pages: 136-148.

8. Siddikov I.Kh., Boikhonov Z.U, Makhsudov M.T., Uzaqov. R. Features productions reactive power on systems electrical supply with renewable sources energies. Academicia: an international multidisciplinary research journal vol. 10, issue 6, June 2020 Pages: 292-296.
9. Эгамов, Д.А. Эффективность применения «переносного АВР-0,4 кВ» для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей / Д.А. Эгамов, Р. Узаков, З.У. Боихонов / Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. /под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – С. 250-253.
10. Эгамов Д.А., Узаков Р., Бойхонов З.У Способы обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, имеющих одну систему шин 6-10 кВ и два независимых источника питания 6-10 кВ // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №3. С. 155-159. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/egamov-uzakov> (дата обращения 15.03.2018).
11. Сиддиков И.Х., Махсудов М. Т., Боиханов З. У. угли, Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности // Главный энергетик, 2021 №7
12. Махсудов М.Т., Анарбаев М.А., Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2019. № 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>.
13. I.Kh. Siddikov, A.B.Ahubakirov, A.A. Yuldashev, G.Z. Babaxova, I.M. Xonturaev, N.N. Mirzoev. «Methodology of calculation of technoeconomic indices of application of sources of reactive power». European science review, Scientific journal. No 1–2. Austria, Vienna. 2018. 248-251 p.
14. I.Petrova, V. Zaripova, Yu. Lezhnina, I.Kh.Siddikov. Automated system for synthesis of sensors for smart cities. 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. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85067281218&origin=resultslist>
15. Сиддиков И.Х., Анарбаев М.А., Махсудов М.Т. Преобразователи сигнала величины тока для систем управления источниками реактивной мощности // Инженерно- строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. - № 1 (23). -С. 53–56.
16. Siddikov I.Kh., Khakimov M.Kh., Anarbaev M., Bedritskiy I.M. Research of the electromagnetic transducers of the primary current to secondary voltage // Science and Education. Materials of the II International Research and

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

practice conference. Vol. I, Publishing office of «Vela Verlag Waldkraiburg», Munich. Germany. December. 18–19. 2012. P. 222–225.

17. Siddikov I.Kh, Sattarov Kh.A., Khujamatov Kh.E., Dekhkonov O.R. Agzamova M. Modeling of Magnetic Circuits of Electromagnetic Transducers of the Three-phases Current //2018 14th International Scientific - Technical Conference On Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (Apeie) Proceedings. In 8 Volume Part 5 Novosibirsk 2018.

18. Azimov R.K., Siddikov I.Kh., Kurbanova M.Zh., Anarbaev M.A., Siddikov O.I.,Mamatkulov A.N. Current-to-voltage converter // Patent RUz IAP0490B.I. No. 6, 2014.

19. Allaev K.R., Azimov R.K., Kholiddinov I.Kh., Khasanov M.Yu., Akhmedov N.Zh.Electromagnetic converter of asymmetry of three-phase current into voltage // Patent RUz IAP 05383 B.I. No. 4, 2017.

20. I.Kh.Siddikov, M.A.Anarbaev, M.T. Makhsudov. Signal converters of currentmagnitude for control systems of reactive power sources // Scientific and technical journal "Engineering and Construction Journal of the Pri-kaspia» (ISSN:2312-3702).<http://aracy.pf/journal/isvp/1-23-2018/> informacionnye-sistemy-i-texnologii-3.

*Presented by Andijan
machine-building institute*

УДК 621.311**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕХНОЛОГИИ FACTS****Ш.В. Хамидов , Б.Р. Нормуратов**

Boshqariladigan moslashuvchan tok uzatish tizimi bo'lmish FACTS texnologiyasi konsepsiysi asosida ko'plab g'oyalar o'nlab yillar oldin paydo bo'lgan. Mashhur elektr energetikasi olimi V.A. Venikov sinxron mashinalarning o'z-o'zidan tebranish sharoitlarini tahvil qilib, elektr uzatish liniyalarda bo'ylama sig'imli kompensatsiyani qo'llashni, reaktiv qarshiligi to'g'ri sozlanmagan oraliqlarda sinxron kompensatorlarni o'rnatishni ko'r-satdi. Liniyadagi aktiv va reaktiv qarshiliklik o'rtasidagi bog'lanish sinxron mashinalarning o'z-o'zidan tebranishiga bog'liq hisoblanadi. Ushbu taklifni ishlab chiqishda 1984 yilda amerikalik energetik olim N.G. Xingorani quyidagi fikrni bildirdi: sinxron mashinalardagi elektromexanik jarayonlarga ta'sir qiliш o'rniga, ularning xususiyatlarini tubdan yaxshilash uchun o'zgaruvchan tokni uzatish uchun zamонави yuqori voltli o'zgartirish texnologiyasidan foy-dalanish, ular esa to'g'ridan-to'g'ri elektr uzatish liniyasiga ulangan elektron qurilmalarga ta'sir qiladi. Turli elektr uzatish liniyalaridagi reaktiv quvvat kompensatorlarini tartibga solish muammosi olimlar tomonidan 1950-1970 yillarda yozilgan asarlarida atroflicha muhokama qilingan va ularni hal qiliшning samarali usullari taklif qilingan. Shu bilan birga, FACTS texnologiyasi integratsiyalashgan yondashuv sifatida yangi konsepsiya bo'lib, asosan 1980-1990 yillarda ko'p qirrali ilmiy-texnik yo'nalish sifatida shakllandi. FACTS texnologiyasining asosiy vazifasi yuqori, o'rta yuqori va o'ta yuqori kuchlanishlar uchun elektronika sohasida ilmiy va texnik yutuqlarni ta'minlash va EETning barqaror va o'tkinchi rejimlarida yuqori, o'rta yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli quvvat oqimlarini boshqarishni takomillashtirish maqsadida shakllantirilishi mumkin. Elektr energiyasini kuch elektronikasi orqali boshqaruvi bilan boshqariladigan elektr uzatish tarmoqlarini yaratish, elektr energiyasi uskunalarini ishlab chiqish va yaratishning yangi usullariga, radial va taqsimlovchi elektr uzatish tarmoqlari rejimlarini rejalashtirish yondashuvlari va tartiblarini o'zgartirishga olib keldi. Ushbu o'zgarishlar energiya oqimini yuqori tezlikda boshqarishni ta'minlash orqali energiya bozoridagi ishlarning mohiyatini o'zgartirishi mumkin. Ko'pgina istiqbolli iqtisodiy va texnik afzalliliklari tufayli FACTS texnologiyasi butun dunyo bo'ylab elektr jihozlari ishlab chiqaruvchilari, kommunal xizmat ko'rsatuvchi kompaniyalar va tadqiqot tashkilotlari tomonidan ma'qullanmoqda.

Многие из идей, которые легли в основу концепции технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS, зароди-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

лись десятки лет назад. Известный ученый-электроэнергетик В.А.Веников, анализируя условия самораскачивания синхронных машин показал, что применение продольной емкостной компенсации в ЛЭП, установка промежуточных синхронных компенсаторов, реактивное сопротивление которых не отрегулировано должным образом, может приводить к соотношениям между активным и реактивным сопротивлениями в линии, при которых возникает самораскачивание синхронных машин. В развитие этого предложения, в 1984 году американский ученый-энергетик Н.Г. Хингорани высказал мысль: использовать современную высоковольтную преобразовательную технику для электропередач переменного тока в целях коренного улучшения их характеристик так, чтобы вместо влияния на электромеханические процессы в синхронных машинах воздействовать на электронные устройства, включенные непосредственно в ЛЭП. Проблема регулирования компенсаторов реактивной мощности в различных ЛЭП подробно обсуждалась учеными в работах 1950-1970 годов, при этом были предложены достаточно эффективные способы их решения. Вместе с тем, как интегрированный подход технологии FACTS представляет собой новую концепцию, которая оформилась как многогранное научно-техническое направление в 1980–1990-е годы.

Основную задачу технологии FACTS можно сформулировать как обеспечение научно-технического прорыва в области силовой электроники для высоких, сверхвысоких и ультравысоких напряжений в целях улучшения управления потоками мощности на стороне высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжения сети как в установленных, так и в переходных режимах ЭЭС. Новая реальность создания сетей электропередачи с силовым электронным управлением привела к новым способам разработки и создания силового электрооборудования, изменив подходы и процедуры планирования режимов магистральных и распределительных сетей электропередачи. Эти разработки могут изменить характер операций в энергорынке из-за появления возможности высокоскоростного управления потоками мощности. Благодаря множеству присущих ей многообещающих экономических и технических достоинств технология FACTS сознательно поддерживается производителями электрооборудования, систем энергоснабжения и исследовательскими организациями во всем мире.

Many of the ideas behind the FACTS-Flexible Alternative Current Transmission Systems concept originated decades ago. The well-known electric power scientist V.A. Venikov, analyzing the conditions of self-swinging of synchronous machines, showed that the use of longitudinal capacitive compensation in power lines, the installation of intermediate synchronous compensators, the reactance of which is not properly adjusted, can lead to the relationship between active and reactance in the line at which self-swinging of syn-

chronous machines occurs. In the development of this proposal, in 1984 the American energy scientist N.G. Khingorani expressed the idea: to use modern high-voltage converter technology for AC power transmissions in order to radically improve their characteristics so that, instead of influencing electromechanical processes in synchronous machines, they affect electronic devices connected directly to the power line. The problem of regulating reactive power compensators in various power lines was discussed in detail by scientists in works in 1950-1970, while quite effective ways of solving them were proposed. At the same time, as an integrated approach, FACTS technology is a new concept, which basically took shape as a multifaceted scientific and technical direction in the 1980s and 1990s. The main task of the FACTS technology can be formulated as providing a scientific and technical breakthrough in the field of power electronics for high, ultra-high and ultra-high voltages in order to improve the control of power flows on the side of high, ultra-high and ultra-high network voltage both in steady-state and transient modes of EPS. The new reality of the creation of power transmission networks with power electronic control has led to new ways of developing and creating power electrical equipment, changing the approaches and procedures for planning the modes of main and distribution power transmission networks. These developments could change the nature of operations in the energy market by enabling high-speed power flow control. Due to its many promising economic and technical advantages, FACTS technology is deliberately endorsed by electrical equipment manufacturers, utility companies and research organizations around the world.

Введение. Технология FACTS (*Flexible Alternative Current Transmission Systems*) представляет собой семейство устройств, каждое из которых может применяться и индивидуально, и во взаимодействии с другими устройствами для управления взаимосвязанными параметрами электроэнергетической системы. В задачу технологии FACTS входит улучшение управления потоками мощности как в установившихся, так и в переходных режимах ЭЭС. Одним из ключевых элементов FACTS является ИРМ-источник реактивной мощности, способный как генерировать, так и потреблять реактивную мощность в зависимости от требуемого режима и заданных характеристик ЭЭС.

В целом, технология FACTS позволяет получить различные корректирующие действия в зависимости от условий конкретной задачи управления. При этом алгоритмы функционирования устройств FACTS должны быть построены на основе прогрессивных методов современной теории управления.

Основная часть. Представителями параллельных устройств FACTS являются статический синхронный компенсатор СТАТКОМ и статический компенсатор реактивной мощности СКРМ – SVC [1].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

СТАТКОМ является тиристорно-управляемым источником реактивной мощности, обеспечивающим поддержание заданного значения напряжения в линии посредством потребления или генерации реактивной мощности в точке подключения без использования дополнительных реакторов или конденсаторных батарей большой мощности. Он является ключевым устройством FACTS поперечной компенсации, основан на использовании источника напряжения, в качестве которого применяется мостовой преобразователь напряжения.

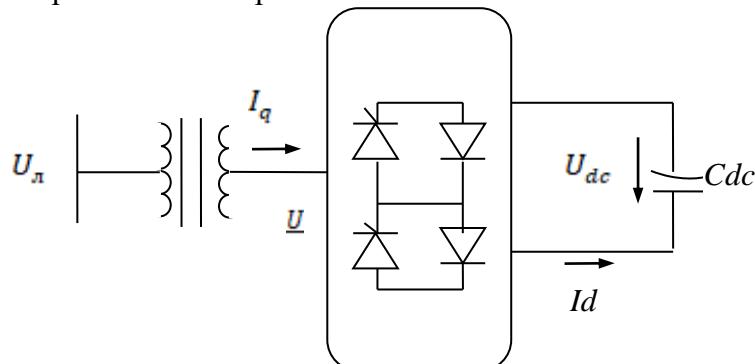


Рис. 1. Схема СТАТКОМ с преобразователем напряжения

На рис. 1 приведена упрощенная схема СТАТКОМ. Постоянное напряжение от конденсатора Cdc подается на преобразователь напряжения (ПН), на выходе которого формируется управляемые трехфазные напряжения с основной частотой системы. Управление перетоком реактивной мощности между ПН и системой переменного тока осуществляется путем изменения амплитуды выходного напряжения U . При превышении значения выходного напряжения ПН U по отношению к напряжению в линии $U_{л}$ формируется опережающий ток. В этом случае СТАТКОМ работает в емкостном режиме и происходит генерация реактивной мощности. При уменьшении значения выходного напряжения U ниже напряжения в линии $U_{л}$ формируется запаздывающий ток и СТАТКОМ работает в индуктивном режиме. В этом случае происходит потребление реактивной мощности. При равенстве напряжений $U_{л} = U$, перетока мощности не происходит.

Графики зависимости передаваемой активной мощности P от фазового угла δ и реактивного тока Iq в относительных единицах для СТАТКОМ показаны на рис. 2.

За счет внутренних потерь в ПН конденсатор расходует накапливаемую энергию. При отставании на малый угол выходных напряжений ПН от напряжения в ЛЭП происходит потребление небольшого количества активной мощности из линии для компенсации внутренних потерь в преобразователе.

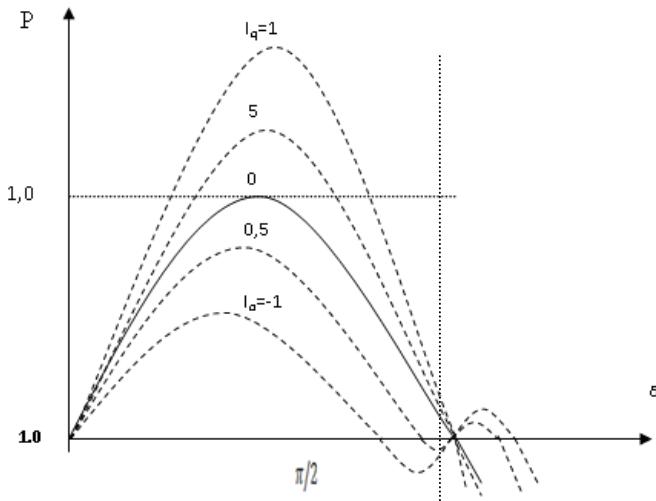


Рис. 2. Зависимость передаваемой активной мощности СТАТКОМ

Для управления потоком реактивной мощности путем увеличения или уменьшения напряжения на конденсаторе U_{dc} можно использовать механизм регулирования угла запаздывания фаз. Вместо конденсатора или в добавление к нему в СТАТКОМ может быть использован более мощный накопитель энергии (аккумулятор, сверхпроводниковый индукционный накопитель энергии и др.). В этом случае с помощью ПН можно управлять перетоком как реактивной, так и активной мощности, что может быть использовано для эффективного демпфирования колебаний мощности, стабилизации максимального значения требуемой мощности, а также для обеспечения надежности электропередачи в утяжеленных режимах [1-2].

Статический компенсатор реактивной мощности SVC. Термин SVC является общим для обозначения шунтирующих реактора или конденсаторной батареи с тиристорным управлением (или переключением) или их комбинации. Компенсатор SVC, как правило, основан на использовании тиристоров без возможности запирания. Он включает раздельное оборудование для опережающей и отстающей реактивной мощности, реактор с тиристорным управлением TCR (Thyristor Controlled Reactor) или тиристорным переключением TSR (Thyristor Switched Reactor) для потребления реактивной мощности и конденсаторную батарею с тиристорным переключением TSC (Thyristor Switched Capacitor) для возмещения реактивной мощности в сети [3].

Простейший однофазный реактор с тиристорным управлением TSR показан на рис. 3. Реактор с тиристорным переключением TSR состоит из тех же элементов, что и TCR, но используется только при значениях углов: 90 и 180 градусов. При $\delta = 90^\circ$ обеспечивается полная проводимость,

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

а при $\delta = 180^0$ – отсутствие проводимости. Реактивный ток $i_s(t)$ TSR пропорционален приложенному напряжению. С помощью набора из нескольких реакторов в TSR можно обеспечить ступенчатое управление реактивной проводимостью.

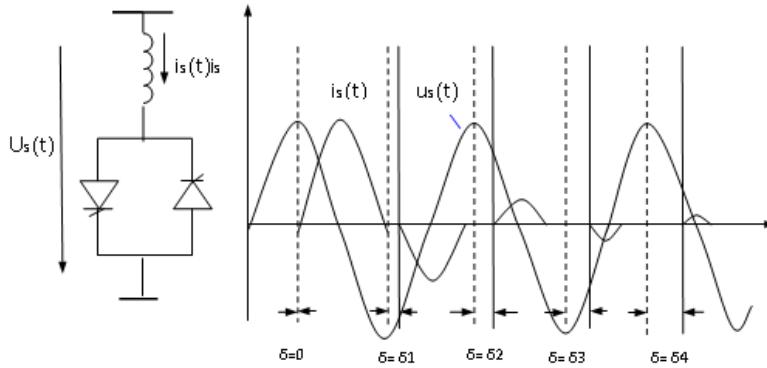


Рис.3. Реактор с тиристорным управлением TSR

Максимальное значение передаваемой мощности может быть увеличено в два раза путем включения реактора с тиристорным переключением TSR или реактора с тиристорным управлением TCR в среднюю точку линии, и обеспечения равенства напряжений на ее концах (рис.4).

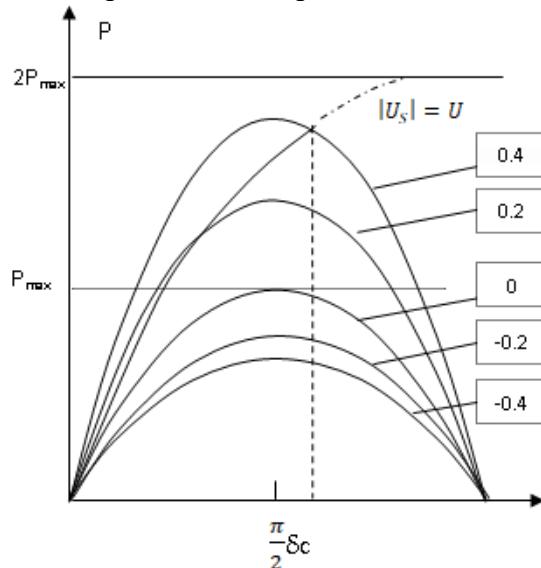


Рис.4. Зависимость передаваемой мощности SVC от угла фазового сдвига

В трехфазных системах используется соединение трех однофазных реакторов с тиристорным управлением TSR по схеме треугольника. В симметричном режиме гармонические токи порядков, кратным трем (3-

го, 9-го, 15-го и т.д.), циркулируют в пределах реактора и не уходят в систему. Амплитуды остальных гармоник, генерируемых реакторами, могут быть уменьшены различными методами. Один из методов основан на использовании m раз меньше требуемого общего значения амплитуды (рис. 5) [4].

Управление реакторами происходит последовательно, т.е. управление с задержкой происходит только на вентиле одного из m реакторов, в то время как вентили остальных реакторов работают в режиме либо полного открытия, либо полного закрытия в зависимости от требуемого общего значения реактивной мощности. Таким образом, происходит уменьшение амплитуды каждой гармоники в m раз в зависимости от максимального значения тока основной гармоники.

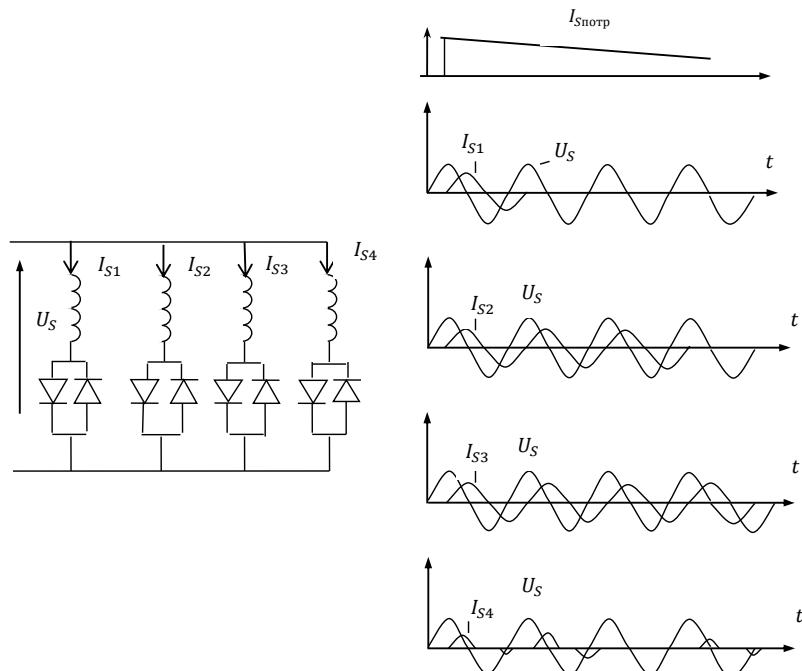


Рис. 5. Управление TSR для уменьшения амплитуды гармоник

Другой метод основан на использовании 12-импульсной схемы соединения TCR с двумя идентичными трехфазными реакторами с тиристорным управлением, соединенным в треугольник. При этом один из них подключен к обмоткам трансформатора связи, соединенным по схеме «звезда», а другой – к вторичным обмоткам. Вследствие сдвига фаз на 30^0 между соответствующими напряжениями двух обмоток гармоники тока порядков $6(2k-1)$ и $6(2k-1)+1$, $k=1,2,3,\dots$, аннулируются, что приводит к практически синусоидальному току на выходе при любых значениях уг-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

лов задержки. Дальнейшее уменьшение гармоник по схеме треугольник трех или большего числа РТУ-TCR осуществляется сдвигами фаз напряжений [5].

На практике также используются 18, 24 и 48-импульсные схемы, являющиеся более дорогими и сложными.

Если гармоники, генерирующие TCR, не могут быть в достаточной степени сокращены за счет применения рассмотренных схем соединения, то используются фильтры подавления гармоник (активные и пассивные фильтры). Как правило, пассивными фильтрами являются LC и LCR-цепи, включенные параллельно с TCR и настроенные на подавление доминирующих паразитных гармоник.

Схема однофазного конденсатора с тиристорным переключателем TSC приведена на рис.6 [6]. Цепь TSC отключается при нулевом значении тока. В этот момент времени заряд конденсатора достигает своего максимального значения, которое в идеальном случае отсутствия потерь остается неизменным, а напряжение на закрытом тиристоре изменяется синфазно прилагаемому переменному напряжению.

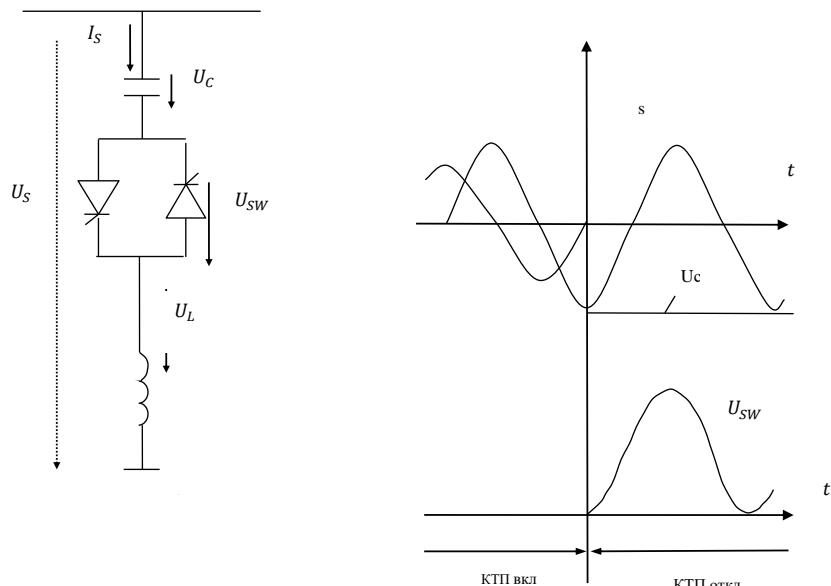


Рис. 6. Конденсатор с тиристорным переключением TSC

Вследствие постепенного разряда конденсатора при закрытии тиристора напряжение на его зажимах не остается постоянным. В целях минимизации динамических возмущений при подключении TSC необходимо осуществлять его повторное включение в момент равенства переменного напряжения и напряжения на конденсаторе, т.е. когда напряжение на тиристорах равно нулю. Однако и в этом случае остаются

переходные процессы, вызванные ненулевыми значениями производной dus/du в момент включения. Это явление при отсутствии реактора приводит к возникновению мгновенного тока в конденсаторе $is=C \cdot dus/du$. Взаимодействие между конденсатором и токоограничивающим реактором вызывает колебания тока и напряжения. Отсюда следует, что метод управления углом регулирования α не применим к TSC. Переключение конденсаторов необходимо осуществлять в конкретные моменты времени каждого периода при выполнении условий, обеспечивающих минимальные переходные процессы. Поэтому схема TSC способна обеспечивать только ступенчатое изменение реактивного тока (максимальное или нулевое значение).

Таким образом, конденсатор с тиристорным переключением TSC может рассматриваться как единичная емкостная проводимость, которая либо подключена к системе, либо полностью отключена. Ток конденсатора изменяется в зависимости от прикладываемого напряжения.

Для формирования более плавного изменения тока, используется несколько параллельно включенных TSC. СТАТКОМ способен взаимодействовать с накопителями энергии большой мощности, в отличие от SVC [7].

Заключение. С внедрением устройств FACTS, электрические сети получают возможность изменять в режиме реального времени свои электрические параметры, повышать пределы передаваемой мощности и устойчивость энергосистемы к возмущениям. Показано, что использование устройств FACTS равнозначно строительству новых линий электропередачи, а также переводу электрических сетей из пассивного в активное состояние, позволяющее регулировать режимные параметры в широких пределах.

Литература

1. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Хамидов Ш.В. Расчет потоков мощности в электрических сетях с устройствами FACTS: Учебное пособие /ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2018. -208 с.
2. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Управляемые гибкие электропередачи переменного тока и их применение в электроэнергетических системах: Монография /ТашГТУ имени Ислама Каримова. -Ташкент: Издательство «Navro'z», 2019. -216 с.
3. 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

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2017.

4. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Хамидов Ш.В. Управляемые гибкие электропередачи переменного тока FACTS // Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, № 1.
5. Хамидов Ш.В. Параллельные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, №1.
6. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. -Т:Молия. 2013.-388 с.
7. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. «Последовательные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS. // Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, №2.
8. Hingorani, N.G. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) - Overview / N.G. Hungorani // Paper presented at the Panel Session of FACTS. IEEE PES 1990 Winter Meeting. Atlanta, 1990.
9. Hingorani, N.G. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / IEEE Press, 2000.
10. Kundur, P.P. Power System Stability and Control / P.P. Kundur. – N.Y.: McGraw-Hill, 2000.
11. Laguna-Velasco, R. Asignacion de cargos por el porteo deflujos de potencia activa y reactiva en los sistemas de transmisión basada en el método de rastreo de la electricidad / R. Laguna-Velasco // MSc thesis (in Spanish), Centro de Investigación Avarzada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Guadalajara. – Mexico, 2002.
12. Mathur, R.M. Thyristor-based facts controllers for electrical transmission systems / R.M. Mathur, R.K. Varma. – Piscataway: IEEE Press, 2002.
13. Huang, Z.Y Application of unified power flow controller in interconnected power systems – modeling, interface, control strategy, and case study / Z.Y. Huang [идр.] // IEEE – 2000. – Vol. 15, № 2 – 3 817-824.
14. Song, Y.H. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) / Y.H. Song, A.T. Johns. – London: IEEE Press, 1999.
15. Stagg, G.W. Computer Methods in Power System Analysis / G.W. Stagg, A.H. El-Abiad. – N.-Y.: McGraw-Hill, 1968.
16. Weedy, B.M. Electric Power Systems / B.M. Weedy. – Chichester: John Wiley & Sons, 1987.
17. Wood, A.J. Power Generation, Operation and Control / A.J. Wood, B.F. Wollenberg. – Chichester: John Wiley & Sons, 1984.
18. Shukhrat Khamidov, Sunnatilla Tillaev, Bahrom Normuratov. “Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devic-

es"- Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems" (RSES 2020).

19. Хамидов Ш.В., Нормуратов Б.Р., Тиллаев С.М. Внедрение устройств FACTS как фактор повышения надежности объединенной энергосистемы Центральной Азии. //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. 2020 йил №3-4, ISSN 2091-5985.

20. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Комбинированные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, №2.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.316.725

ТРЕХФАЗНЫЙ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР ТОКА

А.Н. Расулов, М.Р. Рузиназаров

Мақолада уч фазали истеъмолчилар токини стабиллаши масалалари күрилган бўлиб, таъминловчи тармоқча учта бир фазали ферромагнитли ток стабилизатори «уч бурчак» схемасида ва бир фазали стабилизаторлар «юлдузча» схемасида йигилади таъминлаши нол симли уч фазали тармоқдан амалга оширилади. Кирхгофнинг қонунлари асосида тузилган тенгламаларни, ферромагнит элемент магнит индукцияси эгри чизигини даражали функция билан аппроксимациялашни қабул қилиб, асосий ифодалар нисбий бирликда ечилади. Уч фазали ФТС ни асосий энергетик ва эксплуатация кўрсаткичлари келтирилди. Таҳлиллар шуни кўрсатадики, уч фазали манба носимметрияси стабилизация токи қийматига таъсир кўрсатмайди, бу занжир ҳолатини юклама токининг қиймати ва шунингдек таъминлаши манба кучланиши ўзгарганда стабилизация эффициента эга симметриловчи қурулма сифатида ишлатиш мумкин.

В статье рассматриваются вопросы стабилизации тока трехфазных потребителей, где питающая сеть подключается через три однофазных феррорезонансных стабилизатора тока (ФСТ), соединенных по схеме «треугольник», и однофазных стабилизаторов, собранных по схеме «звезда», а питание осуществляется от трехфазной сети с нулевым проводом. Решив систему уравнений, составленную по законам Кирхгофа, аппроксимировав кривую намагничивания ферромагнитного элемента степенной функцией, нами получены основные выражения для ФСТ, в относительных единицах. Приводятся основные энергетические и эксплуатационные показатели трехфазного ФСТ. Анализ показывает, что несимметрия трехфазного источника не влияет на значения стабилизированного тока, что свойства цепи позволяют использовать её в качестве симметрирующего устройства, обладающего стабилизирующим эффектом, как при изменении величины нагрузки, так и при отклонении питающей напряжения.

The article deals with the stabilization of the current of three-phase consumers, where the supply network is connected to three single-phase FST according to the "triangle" scheme and single-phase stabilizers assembled according to the "star" scheme and the power is supplied from a three-phase network with zero wires. By solving the system of equations compiled according to Kirchhoff's laws, taking the approximation of the magnetization curve of

a ferromagnetic element by a power function, the basic expressions are obtained in relative units. The main energy and operational indicators of a three-phase FST are given. The analysis shows that the asymmetry of a three-phase source does not affect the value of the stabilized current, that the property of the circuit allows it to be used as a balancing device with a stabilizing effect, both when the load value changes and when the supply voltage deviates.

Многие технологические процессы и устройства питаются от источников многофазного тока, и целесообразным является рассмотрение вопроса создания трёхфазного, трёхфазно-однофазного, двухфазно-однофазного стабилизатора тока на базе электроферромагнитных цепей, амплитудные характеристики которых обладают устойчивым падающим участком. В связи с этим рассматриваются установившиеся режимы различных вариантов схем стабилизаторов тока, оценка их энергетических и эксплуатационных показателей, влияния несимметрии питающего напряжения и нагрузки на режим работы, определяются области применения ФСТ, а также их достоинства и недостатки.

На основе трёхфазного электроферромагнитных колебательных контурах (ЭФМК), отличающегося на вольт-амперной характеристике широкой зоной устойчивой падающей частью, предложен трёхфазный стабилизатор тока. На рис. 1, 2 представлены схемные решения стабилизатора тока, где в первом варианте на три фазы питающей сети подключаются три однофазных ФСТ по схеме «треугольник», во втором варианте эти однофазные стабилизаторы собраны по схеме «звезда», питание осуществляется от трёхфазной сети с нулевым проводом.

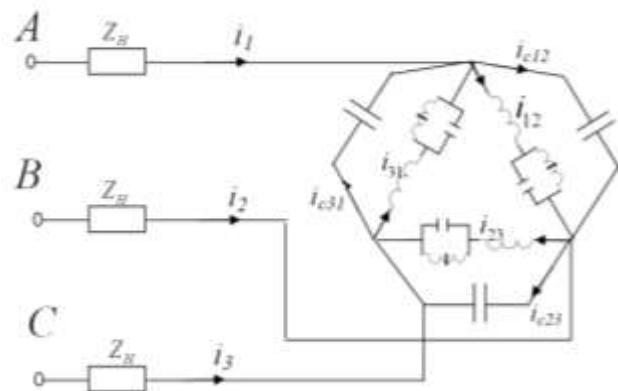


Рис.1. Схема трёхфазного ФСТ

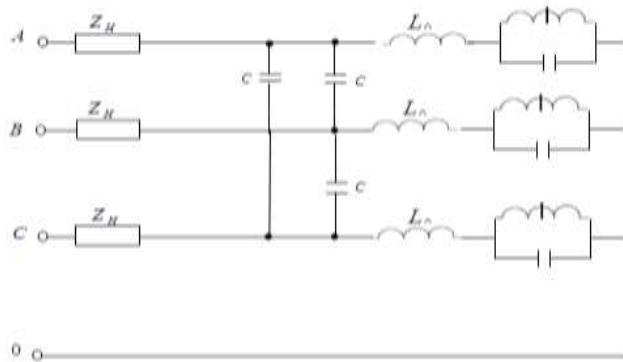


Рис.2. Схема трёхфазного ФСТ

На основе системы уравнений, составленной по законам Кирхгофа, описывающей физические процессы в схеме трёхфазного ФСТ (рис.1), при симметричной активно-индуктивной нагрузке, с учётом ранее принятых допущений и после некоторых преобразований в безразмерной форме, получим:

$$Y_{12} = 3 \frac{y}{\beta_1} \frac{d^5 x}{d\tau^5} + 3\delta \frac{d^4 x}{d\tau^4} + \left[\frac{3y}{\beta_1} (\beta_1 + \beta) + 1 \right] \frac{d^3 x}{d\tau^3} + \frac{3}{\beta_1 A} \frac{d^3 x^n}{d\tau^3} + \\ + 3(\beta_1 + \beta) \delta \frac{d^2 x}{d\tau^2} + \frac{3\delta}{A} \frac{d^2 x^n}{d\tau^2} + \beta \frac{dx}{d\tau} + \frac{3\delta}{A} \frac{d^3 x^n}{d\tau^2} + \\ + \beta \frac{dx}{d\tau} + \frac{1}{A} (3y + 1) \frac{dx^n}{d\tau} + \frac{3\beta_1}{A} \delta x^n. \quad (1)$$

Здесь:

$$y = \frac{L_H}{L}; \quad \beta_1 = \frac{1}{w^2 L C_1}; \quad \beta = \frac{1}{w^2 L C_2}; \quad \delta = w C_1 R_H;$$

$$X = \frac{\Phi_1}{\Phi_\delta}; \quad Y_{12} = \frac{U_{12}}{U_\delta}; \quad \phi_\delta = \sqrt[n-1]{\frac{w^2 W^2 C_2}{AK}}; \quad U_\delta = w^3 W L C_2 \phi_\delta; \\ \text{принимая:} \quad y_{12} = y_m \cos(\tau + \psi); \quad (2)$$

$$x = X_m \sin \tau;$$

учитывая (3-5) и принимая $\beta=1$ на основе метода гармонического баланса из (1), после ряда преобразований, получим:

$$y_{12m}^2 = \left(3y X_m^n - 3y X_m - \frac{3y}{\beta_1} X_m^n - X_m \right)^2 + 9\delta^2 (\beta_1 X_m^n - \beta_1 X_m - X_m^n)^2, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{3\delta (\beta_1 X_m^n - \beta_1 X_m - X_m^n)}{3y X_m^n - 3y X_m - \frac{3y}{\beta_1} X_m^n - X_m^n}. \quad (4)$$

Для случая активной нагрузки $\gamma=0$ тогда из (3), (4) имеем:

$$Y_{12m}^2 = X_m^{2n} + 9\delta^2(\beta_1 X_m^n - \beta_1 X_m^n - X_m^n)^2, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{3\delta(\beta_1 X_m^n - \beta_1 X_m^n - X_m^n)}{X_m^n}. \quad (6)$$

На основе (5) можно построить функции $X_m = f(Y_{12m})$ для различных δ (рис.3). Когда $\gamma=0$ и $\delta=0$, то есть при отсутствии нагрузки:

$$Y_{12m} = X_m^n.$$

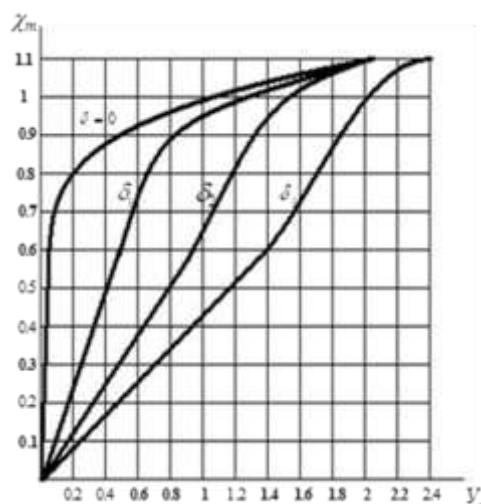


Рис.3. Зависимости $X_m=f(Y_m)$

Принимая $Z_1 = \frac{i_1}{i_\delta}$; $i_\delta = \omega^2 W C_2 \phi_\delta$ после некоторых преобразований и введения нормированных величин, допуская, что $x_1 = X_m \sin \tau$, $x_3 = X_m \sin(\tau + 120^\circ)$, для тока нагрузки получим:

$$Z_1 = (X_m^n - X_m \cdot \frac{1}{\beta_1} X_m^n + \frac{X_m}{\beta_1} \cdot \frac{\beta}{\beta_1} X_m)[\sin \tau \cdot \sin(\tau + 120^\circ)]. \quad (7)$$

$$\text{Здесь } \sin \tau - \sin(\tau + 120^\circ) = \frac{3}{2} \sin \tau - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \tau.$$

$$\text{Тогда } Z_{1m} = \sqrt{3}(-X_m^n + X_m \cdot \frac{X_m - X_m^n - \beta X_m}{\beta_1}). \quad (8)$$

Если примем $\beta=1$, то

$$Z_{1m} = \sqrt{3}(-X_m^n + X_m + \frac{X_m^n}{\beta_1}) \quad (9)$$

Выражения (3), (4) и (9) служат для построения необходимых характеристик трёхфазного ФСТ для случая симметричной активно-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

индуктивной нагрузки, когда приложенное трёхфазное напряжение также является симметричным.

Для случая активной нагрузки выражение (5) преобразуем следующим образом:

$$Y_m^2 = X_m^{2n} + 3\delta^2 \beta_1^2 [\sqrt{3}(-X_m^n + X_m + \frac{X_m^n}{\beta_1})]^2. \quad (10)$$

Тогда с учётом (9)

$$Y_m = X_m^{2n} + 3\delta^2 \beta_1^2 Z_m^2. \quad (11)$$

На основе выражений (9), (11), принимая $n=7$, построены регулировочные и внешние характеристики (рис. 4.), трёхфазного ФСТ. Анализ серий характеристик показывает, что основные энергетические и эксплуатационные показатели трёхфазного ФСТ почти совпадают с показателями однофазного варианта стабилизатора тока.

С целью изучения влияния несимметрии напряжения сети на работу трехфазного ФСТ, рассмотрим ненагруженный режим стабилизатора тока. Допускаем, что несимметрия проявляется только в значениях амплитуд приложенной трёхфазной системы напряжений, то есть примем:

$$\left. \begin{array}{l} Y_{12} = Y_{12m} \cos(\tau + \psi) \\ Y_{23} = Y_{23m} \cos(\tau + \psi - 120^\circ) \\ Y_{31} = Y_{31m} \cos(\tau + \psi + 120^\circ) \end{array} \right\} \quad (12)$$

Здесь

$$Y_{12m} \neq Y_{23m} \neq Y_{31m}$$

Для случая, $\delta=0$ и $\beta=1$ из (5),

$$Y_{12m} = X_{12m}^n, Y_{23m} = X_{23m}^n, Y_{31m} = X_{31m}^n. \quad (13)$$

Для определения линейных токов воспользуемся следующими зависимостями:

$$i_1 = i_{12} + i_{c12} - i_{31} - i_{c31}, i_2 = i_{23} + i_{c23} - i_{12} - i_{c12}, i_3 = i_{31} + i_{c31} - i_{23} - i_{c23}. \quad (14)$$

Принимая $x_1 = X_{m1} \sin \tau, x_2 = X_{2m} \sin(\tau - 120^\circ), x_3 = X_{3m} \sin(\tau + 120^\circ)$,

имеем:

$$\left. \begin{array}{l} Z_1 = (X_{1m} - X_{1m}^n + \frac{X_{1m}^n}{\beta_1} \sin \tau) - (X_{3m} - X_{3m}^n + \frac{X_{3m}^n}{\beta_1} \sin(\tau + 120^\circ)) \sin(\tau + 120^\circ) \\ Z_2 = (X_{2m} - X_{2m}^n + \frac{X_{2m}^n}{\beta_1} \sin(\tau - 120^\circ)) - (X_{1m} - X_{1m}^n + \frac{X_{1m}^n}{\beta_1} \sin \tau) \sin \tau \\ Z_3 = (X_{3m} - X_{3m}^n + \frac{X_{3m}^n}{\beta_1} \sin(\tau - 120^\circ)) - (X_{2m} - X_{2m}^n + \frac{X_{2m}^n}{\beta_1} \sin(\tau + 120^\circ)) \sin(\tau - 120^\circ) \end{array} \right\} \quad (15)$$

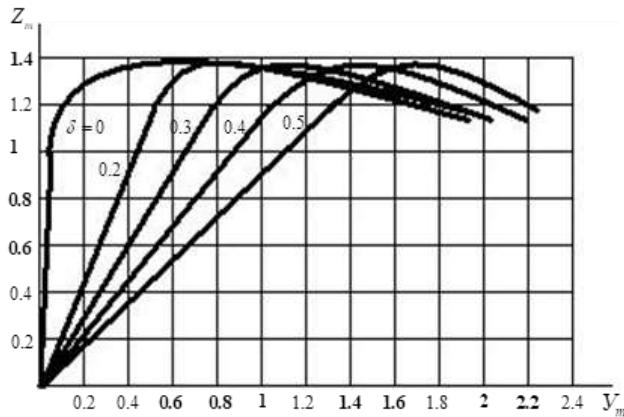


Рис. 4. Регулировочные характеристики
Из этих выражений получим:

$$\left. \begin{aligned} Z_{1m}^2 &= \frac{9}{4} \left(X_{1m} - X_{1m}^n + \frac{X_{1m}^n}{\beta_1} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(X_{3m} - X_{3m}^n + \frac{X_{3m}^n}{\beta_1} \right)^2, \\ Z_{2m}^2 &= \frac{9}{4} \left(X_{2m} - X_{2m}^n + \frac{X_{2m}^n}{\beta_1} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(X_{1m} - X_{1m}^n + \frac{X_{1m}^n}{\beta_1} \right)^2, \\ Z_{3m}^2 &= \frac{9}{4} \left(X_{3m} - X_{3m}^n + \frac{X_{3m}^n}{\beta_1} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(X_{2m} - X_{2m}^n + \frac{X_{2m}^n}{\beta_1} \right)^2, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

На основе последних зависимостей, построив вольт-амперные характеристики для каждой фазы, при сохранении режима стабилизации тока, можем определить значения коэффициента несимметрии. Для этого допускается, что относительный уровень напряжения Y_{12m} изменяется в пределах от 0,2 до 1,0; а уровни напряжений других фаз, то есть $Y_{23m}=Y_{31m}=1$. Тогда в режиме стабилизации значение X_{1m} изменится от 0,8 до 1,0, а $X_{2m}=X_{3m}=1$. Как показали расчёты, при этом коэффициент несимметрии изменяется от 0 до 40%, а значения линейных токов остаются постоянными и равными $Z_{1m}=Z_{2m}=Z_{3m}=1,33$.

Для варианта схемы трёхфазного ФСТ (рис.1) ток нагрузки каждой фазы является суммой токов отдельных элементов цепи. Для оценки гармонического состава стабилизированных линейных токов необходимо найти улучшенное решение нелинейного дифференциального уравнения системы, принимая более точную аппроксимацию кривой намагничивания ферромагнитного элемента. Для этого уравнение цепи в безразмерном виде запишем в следующей форме:

$$\frac{d^2 X_1}{d\tau^2} = \int y_{12} d\tau - \beta X_1 \cdot \frac{X_1^n}{A} - \delta \frac{dX_1}{d\tau}; \quad (17)$$

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$$\frac{d^2 X_2}{d\tau^2} = \int y_{23} d\tau - \beta X_2 \cdot \frac{X_2^0}{A} - \delta \frac{dX_2}{d\tau}; \quad (18)$$

$$\frac{d^2 X_3}{d\tau^2} = \int y_{31} d\tau - \beta X_3 \cdot \frac{X_3^0}{A} - \delta \frac{dX_3}{d\tau} \quad (19)$$

Учитывая (12), (13) и используя методику, изложенную для однофазного ФСТ, имеем:

$$x_1 = X_m \sin \tau - \frac{x_m^0}{126} \left(\frac{84}{9} \sin 3\tau - \frac{36}{25} \sin 5\tau + \frac{9}{49} \sin 7\tau - \frac{1}{81} \sin 9\tau \right); \quad (20)$$

$$x_2 = X_{2m} \sin(\tau - 120^\circ) - \frac{x_{2m}^0}{126} \left(\frac{84}{9} \sin 3\tau - \frac{36}{25} \sin(5\tau - 120^\circ) + \frac{9}{49} \sin(7\tau - 120^\circ) - \frac{1}{81} \sin 9\tau \right) \quad (21)$$

$$x_3 = X_{3m} \sin(\tau + 120^\circ) - \frac{x_{3m}^0}{126} \left[\frac{84}{9} \sin 3\tau - \frac{36}{25} \sin(5\tau + 120^\circ) + \frac{9}{49} \sin(7\tau + 120^\circ) - \frac{1}{81} \sin 9\tau \right] \quad (22)$$

Для определения тока в линейной индуктивности воспользуемся следующим выражением:

$$U_{12m} \cos(\omega t + 120^\circ) = L \frac{di_{12}}{dt} + W \frac{d\phi}{d\tau}. \quad (23)$$

или

$$Z_{12} = \int y dx - \beta X_1; \quad (24)$$

где $Z_{12} = \frac{i_{12}}{i_0}; \beta = \frac{1}{\omega^2 LC_2}$.

Таким образом,

$$z_{12} = Y_m \sin(\tau + \psi) - \beta [X_m \sin \tau - \frac{x_m^0}{126} \left(\frac{84}{9} \sin 3\tau - \frac{36}{25} \sin 5\tau + \frac{9}{49} \sin 7\tau - \frac{1}{81} \sin 9\tau \right)]; \quad (25)$$

$$z_{31} = Y_m \sin(\tau + \psi + 120^\circ) - \beta X_m \sin(\tau + 120^\circ) + \frac{x_{2m}^0}{126} \beta \left[\frac{84}{9} \sin 3\tau - \frac{36}{25} \sin(5\tau + 120^\circ) + \frac{9}{49} \sin(7\tau + 120^\circ) - \frac{1}{81} \sin 9\tau \right]; \quad (26)$$

зная, что

$$Z_{c1} = -\frac{1}{\beta_1} Y_m \sin(\tau + \psi);$$

$$Z_1 = Z_{1L} + Z_{c1} - Z_{3L} - Z_{c31},$$

для симметричного случая имеем:

$$Z_1 = Y_m [\sin(\tau + \psi) - \sin(\tau + \psi - 120^\circ)] - \frac{1}{\beta_1} Y [\sin(\tau + \psi) - \sin(\tau + \psi + 120^\circ)] - \beta_1 \frac{x_{2m}^0}{126} \cdot \frac{36}{25} [\sin 5\tau - \sin(5\tau + 240^\circ)] + \beta_1 \frac{x_{2m}^0}{126} \cdot \frac{9}{49} [\sin 7\tau - \sin(7\tau + 120^\circ)]. \quad (27)$$

Аналогичные зависимости можно получить для Z_2 и Z_3 . Из (27) следует, что в составе линейных токов отсутствуют гармоники кратные трём, и форма кривой стабилизированного тока становится близка к синусоиде. На основе последнего выражения получим следующую формулу для расчёта коэффициента нелинейных искажений:

$$K_{\text{НИ}} = \sqrt{\frac{0,000133 X_m^{18}}{\left(Y_m - \frac{Y_m}{\beta} - \beta X_m\right)^2 + 0,000133 X_m^{18}}} \quad (28)$$

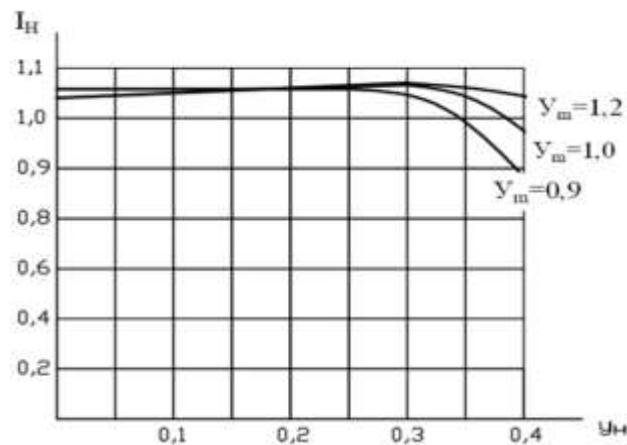


Рис.5. Внешние характеристики ФСТ

На рис.8 показан график изменения коэффициента нелинейных искажений в зависимости от величины приложенной симметричной системы напряжений. Принят следующий порядок построения графика:

1. Определяется значение X_m для различных Y_m по (27);
 2. Рассчитывается $K_{\text{ни}}$ по величинам X_m и Y_m ;
 3. Строится зависимость $K_{\text{ни}} = f(Y_m)$;
1. Сравнение графиков показывает, что коэффициент нелинейных искажений трёхфазного ФСТ, почти в 4-5 раза меньше, чем значение этого коэффициента для однофазного ФСТ [5].

Таким образом, схема трёхфазного ФСТ имеет улучшенную форму кривой стабилизированного тока. На рис.6, 7, показаны формы кривых стабилизированного тока при различных значениях приложенного напряжения.

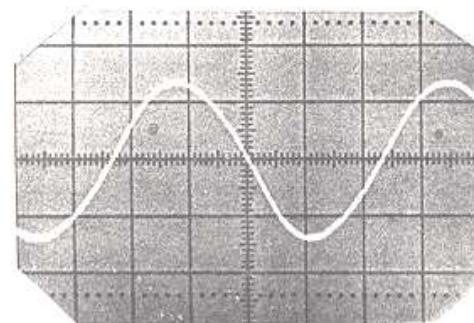


Рис. 6. Форма кривой стабилизированного тока при $V_{B,x}=180$ В

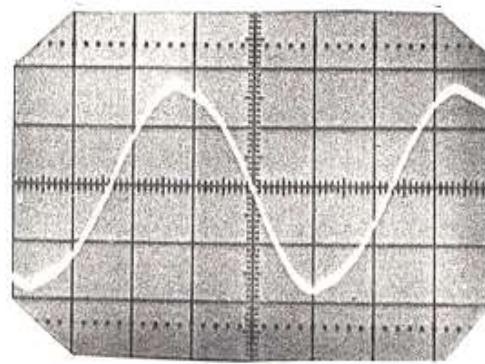


Рис. 7. Форма кривой стабилизированного тока при $V_{B,x}=220$ В

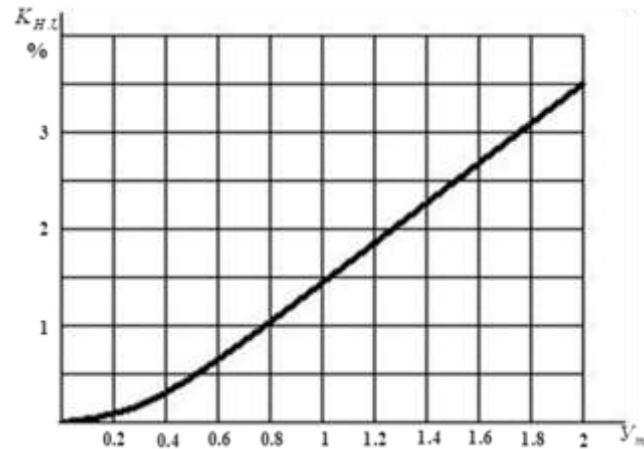


Рис.8. Зависимость $K_{ni}=f(Y_m)$

Выводы. Допустимый предел изменения коэффициента несимметрии трёхфазной сети по ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электроэнергии» никак не влияет на режим работы трёхфазного ФСТ.

Такое свойство рассмотренной цепи позволяет использовать её в качестве симметрирующего устройства, обладающего стабилизирующим эффектом, как при изменении величины нагрузки, так и при отклонении питающего напряжения.

Литература

1. Атабеков Г.И., Купалян С.Д., Тимофеев А.Б., Хухриков С.С. Теоретические основы электротехники. -М.: Энергия, 1979, -432 с.
2. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. - М.: Высшая школа, 1977. -343 с
3. Волков И.В., Губаревич В.Н., Исаков В.Н., Кабан В.П. Принципы построения и оптимизация схем индуктивно-ёмкостных преобразователей. -Киев.: Наукова думка, 1981. -174 с.
4. Кадыров Т.М. Электро-ферромагнитные цепи, обладающие широким падающим участком на амплитудной и фазовой характеристиках. //Известия вузов. Электромеханика, 1988, №7, 26-30 с.
5. Кадыров Т.М., Расулов А.Н., Усманов Э.Г., Бакиров А.Б. Двухфазно-однофазный феррорезонансный стабилизатор тока. Известия АН Уз. ССР, серия технических наук, 1990, №4, 22-26 с.
6. Кадыров Т.М., Расулов А.Н. Ферро резонансный стабилизатор тока с синусоидальной формой кривой тока. //Автоматика и телемеханика, 1977, №11, С 197-200.
7. Кадыров Т.М., Камалов А.М., Расулов А.Н. Феррорезонанс в двухконтурной цепи с одним ферромагнитным элементом. //Известия АН Уз. ССР, серия технических наук, 1977, №1, 30-34 с.
8. Кадыров Т.М., Расулов А.Н. Стабилизация тока однофазной нагрузки и трёхфазных цепях. //Известия АН Уз. ССР, серия технических наук, 1984, №5, 21-24 с.
9. А.С. 634257. Стабилизатор переменного тока. /Т.М.Кадыров, А.Н.Расулов, Н.М.Пардабаева. Опубликован в БИ, 1978, №43.
10. Кулинич В.А. Индуктивно-ёмкостные управляемые трансформирующие устройства. - М.:Энергоатомиздат, 1987. -177 с.
11. Милях А.Н., Волков И.В.Системы неизменного тока на основе индуктивно-ёмкостных преобразователей. - Киев.: Наукова думка, 1974.
12. Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р. Феррорезонансные устройства для стабилизации тока. UNIVERSUM:Технические науки: электрон.научн.журн. 2016 . № 3-4 (25).
13. Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р. Методика расчета цепи. Научные журналы:"GLOBUS". (42-48 лет) Санкт-Петербург -2016.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

14. Ибадуллаев М.И., Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р. Стабилизации тока в двухфазно-одназначных цепях. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. ISSN 2091-5985. 2019, №3-4, 34-140 с.
15. Ибадуллаев М.И., Расулов А.Н., Рузиназаров М.Р., Шовкатов Б.Б. Способы компенсации отрицательного участка вольт-амперной характеристики феррорезонансной цепи. // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. ISSN 2091-5985. 2020, №3-4, 122-125 с.
16. Расулов А.Н., Рафикова Г.Р., Рузиназаров М.Р. Стабилизация тока на базе магнитного усилителя с электромагнитной цепью управления. Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. ISSN 2091-5985. 2020, -№3-4, 312-316 с.
17. Rasulov A.N., Rafikova G.R., Ruzinazarov M.R. The stabilizing properties and energy indicators of electrical-ferromagnetic oscillatory circuit. "International Journal of Advanced Science and Technology ISSN: 2005-4238 (печать) ISSN: 2207-6360 (онлайн)" Австралия. Vol. 29, No. 11s, (2020), pp.1541-1547.
<http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/21174/10724>.
18. Rasulov A.N., Ruzinazarov M.R., Toirova N., Alibekova T.Sh.. Graphical-analytical method for constructing load characteristics. E3S Web of Conferences. Volume 216 (2020). Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems" (RSES 2020). eISSN: 2267-1242. Kazan, Russia, September 21-26, 2020. Volume 216, 01171 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601171>. https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/76/e3sconf_rses2020_01171.pdf

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 624.313.019.3

ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ

Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков

Электр подстанциянинг (ЭП) ишончлигини ва хавфсизлигини баҳолаш қийинчилиги, ундаги жараёнларида юз бераётган таъсирларни тўғрисидаги дастлабки ахборотларни етиши маслигига, обьектнинг вазифасини бажаришдан олдинги босқичидаги холати тўғрисидаги маълумотларнинг тўлиқ бўлмаслигига, таъмир-тиклиши шиларни ўтказилгандан кейинги обьектнинг холати тўғриси ҳақидаги ахборотларнинг амалда мавжуд эмаслигига ва бошқаларда намоён бўлади. Ҳавфсизликнинг эҳтимолли таҳлилини (ХЭТ) ўтказиши холатда, алоҳида жараёнлар ва хоссалар ҳақидаги ахборотлар мавжуд бўлмагандан ёки тўлиқ бўлмаганда рискни ҳисоблаши юқори ноаниқликда бўлишига олиб келади. Бундай ҳолатда ХЭТ ни тўлиқ ҳажсмда ўтказишида қийинчилик бўлади. Бунда обьектнинг ишончлигини фақат сифатли ва саноқли таҳлил қилиши бажарилади. ЭП ни “тизим” деб қараши мумкин. Бу тизимнинг ишончлигини ҳисоблаши учун уларнинг функционал схемаси тўғрисидаги, элементлар ишончлигининг кўрсатгичлари тўғрисидаги, техник хизмат кўрсатиши тизимини қабул қилинганлиги тўғрисидаги ва шунингдек тизимнинг бузилиши сабаблари ҳақидаги ахборотларни жалб этиши лозим. Шу сабабли мақолада 10 кВли ЭПнинг бир чизиқли схемасининг ишончлигини ҳисоблаши тузилма схемалари келтирилган. Техник тизимларнинг ишончлигини ҳисоблашда берилган вақт ичидаги бузилишсиз шилаши эҳтимолини миқдорий баҳолаш аниқланади. ЭП ва унинг элементларининг бузилишсиз шилаши эҳтимоли формулалари тузилма схемалари асосида келтириб чиқарилган. Бу формулалар ЭПнинг ҳавфсизлиги кўрсатгичларинининг миқдорий баҳолашга имкон беради. ЭПнинг ҳавфсизликнинг баҳолашга имкон берувчи рискни ҳисоблаши формуласи келтириб чиқарилди. Рискни баҳолаш пуллик ифодада-шартлик бирликда ёки баллик тизимда аниқлаши мумкин. Бу холатда рискни баҳолаш пуллик ифодада-шартлик бирликда бажарилади. ЭПнинг ҳавфсизлиги даражасини ҳисоблаши учун келтириб чиқарилган формулалар, рискни баҳолаш ва ҳавфсизлигини назорат қилишига имкон беради. Ишлаб чиқилган ишончликни ҳисоблашнинг тузилма схемалари, ЭПнинг элементларини ҳавфсизликнинг баҳолашда, башорат қилишида, турли хил шилаши шароитида ва турли хилдаги таъсирларда ишончликтини бўлишини ўрганишида, ва шунингдек қўлланилаётган

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

элементларнинг бузилишини таҳлили қилишида ва ЭПнинг хавфсизлигини бошқаришида фойдали бўлади.

Сложность оценки надежности и безопасности электрической подстанции (ЭП) обуславливается недостаточностью исходной информации о протекающих в ней процессах; неполнотой сведений о поведении объекта на предыдущих стадиях функционирования, практическом отсутствии информации о состоянии объекта после проведения ремонтно-восстановительных работ и т.д. При проведении вероятностного анализа безопасности (ВАБ) в случаях, когда информация об отдельных процессах и явлениях отсутствует или является неполной, расчет риска сопровождается высокой степенью неопределенности. В этом случае проведение ВАБ в полном объеме может быть затруднено. Тогда выполняются только качественный и количественный анализ надежности объекта. ЭП можно представить как «систему», для расчета надежности которой необходима информация о функциональной схеме, сведения о показателях надежности элементов, входящих в схему, информация о системе технического обслуживания и ремонта, а также о причинах отказа элементов. В статье приведены структурные схемы расчета надежности однолинейной схемы ЭП напряжением 10 кВ. При расчете надежности технических систем обычно определяют количественную оценку вероятности безотказной работы в течение заданного промежутка времени. Формулы вероятности безотказной работ ЭП и её элементов составлены на основе структурных схем. Эти формулы позволяют численно оценить показатели безопасности ЭП. Выведена формула вычисления риска ЭП позволяющая оценить её безопасность. Оценка риска может быть определена в денежном выражении - условных единицах или в балльной системе. В данном случае риск оценивается в денежном выражении – условных единицах. Выведеные формулы для вычисления степени безопасности ЭП позволяют оценить риск и контролировать показатели безопасности. Разработанные структурные схемы расчета надежности будут полезными при анализе безопасности элементов ЭП, прогнозе, изучении возможной надежности для различных условий работы и разнообразных воздействий, а также при анализе отказов примененных элементов и оптимального значения риска и управления безопасностью ЭП.

The complexity of assessing the reliability and safety of a electrical substation (SS) is due to the lack of initial information about the effects of the processes occurring in them; incomplete information about the behavior of the object at the previous stages of its operation, the practical lack of information about the state of the object after repair and restoration work, etc. When conducting a probabilistic safety analysis (PSA), when information about

individual processes and phenomena is missing or incomplete, the risk calculation is accompanied by a high degree of uncertainty. In this case, it may be difficult to conduct a full VAB. Then only qualitative and quantitative analyses of the reliability of the object are performed. A SS can be represented as a "system". To calculate the reliability of this system, it is necessary to involve information about their functional scheme, information about the reliability indicators of the elements included in these schemes, information about the accepted system of maintenance and repair, as well as about the failure criteria of such systems. In this regard, we have developed structural schemes for calculating the reliability of a single-line scheme of a SS with a voltage of 10 kV. When calculating the reliability of technical systems, a quantitative assessment of the probability of trouble-free operation for a given period of time is usually determined. The formulas for the probability of trouble-free operation of SS and its elements are based on the structural scheme. The above formulas allow us to assess the safety of the SS. The risk assessment can be determined in monetary terms-conventional units or in a point system. In this case, our risk assessment is estimated in monetary terms-conventional units. Thus, the derived expressions for calculating the risk of a SS allow us to assess the risk and monitor their safety indicators. The developed structural schemes for calculating reliability will be useful in analyzing the safety of SS elements, forecasting, studying possible reliability for various operating conditions and various impacts, as well as analyzing failures of applied elements, determining the optimal risk value and managing the safety of the SS.

Сложность оценки надежности и безопасности электрической подстанции (ЭП) обусловливается недостаточностью исходной информации о протекающих в ней процессах, неполнотой сведений о поведении объекта на предыдущих стадиях функционирования, практическом отсутствии информации о состоянии объекта после проведения ремонтно-восстановительных работ и т.д. [1,2]. В существующих методах проведения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) в случаях, когда информация об отдельных процессах и явлениях отсутствует или является неполной, расчет риска сопровождается высокой степенью неопределенности. В этом случае проведение ВАБ в полном объеме может быть затруднено. Тогда выполняются только качественный и количественный анализы надежности объекта [3].

Все электроприемники, с напряжениями 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ города Ташкента по надежности электроснабжения относятся к I и II категориям. Поэтому необходимо обеспечить качественное, надежное и безопасное электроснабжение всех приемников [4,5]. ЭП можно представить как «систему» для расчета надежности которой необходима информация о функциональной схеме, сведения о показателях надежности эле-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ментов, входящих в схему, информация о системе технического обслуживания и ремонта, а также о причинах отказа элементов [6,7,8]. В статье приведены структурные схемы расчета надежности однолинейной схемы ЭП напряжением 10 кВ. При расчете надежности технических систем обычно определяют количественную оценку вероятности безотказной работы в течение заданного промежутка времени [9 - 14]. Формула вероятности безотказной работы ЭП, составлена на основе структурной схемы.

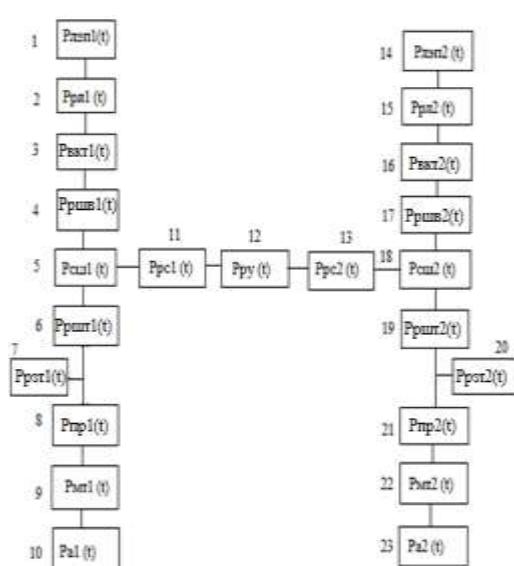


Рис.1. Структурная схема оценки надежности однолинейной схемы ЭП напряжением 10 кВ:
 1,14 – линии электропередачи;
 2,15 – разъединители линии; 3,16
 – выключатели на выкатной
 тележке; 4, 17 – разъединители
 шин ввода; 5,18 – секции шин;
 6,19 – разъединители шин
 трансформатора; 7,20 –
 разъединители заземления
 трансформатора; 8,21 –
 предохранители; 9,22 –
 масляные
 трансформаторы;10,23 –
 автоматы;11,13 – разъединители
 секции ; 12 – распределительное
 устройство

Рассмотрим структурную схему оценки надежности ЭП, которую можно представить из двух параллельных линий, в каждой из которых последовательно соединены элементы - линии электропередачи (ЛЭП), разъединители, выключатели на выкатных тележках, разъединители шин ввода; секции шин; разъединители шин трансформатора; предохранители; масляный трансформатор (МТ) и автоматы, а между параллельными линиями последовательного соединенных элементов – первого разъединителя секции, распределительного устройства и второго разъединителя секции. Элемент МТ разделен на узлы: активная сталь; обмотки; устройство регулирования напряжения; вводы; выводы; изоляторы; маслорасширитель; система охлаждения (рис.2). Элементы выключателя включают в себя: привод; электромагнит; вспомогательные контакты; цепи управления; вводы; опорная изоляция; внутренняя изоляция; дугогасительное устройство; передаточный механизм; междуфазная изоляция; выкатная тележка (рис.3).

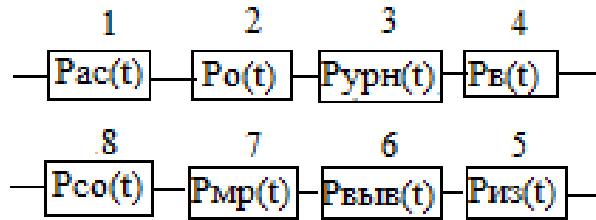


Рис.2 . Структурные схемы надежности МТ: 1 – активная сталь; 2 – обмотки; 3 - устройство регулирования напряжения; 4 - вводы; 5 - изоляторы; 6 – выводы; 7 - маслорасширитель; 8 - система охлаждения

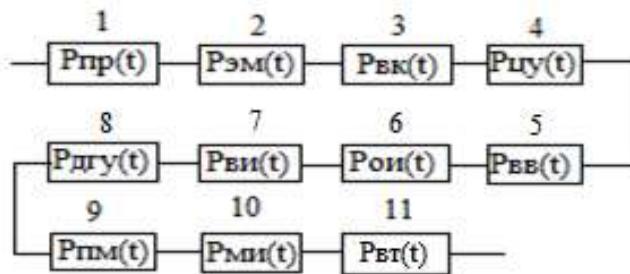


Рис.3. Структурные схемы надежности выключателя на выкатной тележке: 1 – привод; 2 – электромагниты; 3 - вспомогательные контакты; 4 – цепь управления; 5 – вводы; 6 – опорная изоляция; 7 – внутренняя изоляция; 8 – дугогасительное устройство; 9 – передаточный механизм; 10 – междуфазная изоляция; 11- выкатная тележка

При расчете надежности технических систем обычно определяют количественную оценку вероятности безотказной работы $P(t)$ в течение заданного промежутка времени (t_3) [15,16,17]. Формула вероятности безотказной работы ЭП, составленная на основе структурной схемы (рис.1) имеет вид:

$$\begin{aligned} P_{\text{п}}(t) = & [1 - R_{\text{лэп1}}(t) \cdot R_{\text{лэп2}}(t) \cdot R_{\text{вкт1}}(t) \cdot R_{\text{шв1}}(t) \cdot \\ & R_{\text{сш1}}(t)] \cdot [1 - R_{\text{лэп2}}(t) \cdot R_{\text{лэп1}}(t) \cdot R_{\text{вкт2}}(t) \cdot R_{\text{шв2}}(t) \cdot \\ & R_{\text{сш2}}(t)] \cdot P_{\text{р1}}(t) \cdot P_{\text{р2}}(t) \cdot \{1 - R_{\text{шт1}}(t) \cdot \\ & [1 - R_{\text{зт1}}(t)] \cdot R_{\text{пр1}}(t) \cdot R_{\text{мт1}}(t) \cdot P_{\text{а1}}(t)\} \cdot \{1 - R_{\text{шт2}}(t) \cdot \\ & [1 - R_{\text{зт2}}(t)] \cdot R_{\text{пр2}}(t) \cdot R_{\text{мт2}}(t) \cdot P_{\text{а2}}(t)\}; \quad (1) \end{aligned}$$

где, вероятности безотказной работы элементов ЭП:

$R_{\text{лэп1}}(t), R_{\text{лэп2}}(t)$ - линий электропередач; $R_{\text{лэп1}}(t), R_{\text{лэп2}}(t)$ – разъединителей линии; $R_{\text{вкт1}}(t), R_{\text{вкт2}}(t)$, – выключателей на выкатной тележке; $R_{\text{шв1}}(t), R_{\text{шв2}}(t)$ – разъединителей шин ввода; $R_{\text{сш1}}(t), R_{\text{сш2}}(t)$ – секций шин; $R_{\text{шт1}}(t), R_{\text{шт2}}(t)$ – разъединителей шин трансформатора; $R_{\text{зт1}}(t), R_{\text{зт2}}(t)$ – разъединителей заземления трансформатора; $R_{\text{пр1}}(t), R_{\text{пр2}}(t)$ – предохранителей; $R_{\text{мт1}}(t), R_{\text{мт2}}(t)$ – масляного трансформатора;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$P_{a1}(t)$, $P_{a2}(t)$ – автоматов; $P_{pc1}(t)$, $P_{pc2}(t)$ – разъединителей секций; $P_{ru}(t)$ – разделителного устройства.

Формула вероятности безотказной работы элемента масляного трансформатора определяется умножением вероятности безотказной работы его узлов (рис.2):

$$P_{MT}(t) = P_{ac}(t) \cdot P_{o}(t) \cdot P_{urh}(t) \cdot P_{v}(t) \cdot P_{iz}(t) \cdot P_{viv}(t) \cdot P_{mp}(t) \cdot P_{co}(t); \quad (2)$$

где, вероятности безотказной работы узлов МТ:

$P_{ac}(t)$ – активной стали; $P_o(t)$ – обмоток; $P_{urh}(t)$ - устройства регулятора напряжения; $P_v(t)$ – вводов; $P_{iz}(t)$ - изоляторов; $P_{viv}(t)$ - выводов; $P_{mp}(t)$ - маслорасширителя; $P_{co}(t)$ - системы охлаждения.

Формула вероятности безотказной работы элемента выключателя на выкатной тележке определяется умножением вероятностей безотказной работы его узлов (рис.3):

$$P_{VKT}(t) = P_{pr}(t) \cdot P_{em}(t) \cdot P_{vk}(t) \cdot P_{cy}(t) \cdot P_{vv}(t) \cdot P_{oi}(t) \cdot P_{vi}(t) \cdot P_{dg}(t) \cdot P_{pm}(t) \\ P_{mi}(t) \cdot P_{vt}(t) \quad (3)$$

где, вероятности безотказной работы узлов выключателя на выкатной тележке: $P_{pr}(t)$ - привода; $P_{em}(t)$ - электромагнитов; $P_{vk}(t)$ - вспомогательных контактов; $P_{cy}(t)$ - цепи управления; $P_{vv}(t)$ - вводов; $P_{oi}(t)$ - опорной изоляции; $P_{vi}(t)$ - внутренней изоляции; $P_{dg}(t)$ - дугогасительного устройства; $P_{pm}(t)$ - передаточного механизма; $P_{mi}(t)$ - междуфазной изоляции; $P_{vt}(t)$ - выкатной тележки.

Составленные схемы расчета позволяют произвести анализ надежности ЭП, заключающийся в вычислении показателей надежности элементов, включенных в аварийную последовательность. Для элементов, которые могут эксплуатироваться непрерывно в течение заданной наработки t , в качестве основного расчетного показателя принимается вероятность безотказной работы $P(t)$ за время t . Для элементов, которые должны находиться в режиме ожидания с возможными перерывами на техническое обслуживание и ремонт, в качестве основного расчетного показателя принимается стационарный коэффициент готовности K_g .

Важным аспектом расчета надежности элементов ЭП является установление причин их отказов. При определении отказов ЭП следует использовать описание элемента, чертежи и другую конструкторскую документацию. Процесс возникновения моментов отказов описывается соответствующими вероятностными законами, основные из которых рассматриваются в курсе «Теория надежности».

Интенсивность отказов элементов ЭП можно определить, пользуясь специальными справочниками, информацией, содержащейся в базах данных о надежности или конструкторской документацией на комплектующие. Учет специфических условий эксплуатации ЭП (температуры, влаж-

ности, вибрации и других воздействий) осуществляется путем введения поправочных коэффициентов.

Приведенные выше формулы позволяют оценить безопасность ЭП. Для этого в начале производится вычисление риска подстанции R_{Π} [д.е./год]. Оценка риска может быть определена в денежном выражении - условных единицах или в балльной системе. В данном случае оценка риска оценивается в денежном выражении – условных единицах, по выражению:

$$R_{\Pi} = \sum_{i=1}^n \{[Q_{\Pi i} + \mathbb{C} \cdot \Delta Q_{\Pi i} \cdot T_i] \cdot P_{\Pi i} + Q_{\Pi i}^{BH}\} \frac{1}{T_{год}} [(д.е.) / год]; \quad (4)$$

где $P_{\Pi i} = f(OЧO, P)$;

$Q_{\Pi i}$ – ущерб нанесенный элементам подстанции при воздействии i -го события [д.е.];

$OЧO$ – ожидаемое число отказов;

$\Delta Q_{\Pi i}$ – потери мощности ЭП от простоя при i -ом событии [кВт];

T_i – время простоя ЭП при i -ом событии [ч];

\mathbb{C} – стоимость одного кВт·ч электрической энергии [д.е. / кВт·ч];

$P_{\Pi i}$ – вероятность возникновения i -го события на ЭП;

P – вероятность исходного события;

$Q_{\Pi i}^{BH}$ – внешний ущерб нанесенный потребителям из-за недоотпуска электрической энергии при i -том событии на ЭП [д.е.];

Тгод – межремонтный период работы ЭП за год [год].

Полученные значения риска делим на 4 категории безопасности в размерах условных денежных единицах, а размер экономического ущерба принят по таблице:

Категория безопасности	Экономические и социальные последствия
I	Экономический ущерб может оказаться весьма значительным. $R \geq 100$ млн. д.е. / год
II	Экономический ущерб может оказаться значительным. $R \geq 1$ млн. д.е. / год
III	Размер возможного ущерба незначителен. $R \geq 100$ тыс.д.е. / год
IV	Минимальный ущерб, в будущем практически отсутствует. $R \leq 100$ тыс.д.е. / год

Разработанные структурные схемы расчета надежности будут полезными при анализе безопасности элементов ЭП, прогнозе, изучении

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

возможной надежности для различных условий работы и разнообразных воздействиях, а также при анализе отказов примененных элементов и определения оптимального значения риска и управления безопасностью ЭП [18,19, 20].

Литература

1. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и др.; Под ред. Соколова В.П.- Логос, 2001. - 233 с.
2. Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска / Пер. с англ. Сыромятникова В.С., Деминой Г.С. Под общ. ред. Сыромятникова В.С. - М.: Машиностроение, 1984. -528 с.
3. Электротехнический справочник: в 4^Х томах, т3: Производство, передача и 269 распределение электрической энергии/Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
4. Савина Н.В. Надежность систем электроэнергетики: учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011. - С.268.
5. Анисимов Д.Н. Надежность систем автоматизации. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 96 с.
6. Балаков Ю.Н., Шевченко А.Т., Шунтов А.В. Надежность схем выдачи мощности электростанций. – М.: Изд-во МЭИ, 1993. – 128 с.
7. Биллинтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 288 с.
8. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
9. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
10. ГОСТ 27.002 – 83. Надежность в технике. Термины и определения. Гос. Ком. СССР по стандартам. – М., 1991.
11. ГОСТ 27.001 – 95. Система стандартов. Вып. 95. – «Надежность в технике». Основные положения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 1996.
12. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика электроустановок.– Йошкар-Ола: Изд-во Морд. гос. ун-та. – 2000. – 348 с.
13. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, – 2003. – 256 с.
14. Михайлов В.В. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоиздат, 1982. – 150 с.
15. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. ФГБОУ ВПО Тамбов: Из-во «ТГТУ», 2012, -.79 с.

16. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск. Ч.1. Надёжность технических систем / В.Ф. Воскобоев.- М.: ООО ИД «Альянс», 2008; ООО Из-во «Путь», 2008. -200 с.
17. Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надежность систем энергетики. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
18. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения,– М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.
19. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. – М.: В. шк., 1989. – 151 с.
20. Tolyagan Kamalov, Solixjon Halikov. Assessment of reliabilite and safety of work large pumps of machine irrigation systems. E3S Web of Conferences 139,01014 (2019) RSES019. <https://doi.org/10.1051/20190114>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом и Ташкентским
государственным транспортным университетом*

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

М. Ибадуллаев, А.К. Нуралиев, А.Ж. Есенбеков

Хозирги кунда электромеханик тизимларда хосил буладиган тебранишиларни урганиш учун куплаб изланишилар олиб борилмокда. Малумки электромеханик тизимларда индуктивлик узгариши хисобига тугридан – тугри электрэнергия механик энергияга узгартирилади. Шу сабабли электромеханик титратгичлар ишкананувчи кисимлардан мустасно эканлиги катта ахамият касб этиб, уни узок вақт ишишини, чидамлигини ва самарадорлигини оширади. Одатда электромеханик титратгичларнинг якорь тебранишини ток еки күшланиши амплитуда ва частотасини узгартириши билан бошкариши мумкун болиб, фойдаланишига кулай, автоматик тарзда бошкариладиган курилмаларни лойихалаш мумкин. Айникса электромагнитли титратгични резонансга якин холатда бошкарилса электрэнергия кам сарфланаб, фойдали иши коэффициенти ортади ва самарадорлиги юкори булган катта кувватли курилма лойихалаш мумкин. Маколада катта кувватли электр магнитли титратгич курилмаларни лойихалаш усули замонавий компьютер ердамида MATLAB (пакет SIMULINK) программалар оркали амалга ошириши мумкинлиги исботланган. Бунинг учун электр механика тизимларнинг ўхшашилик (аналогия) коидасига асосан эквивалент схемаси ва дифференциал ҳолат тенгламаси тузилган. Математик модельлаштириши билан электр магнитли титратгичнинг конструктив тузилиши, электр магнит кисмлари ва параметр кийматлари хисоблаб чиқилган. Компьютер ёрдамида ҳисоблаш алгоритми ечиши услубияти батафсил изоҳланган. Математик модельлаштириши натижасида икки тактли электр магнит титратгич параметлари, частотаси, юкламаси ва бошқа қийматлари ўзгаришига нисбатан, оптимал иши ҳолати аниқланган, электр механик ва электр магнит жараёнлари таҳлил килиниб, ток, сарфланадиган қувват, конденсатордаги кучланиши ва якорь тебраниши вақтга нисбатан ўзгариши 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. Благо-

даря отсутствию трещущихся 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 вибroteхнологий. Особенno разработку управляемых по частоте резонансных ЭМВВ повышает экономичность потребления электроэнергии и производительность вибroteхники. 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 (осцилограммы) 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 pathogens. 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 mathemat-

ical 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.

1. 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, осуществляющееся путем моделирования. Электромеханическое преобразование энергии осуществляется с помощью электрического генератора – источника ЭДС [10,11,12,13,14,15,16,17,19].

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.

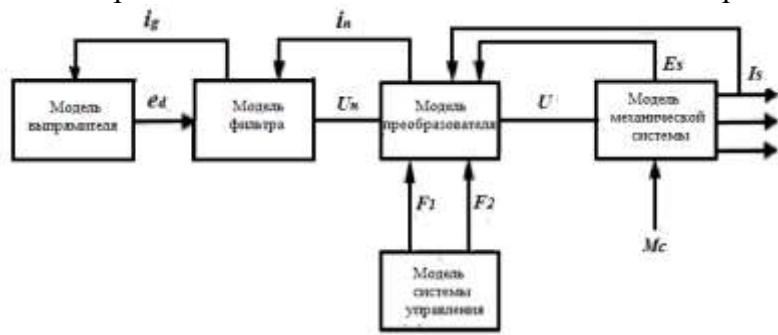


Рис.1. Блок - схема модели энергетического канала ЭМС

Рассмотрим компоненты математического моделирования в электромеханических системах. Преобразователь электроэнергии –

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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.

2. 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 [1,2,6,16,17,18,19,20]. 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:

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

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 однотипными дифференциальными уравнениями.

Падение напряжения на индуктивности:

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

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

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

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

Возьмем напряжение на емкости:

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

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

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

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:

$$\Pi = \frac{F^2}{2K} = \frac{C_M F^2}{2}, \text{ а энергия электрического поля конденсатора:}$$

$$W = \frac{CU^2}{2}. \quad (6)$$

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:

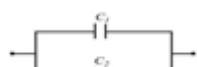


$$Z_M = \frac{F}{v}. \quad (8)$$

Уравнения (7 и 8) представляют собой закон Ома в механике. Аналогии электрических и механических величин существуют и в схемах соединения их элементов:

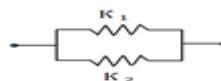
$$C_M = C_{M1} + C_{M2} \quad (9)$$

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



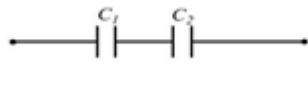
$$C = C_1 + C_2. \quad (10)$$

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 аналогийложен в основу моделирования ЭМС и ЭМВВ.

3. Разработка математической модели механической системы с электромагнитным вибровозбудителем. Проведем анализ динамикивиброустановки при использовании системы управления тиристорами для формирования токов, которые играют важную роль при работевиброустановки и применении её в практических целях [1-12]. Необходимые данные о работевиброустройств 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.

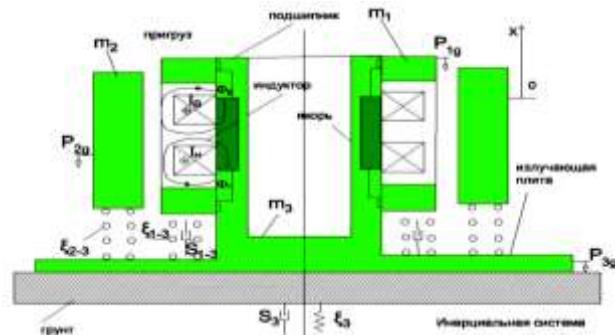


Рис.2. Конструкция вибрационной установки

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 характери-

зуются 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).

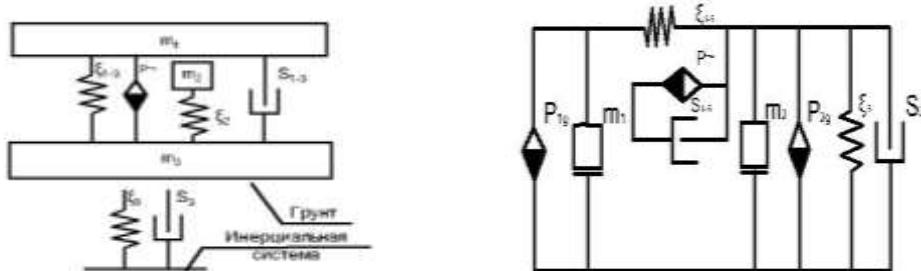


Рис.3 а) упрощенная конструктивная схема вибрационной установки

б) Механическая цепь вибрационной установки

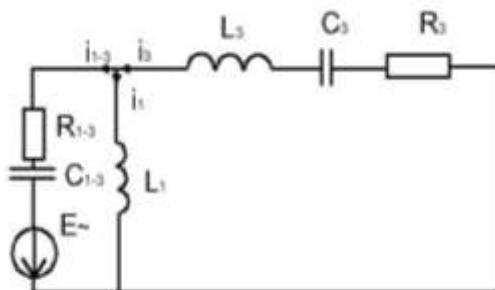


Рис.4. Электрическая схема – аналог замещения механической части

От упрощенной конструкции вибратора рис.3 а) мы перешли к механической под- системе (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:

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

Перейдя к механической системе, получим:

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

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;

$P_{\xi 3}$ и $P_{\xi 1-3}$ - сила, возникающая в пружине с ξ_3 и ξ_{1-3} ;

$P \square$ - 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.

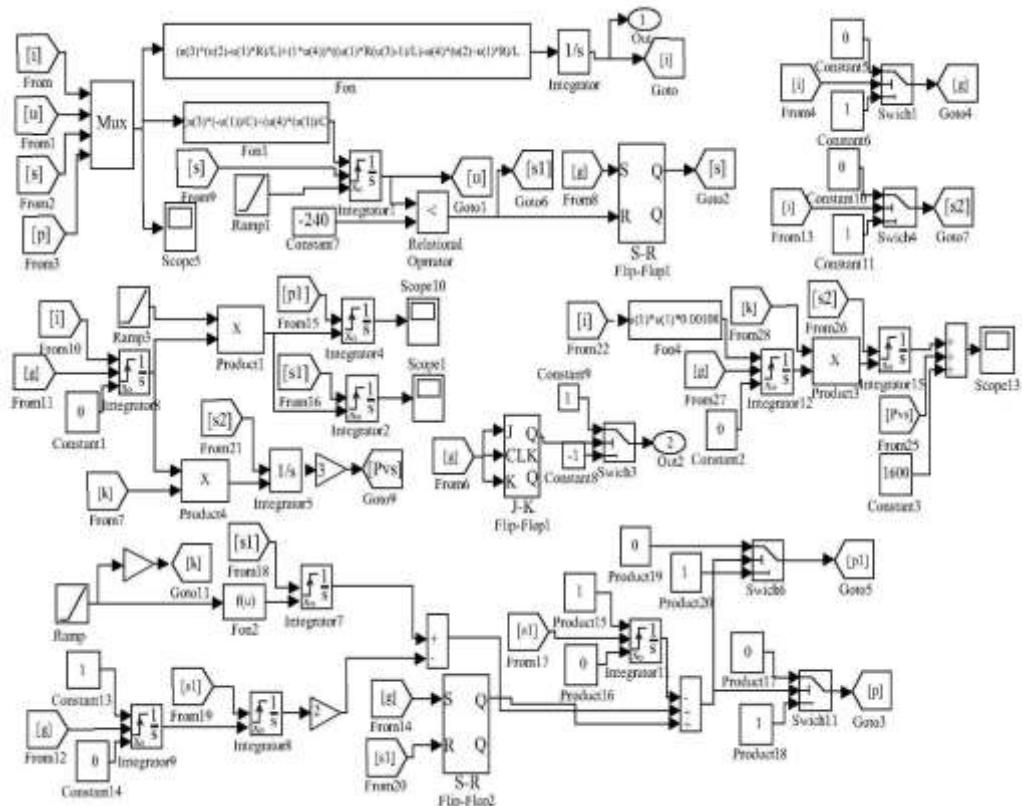


Рис.5. Блок-схема формирователя тока

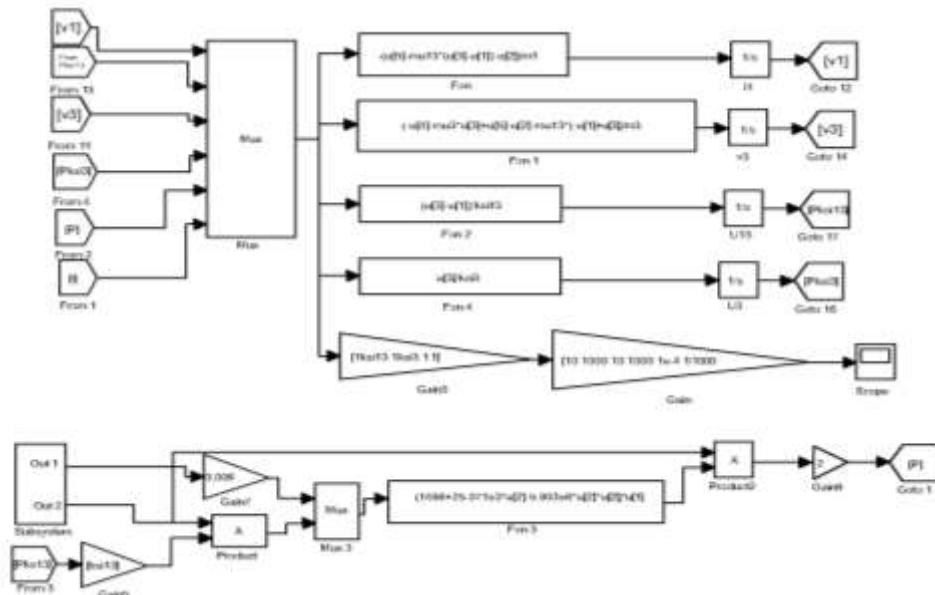


Рис.6. Моделирование механической системы вибратора
Запишем уравнения для трех участков токов:

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

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.

4. 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).

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.

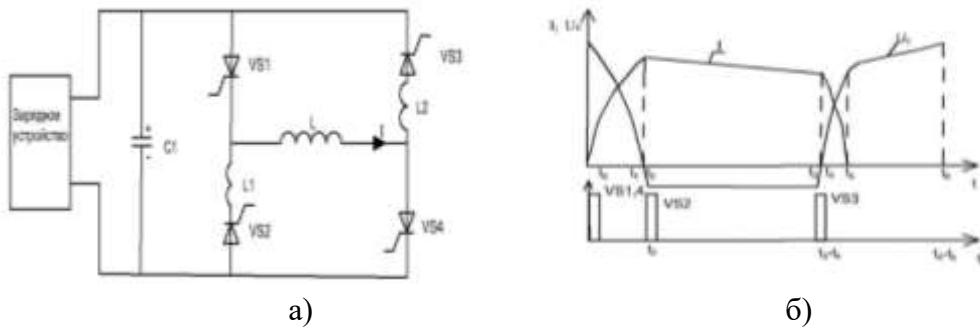


Рис.7. Формирователь токов в тиристорах: а) схема для формирования импульсов тока в тиристорах; б) временные диаграммы

При $S_1 = 1$ и токе $i < 0.01 \text{ A}$ 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

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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).

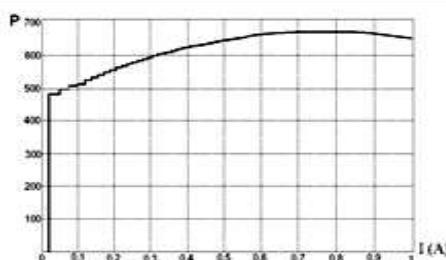


Рис.8. График изменения среднего значения тока через максимально загруженный тиристор

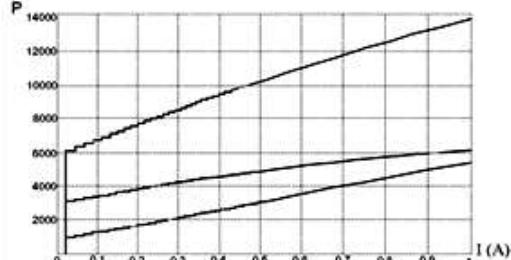


Рис.9. График изменения мощности потерь в установке

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).

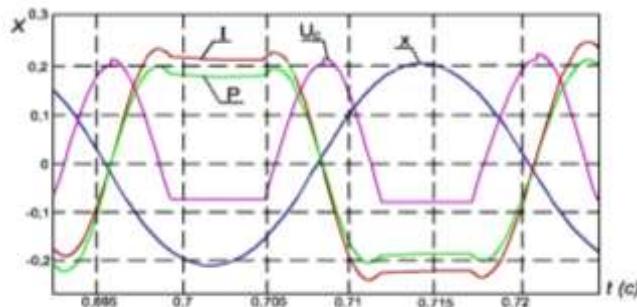


Рис.10. График изменения кривых I , U_c и P в виброустановке.
(временные диаграммы - осциллографы)

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.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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. Известие 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 двухмассной 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 ч2. 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
19. Sinha S.K. , Zylka R.P. Vibration analysis of composite airfoil blade using orthotropic thin, shell bending theory International Journal of Mechanical Sciences 2017, T. 121 с. 90-105.
20. Ibadullayev M., Nuraliyev A.K., Esenbekov A.J. Research of an electromagnetic vibrator with a non-linear power supply. 2nd International scientific conference. MIR. Engineering – 2020. Advanced technologies in material technologies in material, science, mechanical and automotion engineering. 2020 Krasnoyarsk. Russia.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.365

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕММОЛИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ БАШОРАТЛАШ ХАТОЛИГИНИ КАМАЙТИРИШ

Н.Н. Ниёзов

Электр энергияси истеъмолини прогноз қилиши масаласи муҳим илмий-техник вазифа ҳисобланиб, бугунги кунда аксарият саноат корхоналарида бу вазифа эксперт баҳолаш ва маҳсулот бирлигига тўғри келадиган энергиянинг солиштирма сарф усуллари ёрдамида амалга оширилади. Бу эса прогноз кўрсаткичларининг етарли аниқлигини таъминлай олмайди. Маълумки, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Махкамасининг 2018 йил 12 январдаги 22 сонли Қарорига мувофиқ, саноат корхонаси электр таъминоти шартномасида кўрсатилгандан ортиқ истеъмол қилинган электр энергияси учун белгиланган тарифнинг 1,15 баравари миқдорида жарима тўловини амалга оширади. Демак, саноат корхоналарининг келгусидаги электр энергияси истеъмолини аниқлашдаги хатоликлар, корхоналарнинг қўшимча тўловни амалга оширишига олиб келади. Бугунги бозор иқтисодиёти шароитида ишлаб чиқарилатёган маҳсулот рақобатбардошлигини ошириши, унинг таннархига энергия ҳаражатларини камайтиришида корхонанинг келгуси давр учун электр энергияси истеъмолини юқори аниқликда прогнозлаши масаласи долзарб бўлиб ҳисобланади. Амалда саноат корхоналарининг электр энергия истеъмолини башоратлашида юздан ортиқ усуллар қўлланилади. Мазкур усулларнинг у ёки бу турини танлаши башоратлаши обьектининг хусусиятига боғлиқ бўлиб, уларнинг тўғри танланиши башоратлаши кўрсакичларининг юқори аниқликда ҳисобланишини таъминлайди. Мазкур мақолада энг кичик квадратлар усули ёрдамида ишлаб чиқилган башоратлаши моделларининг доимий коэффициентларини ростлаши орқали башоратлаши хатолигини минималлаши масаласи кўриб чиқилади. Тадқиқот обьекти сифатида "Uz Truck & Bus Motors" қўйима корхонаси олинган бўлиб, барча ҳисоб-китоблар корхонада ўтказилган энергетик текширувлар натижасида олинган ҳисобий-экспериментал маълумотлар асосида амалга оширилади. Корхонанинг уч йиллик маълумотларини статистик қайта ишилаш ёрдамида прогнозлаши моделлари ишлаб чиқилиб, мазкур моделлар башоратлашининг етарли аниқлигини таъминланмаган ҳолларда, доимий коэффициентларни ростлаши масаласи ечилади.

На сегодняшний день при прогнозировании потребления электроэнергии промышленными предприятиями используется более ста методов прогнозирования, в зависимости от характера

технологического процесса предприятий. Известно, что прогнозные показатели, определяемые этими методами, не всегда могут обеспечить высокую точность. Поэтому, используя метод наименьших квадратов, была разработана модель оценки потребления электроэнергии совместным предприятием "TR Truck & Bus Motors". С помощью показателей прогнозирования формируется баланс предприятия и определяются задачи на будущее. Точность показателя для прогнозирования потребления электроэнергии считается технически и экономически важным вопросом для промышленных предприятий. Главной нормой при разработке моделей прогнозирования всегда является максимальное повышение точности прогнозирования. Особое внимание уделяется выполнению этой нормы при прогнозировании потребления электроэнергии и определении показателей прогнозов. В статье описывается метод снижения ошибок прогнозирования в среднем на 6% на основе корректировки постоянных коэффициентов.

To date, in predicting the consumption of electricity by industrial enterprises, more than a hundred methods of forecasting are used, depending on the nature of the technological process of enterprises. It is known that the prediction indicators, determined by these methods, can not always provide high accuracy. Therefore, using the method of the smallest squares, a model for estimating the electricity consumption of the joint venture "TR Truck & Bus Motors" was developed. With the help of forecasting indicators, the balance of the enterprise is formed, and the tasks in the future are determined. The accuracy of the indicator for predicting electricity energy consumption is considered to be a technically and economically important issue for industrial enterprises. The main norm always in the development of forecasting models is the maximum increase in the accuracy of forecasting. Particular attention is paid to the implementation of this norm in the prediction of electrical energy mste and the determination of the indicators of forecasts. In the article, it was made possible to reduce the prediction error by an average of 6% on the basis of constant coefficients adjustment in the event of a prediction error.

Кириш. Ҳозирги кунда мамлакатимизда иқтисодиётнинг муҳим тармоғи бўлган энергетика соҳасини сифат жиҳатидан тубдан ривожлантириш ва замонавий талаблар асосида соҳанинг техник-технологик даражасини юксалтиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда [1]. Бу борада, жумладан саноат корхоналарида электр энергиясининг ишлатилиш самарадорлигини ошириш, энергия тежамкор иш режимларини ишлаб чиқиш ва тадбиқ этиш бўйича сезиларли натижаларга эришилмоқда [15,20]. Шу билан бирга, истеъмол қилинаётган энергия ресурсларини башорат қилиш, энергия истеъмолини

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

камайтириш усуллари ҳамда электр энергия истеъмоли параметрларининг башоратлаш усули ва алгоритмларини такомиллаштиришга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда [9,11].

Асосий қисм. Бугунги бозор иқтисодиёти шароитида электр энергия истеъмолини башоратлаш масаласи ҳар қачонгидан муҳим вазифа бўлиб ҳисобланади. Маълумки электр энергия истеъмолини турли тадқиқот обьектигининг хусусиятидан келиб чиқиб қисқа, ўрта ва узок муддатли башоратлаш муддатларига бўлинади [2,4,5]. Башорат кўрсаткичини юқори аниқликда ҳисоблаш бир қатор факторларга боғлиқ бўлиб, башорат кўрсаткичига юқори таъсир этувчи факторни аниқлаш зарур бўлган аниқликни таъминлайди [3,6,7].

Башоратлаш кўрсаткичининг математик усуллар ёрдамида хатоликни аниқлаш ва уни камайтириш масаласини кўриб чиқиш, амалда қўлланилиб келинаётган эксперт баҳолаш усулидан тубдан фарқ қиласди. Истеъмолда бўлган усул умумий ҳолда мутахассислар малакасига таяниб, математик усуллар ёрдамида бу масалани кўрилиши илмий – асосланган кўрсаткичларни аниқлаш имконини беради [7,11,16].

Маълумки саноат корхоналарида электр энергия солиштирма сарфини аниқлашда дастлабки маълумотлар сифатида сарф бўлган электр энергиянинг умумий миқдори ва шу электр энергияга мос равишда ишлаб чиқарилган маҳсулот ҳажми қабул қилинган. Айнан шу дастлабки маълумотлар асосида электр энергиянинг солиштирма сарфи қўйидаги ифода ёрдамида аниқланади [4,17]:

$$d_{it} = \frac{W_{it}}{\Pi_{it}}, \quad i = \overline{1, N}, \quad t = \overline{1, M}$$

бу ерда, d_{it} – маҳсулот бирлигига тўғри келадиган солиштирма электр энергия сарфи,

W_{it} – маҳсулот ишлаб чиқариш учун сарфланган электр энергия,

Π_{it} – ишлаб чиқарилган маҳсулот сони,

N – тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришда иштирок этувчи агрегатлар сони,

M – тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришда сменалар сони,

i – ишлаб чиқаришбўлими,

t -ишлаб чиқариш даври,

W_{it} i -чи агрегатда, Π_{it} га teng бўлган тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш учун қаралаётган t - даврда сарф бўлган электр энергия сарфи.

Махсулот бирлигига түғри келадиган солиширма электр энергия сарфи билан ишлаб чиқарилган тайёр махсулот орасыда эмперик боғланишлар мавжуд бўлиб, маълумки бу боғланиш экспоненциал боғланиш кўринишида бўлади (1).

$$d_{it} = e^{(a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it})} \quad (1)$$

бу ерда, a_{i0} , a_{i1} - хар бир ишлаб чиқариш (i -чи) агрегати учун аниқланадиган коэффициентлар.

(1) ифодаси a_{i0} , a_{i1} – коэффициентларни аниқлашда коэффициентларнинг аниқлашнинг классик усули бўлган энг кичик квадратлар усулидан фойдаланилади. Бунинг учун (1) ифодани икки томони натурал логарифм бўйича логарифмланади [8,10,11].

$$\ln d_{it} = \ln e^{a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it}} \quad (2)$$

бу ерда, $Y_{it} = \ln d_{it}$ деб белгиласак,

$$Y_{it} = a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it} \quad (3)$$

кўринишидаги чизиқли тенглама хосил қилинади.

(3) тенгламани ечишда a_{i0} ва a_{i1} параметрларни шундай танлаш керакки бунда берилган маълумотлар бўйича ХОҮ текислигига ясалган (Π_{i1} , Y_{i1}), (Π_{i2} , Y_{i2}), (Π_{im} , Y_{im}) нуқталар имкон қадар (2) түғри чизик яқинида ётиши таъминланади. Яъни, Y_{it} - y_{it} ($t=1,m$) айирма қабул қилинади [12-16].

бу ерда, Y_{it} – (2) тенглама бўйича ҳисобланган ва кузатилаётган ордината a_{i0} ва a_{i1} параметрларни четланишларнинг квадратлари, йигиндиси энг кичик квадратлар усулига мувофиқ минимал бўладиган қилиб танланади [17, 20].

Хар бир четланиш изланаётган параметрларга боғлиқ бўлгани учун четланишларнинг квадратлари йигиндиси ҳам бу параметрларнинг F функцияси бўлади [4,5,19].

$$F(a_{i0}, a_{i1}) = \sum_{t=1}^m (Y_{it} - y_{it})^2 \quad \text{ёки}$$

$$F(a_{i0}, a_{i1}) = \sum_{t=1}^m (a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it} - y_{it})^2 \quad (4)$$

(4) ни минимумини излаш учун тегишли хусусий хосилалар нолга тенгланади.

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_{i0}} = 2 \cdot \sum_{t=1}^m (a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it} - y_{it}) = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial a_{i1}} = 2 \cdot \sum_{t=1}^m (a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it} - y_{it}) \Pi_{it} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

(5) да элементар алмаштиришлар бажариб, a_{i0} ва a_{i1} га нисбатан иккита чизиқли тенгламалар системаси ҳосил қилинади.

Топилган a_{i0} ва a_{i1} коэффициентлардан фойдаланиб, саноат корхонасининг барча бўлимларида (цех агрегати ва бошқалар) тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш учун сарфланган электр энергия миқдори аниқланади [17, 18]:

$$W_{it}^P = \Pi_{it} \cdot e^{a_{i0} + a_{i1} \cdot \Pi_{it}} \quad (6)$$

Куйида саноат корхонаси бўйича электр энергия истеъмоли қийматини топиш ва умумий хатоликни минумумлаштириш масаласимасаласи кўриб чиқилади [16].

Бунинг учун қуйидаги критериал муносабат минумумлаштирилади:

$$Q_E = (1 - \alpha) E_0^2 + \alpha \cdot \sum (a_i - a_i^{nr})^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

бу ерда, E_0 – умумий хатолик,
 a_i - корректиловчи коэффициент;
 a_i^{nr} - корректиловчи коэффициентнинг номинал қиймати; $a_0^{nr}=0$,
 $a_1^{nr}=1$

α - ростловчи кўпайтувчи - $\alpha \in [0;1]$

$$E_0^2 = \sum_{i=0}^n \left(a_i \sum_{t=1}^m W_{it}^P - W_{0t}^\phi \right)^2 \quad (8)$$

W_{it}^P - i-чи ишлаб чиқариш бўлимининг t- чи даврда сарфланган электр энергия сарфи (6) ифодага асосан аниқланади.

$$S_1 = E_0^2 = (a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{t=1}^m \left(\sum_{i=0}^n a_{it} \cdot W_{it}^P - W_{0t}^\phi \right)^2 \quad (9)$$

Элементар алмаштиришлар бажарилиб, a_i -ларга нисбатан қуйидаги тенгламалар системаси ҳосил қилинади [18, 20]:

Ростловчи кўпайтувчиларни ҳосил қилинган система коэффициентларига кўпайтириб янги $(n+1)$ – та ноъмалумли $(n+1)$ та

чизикли тенгламалар системаси хосил қилинади. Мазкур тенгламалар системасини Гаусс ёки чизикли алгебра усуллари ёрдамида ечиш мүмкін [16, 17].

Агар системада номаълумлар сони кичик бўлса системани ечиш осон. Умумий холда бу системани ечиш учун чизикли алгебра ифодасидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Юқоридаги белгилашларга асосан (5) системани матрицавий куринишда қуйидагича ёзиш мүмкін:

$$A = X^T \cdot X, \quad B = X^T \cdot W_{ot}^\phi$$

$$Az = B \quad (10)$$

$$z = A^{-1} \cdot B \quad (11)$$

Z- (11) ни ечими бўлади.

Агар ростловчи кўпайтувчи эътиборга олинса,

$$A_1(i,i) = (1-\alpha)A + \alpha \quad (12)$$

$$B_1 = (1-\alpha)B + \alpha \quad (13)$$

Аниқланган a_i лардан фойдаланиб корхонанинг ихтиёрий даврдаги умумий сарфланган электр энергияси юкламасини қуйидаги ифода ёрдамида топиш мүмкін [5, 19].

$$W_{0T}^{nP} = \sum_{t=0}^n a_i W_{iT}^{nP} \quad (14)$$

Электр энергия сарфининг нисбий хатолиги Е ни қуйидаги муносабатдан аниқланади.

$$E = \frac{|W_0^\phi - W_0^{PP}|}{W_0^{PP}} \cdot 100\% \quad (15)$$

Агар $E \leq E_0$ шарти бажарилса, электр энергия сарфини башоратлашда ҳақиқий ва башорат кўрсаткичлар орасидаги муносабат рухсат этилган кийматда деб баҳоланади ва бу моделларни саноат корхонасининг электр энергия истеъмолини башоратлаш учун ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлиб ҳисобланади [14, 16].

Қуйида юқорида келтирилган масаланинг алгоритми келтирилган.

1) Кичик квадратлар усули ёрдамида

$$y_{it} = a_{i0} + a_{i1} P_{it} \quad i = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, M} \quad (16)$$

(16) система ечиладива a_{i0} ва a_{i1} коэффициентлар топилади.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

бу ерда, i – ишлаб чиқариш корхонасининг бўлимларидан бири бўлиб, $i = \overline{1, N}$:

2) Доимий қилувчи коэффициентларнинг номинал қийматлари аниқлаш.

$$a_0^n = 0, \quad a_i^n = 1 \quad i = \overline{1, N}, \quad (17)$$

3) Ростловчи α коэффициентнинг бошланғич қиймати қуйидаги ($\alpha=0$) $\alpha \in [0, 1]$ оралиқда бўлиб,

4) Гаусс методи ёрдамида чизиқли тенгламалар системасини ечиш [5-7]:

$$(1 - \alpha) \cdot \sum_{j=0}^N C_{ij} \cdot a_j + \alpha \cdot a_i = (1 - \alpha)d_i + \alpha \cdot a_i^n, \quad i = \overline{0, N} \quad (18)$$

(17) система ечимлари аі лар i –чи ишлаб чиқариш бўлимига мос келувчи коэффициент.

5) (19) ифодадан фойдаланиб умумий хатоликни қуйидаги формула ёрдамида аниқлаш.

$$E_0^2 = \sum_{t=1}^M \left(W_{0t}^{\Phi} - \sum_{i=0}^n a_i \cdot W_{it}^P \right)^2 \quad (19)$$

6) E_0 ни қиймати мумкин бўлган E нинг қиймати билан солиширилади. Агар шарт бажарилмаса α – ростловчи қўпайтүвчини қиймати ўзгаририлади.

7) Шарт бажарилса (критерий бажарилса) хисоблаш алгоритми тугайди.

Юқорида берилган усул ёрдамида «UZ TRUCK AND BUS MOTORS» МЧЖда электр энергия сарфининг баҳоратлаш хатолигини камайтириш масаласи кўриб чиқилади. Дастребни маълумот сифатида «UZ TRUCK AND BUS MOTORS» МЧЖнинг 2018, 2019, 2020 йиллар давомида истеъмол қилинган электр энергия сарфи ва унга мос равиша ишлаб чиқарилган махсулот ҳажми олинган.

Matlab дастурий муҳити ёрдамида олинган математик ифодалардан фойдаланиб, «UZ TRUCK AND BUS MOTORS» МЧЖда электр энергия истеъмолини 2020-йил январь ойиистеъмолининг баҳорат қиймати аниқланади:

$$W_{0T}^{nP} = \sum_{i=0}^n a_i \cdot W_{iT}^{nP}$$

бу ерда, a_i - ҳар бир ишлаб чиқариш бўлими учун аниқланадиган коэффициентлар бўлиб у (5) тенгламалар системаси орқали аниқланади;

W_{iT}^{nP} - ҳар бир бўлимдаги махсулот ишлаб чиқариш учун сарфланган электр энергия .

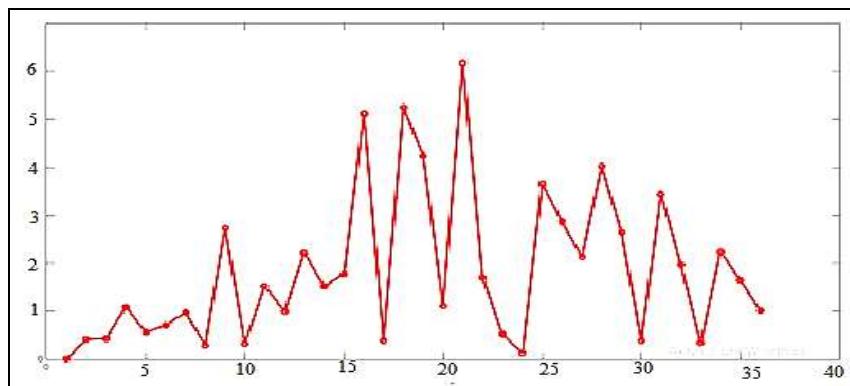
Аниқланган башорат қийматига асосан, умумий хатолик аниқланади:

$$\begin{aligned} W_{2020\text{янв}}^P &= a_0 + a_1 W_1 + a_2 W_2 + a_3 W_3 + a_4 W_4 = \\ &702,6 + 1,948 \cdot 74529,8 + 2,8269 \cdot 452135,5 - 1,2785 \cdot \\ &\cdot 34773,69 - 1,4096 \cdot 342832 = 917135,3 \text{ кВт} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

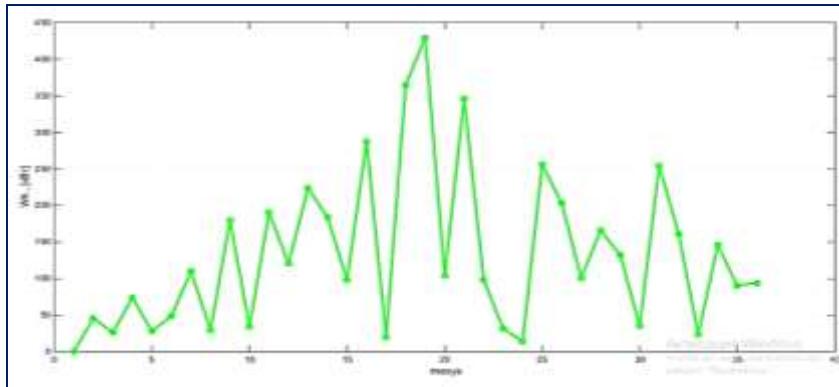
$$E = \frac{\left| W_{2020\text{янв}}^{\Phi} - W_{2020\text{янв}}^P \right|}{W_{2020\text{янв}}^P} \cdot 100\% = \frac{|904270,9 - 917135,3|}{917135,3} \cdot 100\% = 1,4\%$$

Худди шу тарзда қолган барча даврлар йиллар учун хатолик қийматлари юқоридаги ифодалар ёрдамида аниқланади.

Корхона томонидан тақдим этилган маълумотлар асосида умумий хатоликнинг нисбий ва абсолют қийматлари бўйича графиклари шакллантирилган бўлиб, (1-2-расм) графиклар таҳлили шуни кўрсатадики, башоратлаш хатолигининг максимал нисбий қиймати 6% ни ташкил этади. Бу эса қутиласетган масалани ечишда дастлабки маълумотлар ҳажми ва микдорининг етарли олингандиги ҳамда бу маълумотларда кескин ўзгарувчан характердаги қийматларнинг мавжуд эмаслиги билан характерланади.



1-расм. Электр энергияси истеъмолини башоратлаш хатолигини камайтиришнинг математик модели асосида олинган натижаларнинг нисбий хатолик графиги



2-расм. Электр энергияси истеъмолини башоратлаш хатолигини камайтиришнинг математик модели асосида олинган натижаларнинг абсолют хатолик графиги

Қуйидаги 2-расмда абсолют хатолик графиги келтирилган бўлиб, расмдан кўришимиз мумкинки ҳақиқий электр энергия истеъмоли ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги фарқ максимал 445 кВт·соатгача ўзгарган.

Хуноса. Юқоридагилардан келиб чиқиб айтиш мумкинки, электр энергияси истеъмоли параметрларини башоратлаш усуллари ёрдамида ишлаб чиқилган башоратлаш моделларининг доимий коэффициентлари доим ҳам етарли аниқликни бера олмайди. Натижада, башоратлаш модели хатолигининг рухсат этилган қиймати таъминланмаган ҳолларда, башоратлаш моделининг доимий коэффициентларини ўзgartириш орқали башоратлаш хатолигини камайтириш имкони яратилди.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. - Т.: Fan vatexnologiya, 2021. - 923 с.
2. Кирпичникова, И.М. Исследование методов прогнозирования электропотребления сбытового предприятия / И.М. Кирпичникова К. Л. Соломахо //Электротехнические системы и комплексы. – 2014. – № 3. – С. 39–43.
3. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. – Л.:Энергия. 1966. - 319 с.
4. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Прогнозирование общего и удельного расхода электроэнергии промышленных предприятий /Сб. трудов республиканской научно-технической конференции «Қайта тикланувчи энергетиканинг замонавий муаммолари». -Қарши, -2018. – С.396-399.

5. Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини башорат қилиш усуллари таҳлили // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Тошкент, 2020. - №3-4. 214-218 б.
6. Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика, учебноепособие. Москва, 2002. - 340 с.
7. Хошимов Ф.А., Раҳмонов И.У., Ниёзов Н.Н., Набиев И.Н. Анализ взаимодействия энергетических и технологических факторов оборудования при исследовании энергоемкости// Электронный научный журнал «Отраслевые аспекты технических наук». Москва, 2016. - №3(51) май-июнь. – С. 32-37.
8. I.U.Rakhmonov, N. N.Niyozov. Modeling power consumption modes in industrial facility // “Bridge to science: research works”. San Francisco, California, USA. April 15, 2019. – 37-40 pp.
9. Раҳмонов И.У. Қора металлургия корхоналарида электр энргия истеъмоли самарадорлигини ошириш: дисс. техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), -2018. – 108 бет.
10. Вальтух К. К. Теория стоимости: статистическая верификация, информационное обобщение, актуальные выводы // Вестник РАН. – 2005. – Т. 75, № 9. – С. 793–817.
11. Нажимова А.М. Қишлоқ хўжалиги корхоналарининг электр энергия истеъмолини башорат қилиш: дисс. техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), -2020. – 120 бет.
12. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Najimova A.M. Improving the reliability of electrical equipment in rural areas // Science and Education in Karakalpakstan. -2020. -№1. -pp. 51-57 (05.00.00 №27).
13. Соловьева И.А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И. А. Соловьева, А. П. Дзюба // Научный диалог. – 2013. – № 7 (19). – С. 97–113.
14. Раҳмонов И.У., Жалилова Д.А., Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини меъёrlаш – энергия самарадорлигини ошириш йўли /“Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-техникавий анжумани. Тошкент шаҳри 21-22 декабрь 2020 йил. 77-79 б.
15. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. -Т.:Молия, 2006. 388 с.
16. Раҳмонов И.У., Ниёзов Н.Н., Нажимова А.М., Усмоналиев С.У. Программа расчета степени снижения ошибки прогнозных значений электропотребления машиностроительного предприятия Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №10902 29.03.2021.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

17. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н., Тешаев Ф.С. Программа расчета удельного расхода электроэнергии по видам выпускаемой продукции предприятий с непрерывным характером производства. / Агентство по интеллектуальной собственности РУз.
18. Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 522 с.
19. Воронов И.В., Политов Е.А., Ефременко В.М. Обзор типов искусственных нейронных сетей и методов их обучения //Вестник КузГТУ. – 2007. - №3. – С. 38-42.
20. Калинина В.Н., Панкин В.Ф. Математическая статистика. Учебное пособие. - Москва, -2002. – С.340.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.3.011

**ОСОБЕННОСТИ АВТОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА
ОСНОВНОЙ ГАРМОНИКЕ В 3-Х ФАЗНЫХ
ЭЛЕКТРОФЕРРОМАГНИТНЫХ АП – ЦЕПЯХ С ОБЩИМИ И
РАЗДЕЛЬНЫМИ МАГНИТОПРЮВОДАМИ**

Н.А. Халилов

Маълумки кўп йиллар давомида тадқиқотчилар томонидан бир фазали, кўп контурли ва қисман уч фазали ночилик ферромагнит элементли электр занжирларда юзага келадиган мажбурий, субгармоник ва феррорезонансга таалуки тебранишларини ўрганиши натижасида хар-хил электр курилмалари кашф этилган, шуниндек электр узатиш линияларида содир бўладиган аномал резонанс ходисаларини ва уларни бартараф этиши билан боғлик масалалар хам қисман ўрганилган. Лекин кўп фазали, жумладан, уч фазали ночилик ферромагнит элементли электр занжирларида хосил бўладиган хар хил жараёнларни ўрганиши актуал масалалигича қолмоқда.

Ушибу мақолада боғланмаган ва боғланмаган ночилик ферромагнит элементли кўп фазали, жумладан, уч фазали N-қўринишдаги ВАХ эга феррорезонанс АП-занжарларида юзага келадиган автопараметрик тебраниши хусусиятларини тадқиқ этиши услуги ёритилган. Тадқиқод натижасида фаза кучланиши ва автопараметрик тебраниши фазасининг боғликлигини аниклаб берувчи асосий формуулалар келтирилган.

Многими учеными исследовались колебательные явления в однофазных, многоконтурных и трехфазных электроферромагнитных цепях рассматривалась вынужденные и субгармонические колебания, вопросы феррорезонанса, а также закономерности возбуждения и гашения (в линиях электропередачи) резонансных колебательных режимов. Результаты этих исследований позволили, с одной стороны избавиться от аномальных режимов в энергетических системах, а с другой, создать различные электротехнические устройства. Необходимо отметить, что есть еще много неизученных теоретических и прикладных задач, касающиеся колебательных процессов в многофазных, а также трехфазных электроферромагнитных автопараметрических (АП)-цепях, которые требуют исследований. Данная статья посвящена методике исследования особенностей возбуждения и поддержания автопараметрических колебаний на частоте источника питания в нелинейных многофазных, в частности, трехфазных феррорезонансных АП-цепях с отдельными и общими магнитопроводами, имеющими N-образную вольт-амперную ха-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

рактеристику ВАХ. Получены соответствующие зависимости для анализа основных характеристик, т.е. фазного напряжения и изменений фазы колебаний от внешнего воздействия.

It has been known for many years by researchers that single-phase, multi-contour and partially three-phase nonlinear ferromagnetic elements occur in electrical circuits binding, subharmonic and the study of vibrations related to ferroresonance, various electrical devices have been discovered, as well as anomalous resonance phenomena occurring in power transmission lines and issues related to their elimination have been partially studied. However, the study of various processes that occur in electrical circuits of multi-phase, including three-phase nonlinear ferromagnetic elements, remains a topical issue. This paper describes a method for studying the autoparametric vibration characteristics that occur in ferroresonance AP-circuits with a multi-phase, including a three-phase N-type VAX, of a connected and unbound nonlinear ferromagnetic element. As a result of the study, the basic formulas for determining the relationship between phase voltage and autoparametric oscillation phase are given.

Как известно, возбуждение и поддержание автоколебательных процессов в многофазных электроферромагнитных АП-цепях имеют свои специфические особенности.

В многофазных электрических цепях, содержащих ферромагнитные элементы и линейные емкости, при определенных условиях и напряжениях происходит преобразование энергии в спектре частот, который зависит от начальных условий, т.е. от характеристик линейных и нелинейных элементов, а также внешних воздействий. Потери, образуемые в цепи токами, частоты которых отличаются от частоты вынуждающей силы, компенсируются за счет нелинейных элементов, преобразующих энергию источника в энергию частоты-преобразователя. Любая многофазная нелинейная энергетическая система будет работать устойчиво только тогда, когда в системе имеется определенное энергетическое равновесие. Из основных специфических особенностей многофазных нелинейных цепей наиболее существенной является подмагничивающее действие одной фазы на другую. В отличие от линейных многофазных цепей, многофазные нелинейные системы не всегда можно рассматривать (даже при наличии полной симметрии) как наложение трех однофазных цепей. В этих цепях проявляются все характерные особенности электроферромагнитных цепей со многими степенями свободы. Характерной чертой автоколебательных процессов в многофазных цепях является наличие «порога» возбуждения, т.е. начала интенсивного нарастания амплитуд напряжений и токов на реактивных элементах до определенных величин. При этом амплитуды строго соответствуют накопленной в системе электромагнитной энергии.

После возбуждения автопараметрических колебаний в системе происходит саморегулирование накопленной энергии в соответствии с параметрами энергоемких элементов.

Одна из особенностей многофазных электроферромагнитных АП-цепей синхронность возбуждения автопараметрических колебаний во всех фазах. При начальном увеличении напряжения до определенного значения система ведет себя как линейная, т.е. все фазные величины изменяются пропорционально, и начинается пофазное накопление энергии, что приводит к увеличению амплитуды колебания. Когда энергетический баланс системы доходит до критического значения, в системе происходит рост амплитуд одновременно в каждой фазе, т.е. система переходит в новое установившееся состояние. Амплитуда устанавливается в каждой фазе одновременно.

В многофазных (рис.1), частично в трёхфазных электроферромагнитных АП-цепях с магнитной связью и без магнитной связи между фазами за счет неравномерности магнитных путей каждой фазы, наблюдается несимметрия намагничивающих токов. При этом, трем ЭДС, наводимых в трех фазах, соответствует три магнитных потока, равные по своим амплитудам и сдвинутые между собой на $2\pi/m$.

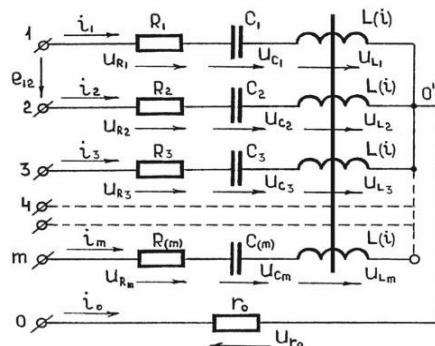


Рис.1. АП - цепь с магнитной связью между фазами с нулевым проводом

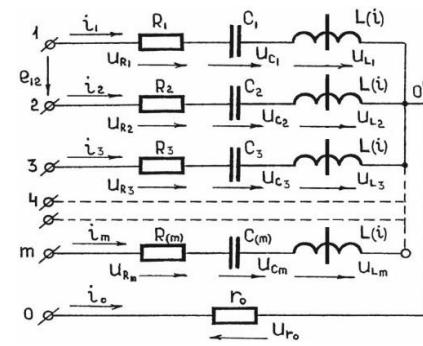


Рис.2. АП - цепь без магнитной связи между фазами без нулевого провода

Для многофазных цепей электроферромагнитных АП-цепей справедлива зависимость:

$$Y_a + Y_b + Y_c = 0. \quad (1)$$

Для токов прямой и обратной последовательностей имеется цепь возврата магнитного потока через другие сердечники и, таким образом, пол-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ное сопротивление намагничивания очень велико. Особенности ферромагнитной связи выявляются при экспериментальном исследовании автопараметрических колебаний в трёхфазных электроферромагнитных АП-цепях. При плавном увеличении приложенного напряжения во всех трех фазах наблюдаются такие режимы: по достижению действующих значений напряжения источника определенной величины в системе одновременно возбуждаются автопараметрические колебания (АПК) на основной гармонике; наибольшая амплитуда колебаний устанавливается через 8–10 периодов приложенного напряжения. Намагничающие токи каждой фазы вследствие насыщения железа будут состоять из синусоид основной и высших гармоник.

В зоне существования АПК основной частоты симметричной трехфазной цепи возбуждение комбинационных колебаний не наблюдается, если активные сопротивления обмоток достаточно велики.

Комбинационные колебания возбуждается только при несимметрии приложенного напряжения или несимметрии параметров цепи.

Необходимо отметить, что при определённых значениях параметров цепи и приложенного напряжения возбуждается субгармонические колебания третьего и второго порядков.

Дальнейшее увеличение входного напряжения к существенному изменению фазных напряжений в каждой фазе не приводит. При уменьшении приложенного напряжения возникшие АПК удерживаются в достаточно большом диапазоне регулирования входного напряжения, образуя «зону затягивания», а затем, достигнув максимальной амплитуды, срываются.

Как показывает эксперимент, ширина зоны существования АПК во многом зависит от величины емкостей C_1 , C_2 и C_3 включённых в рассечку. Поэтому, регулируя значением емкостей, можно сужать или расширять зону существования АПК на основной гармонике. Отметим, что в трехфазных системах с магнитной связью между фазами (трехфазный ферроэлемент (Ф.Э) на одном сердечнике) время переходного процесса намного меньше, чем для системы без ферромагнитной связи (рис.3., а, б).

Исследуемые многофазные, в частности, трехфазные электроферромагнитные АП-цепи, определяются главным образом характером колебательного режима, структурой схемы и соотношением линейных, нелинейных и диссипативных элементов; симметричностью или несимметричностью приложенного напряжения. Поэтому, в соответствии с выше приведенными отличительными особенностями всех трехфазных электроферромагнитных АП-цепей можно разделить на четыре класса:

1. трехфазные электроферромагнитные АП-цепи с нулевым проводом без магнитных связей между фазами.

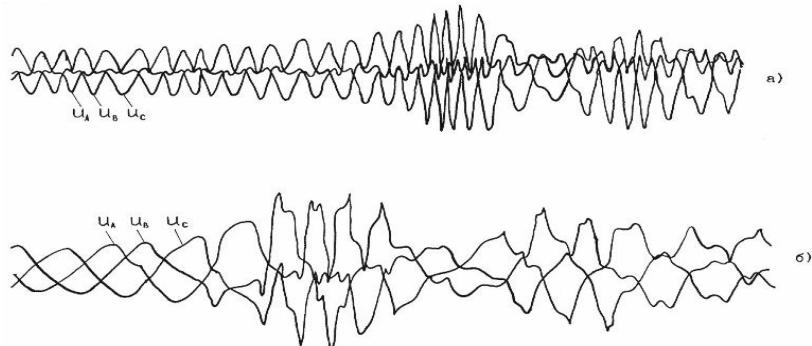


Рис. 3. Осциллограммы фазных напряжений трехфазной цепи с отдельными (а) и общими (б) магнитопроводами в режиме возбуждения АПК

2. Электроферромагнитные АП-цепи с нулевым проводом с магнитной связью между фазами.
3. Электроферромагнитные АП-цепи без нулевого провода с магнитной связью между фазами.
4. Электроферромагнитные АП-цепи без нулевого провода и без магнитной связи между фазами.

Под трехфазной симметричной нелинейной цепью с нулевым проводом без магнитной связи между фазами, понимаем трехфазную электрическую цепь, состоящую из трех нелинейных элементов, трех линейно-энергетических элементов и одного диссипативного элемента. Наличие нулевого провода в таких цепях создает условия для прохождения тока нулевой последовательности. Если нелинейные элементы соединены в звезду, имеют нулевой провод и подключены в сеть через конденсаторы C_1 , C_2 и C_3 , то сопротивления и индуктивности непостоянны в течение периода. Вследствие насыщения сердечников отношение мгновенных значений магнитного потока и намагничивающего тока меняется при синусоидальном междуфазным напряжением в каждой из фаз при этом появляются высшие гармоники в токах. Если трехфазная нелинейная система, соединенная звездой, имеет нулевой провод, то даже при симметрии токов во всех трех фазах в нулевом проводе ток не будет равен нулю, так как он состоит из некомпенсированных токов гармоник кратных трем, иногда намного превосходящих токи в отдельных фазах:

$$I_0 = 3 [I_3 + I_9 + I_{15} + \dots] \quad (2)$$

В некоторых трехфазных цепях с нулевым проводом могут происходить своеобразные физические процессы, связанные с явлением феррорезонанса, а именно: скачкообразные изменения токов (при симметрии фаз) или напряжений на фазах (при нарушении симметрии).

Трехфазную симметричную нелинейную цепь без нулевого провода следует рассматривать как цепь, в которой отсутствуют составляющие нулевой последовательности как в потоках, так и в напряжениях. Поэтому при соединении обмоток Ф.Э. в звезду и синусоидальном линейном напряжении фазные напряжения содержат гармоники, кратные трем, и не будут равны линейным, деленным на $\sqrt{3}$. Намагничивающий ток при этом не будет содержать гармоник кратных трем, а, следовательно, их будут иметь магнитные потоки во всех фазах. Так как третьи гармоники магнитных потоков во всех трех фазах совпадают, то в каждой фазе будет наводиться одна и та же ЭДС тройной частоты. Линейные напряжения равны разности фазных напряжений или ЭДС. В них присутствие напряжений третьих гармоник не наблюдается.

В трехфазных асимметричных цепях без нулевого провода имеет место то же самое, три фазы имеют общую магнитную цепь. Третьи гармоники магнитных потоков совпадают по фазе и наводят в трех обмотках ЭДС этой гармоники. Следует отметить, что третьи гармоники магнитных потоков в трехфазных нелинейных цепях со связанный магнитной цепью не достигают такой величины, как в случае трех отдельных магнитопроводов, т.к. третьи гармоники не могут замкнуться через сердечники ФЭ и замыкаются лишь через воздух. При соединении вторичных обмоток ФЭ в треугольник третьи гармоники в магнитных потоках практически отсутствуют.

Таким образом, каждый класс трехфазных цепей имеет свои специфические особенности и по резонансным свойствам классифицировать их невозможно. Если трехфазные электроферромагнитных АП-цепи рассматриваются в симметричном режиме, можно классифицировать по вольтамперной характеристике цепи. т.е:

- а) последовательные трехфазные цепи с феррорезонансом напряжений которые имеют “N”-образную ВАХ;
- б) параллельные цепи с феррорезонансом токов которые имеют “S”-образную ВАХ;
- в) двухконтурные цепи которые имеют клюшкообразные ВАХ.

Имеются неизученные трехфазные электроферромагнитных АП – цепи имеющие “NS”- и “SN”-образные ВАХ.

Уравнение движения амплитудно-фазовых соотношений при возбуждении АПК на основной частоте для «m»-фазной симметричной цепи с нулевым проводом.

На (рис. 2) приведена «m»-фазная симметричная электроферромагнитная АП-цепь. Уравнение равновесия этой цепи можно представить в виде системы:

$$R_1 i_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + \frac{d\varphi_1}{1t} + u_n = u_1 = u_m \sin \omega t \quad (3)$$

$$R_2 i_2 + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt + \frac{d\varphi_2}{1t} + u_n = u_2 = u_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{m})$$

$$R_m i_m + \frac{1}{C_m} \int i_{(m)} dt + \frac{d\varphi_{(m)}}{1t} + u_n = u_{(m)} = u_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{m})$$

где $R_m = R_1, R_2, R_3 \dots$ – резисторы,

$C_m = C_1, C_2, C_3 \dots$ – линейные емкости,

$\varphi_m(i) = \varphi_m(i_1), \varphi_m(i_2), \varphi_m(i_3) \dots$ – потокосцепление.

[Здесь $U_n = R_0 i_0 = R_0 (i_1; i_2 \dots i_{(m)})$ – мгновенное значение напряжения между нейтралями 0 и 0¹].

Пусть в первом приближении решение для потоко-сцепления в «m»-ой ветви будет принято в виде $i_m = a\varphi + b\varphi_1^3$, т.е. в предположении, что высшие гармоники в напряжении ферромагнитного элемента отсутствуют. Аппроксимируя $i_m = a\varphi + b\varphi_1^3$, можем вместо (3) записать:

$$R_1(a\varphi_1 + b\varphi_1^3) + \frac{1}{C_1} \int (a\varphi_1 + b\varphi_1^3) dt + \frac{d\varphi_1}{dt} = u_1 - u_n$$

$$R_2(a\varphi_2 + b\varphi_2^3) + \frac{1}{C_2} \int (a\varphi_2 + b\varphi_2^3) dt + \frac{d\varphi_2}{dt} = u_2 - u_n \quad (4)$$

$$R_m(a\varphi_{(m)} + b\varphi_{(m)}^3) + \frac{1}{C_m} \int (a\varphi_{(m)} + b\varphi_{(m)}^3) dt + \frac{d\varphi_{(m)}}{dt} = u_{(m)} - u_n$$

Теперь с учетом приближенного решения имеем:

$$R_1 \left[a\varphi_{1m} \sin(\omega t + \beta_1) + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^3 \sin(\omega t + \beta_1) - \frac{b}{4\omega t} \varphi_{1m}^3 \sin(3\omega t + 3\beta_1) \right] +$$

$$+ \frac{1}{C_1} \int [a\varphi_{1m} \sin(\omega t + \beta_1) + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^3 \sin(\omega t + \beta_1) - \frac{b}{4} \varphi_{1m}^3 \sin(3\omega t + 3\beta_1)] dt + \omega \varphi_{1m} \cos(\omega t + \beta_1) = U_m \sin \omega t - U_{nm} \sin(\omega t + \gamma_0). \quad (5)$$

$$R_2 \left[a\varphi_{2m} \sin(\omega t + \beta_2) + \frac{3b}{4} \varphi_{2m}^3 \sin(\omega t + \beta_2) - \frac{b}{4} \varphi_{2m}^3 \sin(3\omega t + 3\beta_2) \right] +$$

$$+ \frac{1}{C_2} \int [a\varphi_{2m} \sin(\omega t + \beta_2) + \frac{3b}{4} \varphi_{2m}^3 \sin(\omega t + \beta_2) - \frac{b}{4} \varphi_{2m}^3 \sin(3\omega t + 3\beta_2)] dt + \omega \varphi_{2m} \cos(\omega t + \beta_2) = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{m} \right) - U_{nm} \sin(\omega t + \gamma_0). \quad (6)$$

и т.д.

Не рассматривая спектральный состав гармоник напряжения смещения нейтралии $U_n(\omega t)$, исключим этот член из (5) и (6) путем вычитания этих уравнений и переходим на линейное напряжение источника, т.е.

$$R_1 \varphi_{1m} \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2 \right) \sin(\omega t + \beta_1) + \left(\omega t - \frac{a}{\omega C_1} - \frac{3b}{4\omega C_1} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \cos(\omega t + \beta_1) - R_2 \varphi_{2m} \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{2m}^2 \right) \sin(\omega t + \beta_2) - \left(\omega t - \frac{a}{\omega C_2} - \frac{3b}{4\omega C_2} \varphi_{2m}^2 \right) \varphi_{2m} \cos(\omega t + \beta_2) = U_n 2 \sin \frac{\pi}{m} \sin \left[\omega t + \frac{(m-2)\pi}{2m} \right] = U_{12m} \sin \left[\omega t + \frac{(m-2)\pi}{2m} \right] \quad (7)$$

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Уравнение (7) содержит 4 неизвестных φ_{1m} , φ_{2m} и β_1 , β_2 всего же таких неизвестных в системе (3) будет 2, т.е. в каждой фазе неизвестны амплитуда φ_m и начальная фаза β_m потока в сердечнике ферромагнитного элемента. Уравнений же типа (7) мы можем ставить «м» штук, т.е. по числу фаз многофазной цепи.

Следовательно, для решения поставленной задачи в целом нужно будет ввести определенные амплитудно-фазовые ограничения в соответствии с конкретным условием регулирования параметров и режима работы цепи.

Так, например, пусть требуется определить ампли-туднофазовые соотношения для АПК на основной частоте в трехфазной несимметричной цепи с нулевым проводом $R_o = 0$ при питании ее от источника симметричной системы напряжений (рис.2). Согласно (4) имеем систему уравнений

$$\begin{aligned} R_1(a\varphi_1 + b\varphi_1^3) + \frac{1}{C_1} \int (a\varphi_1 + b\varphi_1^3) dt + \frac{d\varphi_1}{dt} + U_n &= U_m \sin \omega t \\ R_2(a\varphi_2 + b\varphi_2^3) + \frac{1}{C_2} \int (a\varphi_2 + b\varphi_2^3) dt + \frac{d\varphi_2}{dt} + U_n &= U_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ R_3(a\varphi_3 + b\varphi_3^3) + \frac{1}{C_3} \int (a\varphi_3 + b\varphi_3^3) dt + \frac{d\varphi_3}{dt} + U_n &= U_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (8)$$

Потоки в сердечниках Ф.Э.: $\varphi_1(\omega t)$, $\varphi_2(\omega t)$ и $\varphi_3(\omega t)$ будем искать в виде $\varphi_1 = \varphi_{1m} \sin(\omega t + \beta_1)$, $\varphi_2 = \varphi_{2m} \sin(\omega t + \beta_2)$ и $\varphi_3 = \varphi_{3m} \sin(\omega t + \beta_3)$. Теперь в соответствии с (7) можем составить три уравнения с пятью неизвестными φ_{1m} , φ_{2m} , φ_{3m} , β_1 , β_2 (или β_3):

$$\begin{aligned} R_1(a\varphi_{1m} + \frac{3b}{4}\varphi_{1m}^3) \sin(\omega t + \beta_1) + (\omega\varphi_{1m} - \frac{a}{\omega C_1}\varphi_{1m} - \frac{3b}{4\omega C_1}\varphi_{1m}^3) \cos(\omega t + \beta_1) - R_2(a\varphi_{2m} + \frac{3b}{4}\varphi_{2m}^3) \sin(\omega t + \beta_2) + (\omega\varphi_{2m} - \frac{a}{\omega C_2}\varphi_{2m} - \frac{3b}{4\omega C_2}\varphi_{2m}^3) \cos(\omega t + \beta_2) &= \sqrt{3}U \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} R_2(a\varphi_{2m} + \frac{3b}{4}\varphi_{2m}^3) \sin(\omega t + \beta_2) + (\omega\varphi_{2m} - \frac{a}{\omega C_2}\varphi_{2m} - \frac{3b}{4\omega C_2}\varphi_{2m}^3) \cos(\omega t + \beta_2) - R_3(a\varphi_{3m} + \frac{3b}{4}\varphi_{3m}^3) \sin(\omega t + \beta_3) + (\omega\varphi_{3m} - \frac{a}{\omega C_3}\varphi_{3m} - \frac{3b}{4\omega C_3}\varphi_{3m}^3) \cos(\omega t + \beta_3) &= \sqrt{3}U \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}); \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R_3(a\varphi_{3m} + \frac{3b}{4}\varphi_{3m}^3) \sin(\omega t + \beta_3) + (\omega\varphi_{3m} - \frac{a}{\omega C_3}\varphi_{3m} - \frac{3b}{4\omega C_3}\varphi_{3m}^3) \cos(\omega t + \beta_3) - R_1(a\varphi_{1m} + \frac{3b}{4}\varphi_{1m}^3) \sin(\omega t + \beta_1) - (\omega\varphi_{1m} - \frac{a}{\omega C_1}\varphi_{1m} - \frac{3b}{4\omega C_1}\varphi_{1m}^3) \cos(\omega t + \beta_1) &= \sqrt{3}U \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6}). \end{aligned} \quad (11)$$

При достаточно малых значения R_1 , R_2 и R_3 каждая фаза трехфазной цепи представляет собой ветвь с последовательным феррорезонансом (т.е. с феррорезонансом напряжений), следовательно имеет «N»-образную

вольтамперную характеристику (рис. 4). Положение рабочей точки на этой характеристике зависит от величины суммарного фазного напряжения $U_{\Phi 1}$ (или $U_{\Phi 2}$ и $U_{\Phi 3}$). Если $R_1 = R_2 = R_3$ и $C_1 = C_2 = C_3$ характер цепи в отдельных фазах может быть, индуктивным (участок ОА на рис. 4) или емкостным (участок ВД – там же). Теоретически возможны 4 основных варианта расположения рабочих точек на В А Х отдельных фаз в установленном режиме:

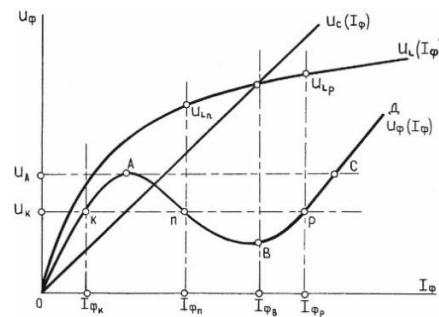


Рис. 4. Вольтамперная характеристика одной фазы трехфазной феррорезонансной цепи

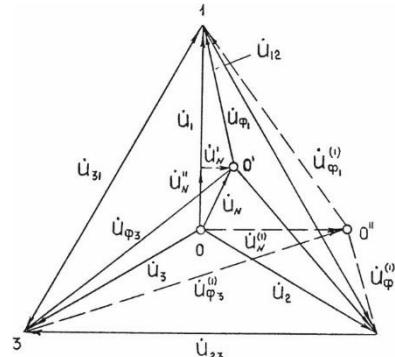


Рис.5. Топографическая диаграмма фазных и линейных напряжений трехфазной несимметричной феррорезонансной цепи (на основной гармонике)

1. Характер всех фаз – индуктивный (все рабочие точки на участке ОА);
2. Характер всех фаз – емкостный (все точки – на участке БД);
3. Характер двух фаз – индуктивный (участок ОА), а третий емкостный (участок БД);
4. Характер одной фазы – индуктивный, двух других – емкостный.

В первом и втором случаях смещение нейтрали O^1 (при $R_o=0$) будет происходить внутри треугольника 1–2–3 топографической диаграммы, представленной на рис. 5.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В третьем и четвертом случаях нейтраль 0^{11} окажется за пределами этого треугольника. И, как покажем ниже, это будет справедливо лишь при $R_o =$, и не будет возможно при $R_o \neq$, т.е. в случае обрыва нейтрального провода.

Заключение. 1. В трехфазных феррорезонансных АП-цепях, при возбуждении автопараметрических колебаний, частотное и магнитное взаимодействие определяется количеством линейных и нелинейных элементов, а также структурой схемы.

2. Появление возбуждения АПК какой-либо фазы зависит от параметров цепи; возникшие колебания в одной фазе оказывают соответствующее влияние на процессы затягивания и возникновения колебаний, а срыв АПК какой-либо фазы, приводит к срыву колебаний в других фазах.

3. При появлении АПК несимметрия приложенного напряжения усиливает возбуждение АПК, при этом происходит процесс симметрирования фазных напряжений за счет перераспределения энергии самой системы.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Т.: Fan vatexnologiya, 2021. -923 с.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. «Теория колебаний». -М.: Физматгиз, 1959.
3. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. Высшая школа. 1964.
4. Бессонов Л.А. Автоколебания в электрических цепях со сталь. - М.-Л. Госэнергоиздат, 1977., 343 с.
5. Демирчян К.С., Нейман Л.Л., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. 5-е издание, том 2, ООО «Питер Пресс», -2009. -С. 142–152.
6. Долгинов А.И. Резонанс в электрических цепях и системах. М.–Л., 1967 г., С. 324.
7. Ибадуллаев М. Субгармонические колебания в трехфазных электроферромонтных цепях без нулевого привода. // Вестник ТашГУ, 1993. № 1.
8. Каримов А.С. О применимости теории адиабатического инварианта энергии к феррорезонансным цепям автопараметрического типа. // Изв. АН УзССР, сер. Техн. наук, 1975, № 6.
9. Каримов А.С., Рахимов Г.Р. Автопараметрические преобразования числа фаз и частота переменного тока. – Ташкент: Фан. 1975. -177 с.
10. Кузнецов А.Г. Энергетические процессы в многофазных цепях при мощной несимметрии и высших гармоник. –Киев: Наукова думка, 1978, -С. 24–31.

11. Маннапов А.Н., Мусабеков П. Исследования трехфазной электроферромагнитной цепи с ферромагнитной связью в режиме возбуждения второй субгармоник. / В «Вопросы теории нелинейных цепей и процессов», Вып. 269, Т. ТашПИ, 1979, -С. 13–14.
12. Мигулин В.В. и Альперж Я.Л. Об одном случае автопараметрического резонанса, // ШТФ, т. 4, выпуск 5. 1936.
13. Halilov N.F., Bedritsky L.M. To a question on approximation of curves of magnetization of electro technical steels // NEWS OF HIGH SCHOOLS OF REPUBLIC UZBEKISTAN. Engineering in Life Sciences. 2002. № 4. -С. 33.
14. Рахимов Г.Р. Феррорезонанс. /Изд. АН УзССР. 1957.
15. Рахимов Г.Р. Низшие гармонические и комбинационные колебания в трехфазных нелинейных системах с ферромагнитными элементами. Киев, Институт математики АН УССР. 1961.
16. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы, ГТТИ, 1953.
17. Хоркевич А.А. Автоколебания, ГТТИ, 1953.
18. Шарипов Х.Ш. Автопараметрические колебания в однофазных двухконтурных и трехфазных электроферромагнитных цепях. Кандидатская диссертация 1969.
19. Капчинский И.М. Методы теории колебаний в радиотехнике. – Москва: Государственное энергетическое издательство. 1954.
20. Т. Хаяси. Нелинейные колебания в физических системах. Издательство “Мир”. Москва., 1968.
- 21 Долгинов А.И. Перенапряжения в электрических системах. –М.: Госэнергоиздат. 1962.

*Представлено Республиканским фондом
поддержки одарённой молодёжи им. Улугбека*

ВИХРЕВЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ ДЛЯ СУХОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Д.Н. Мухиддинов, А.А. Бадалов, И.Б. Хайдаров, Д.А. Бадалова

Мақолада чанг ушлагичлар ва қуруқ усулда газлар таркибидаги чангларни ушловчи чанг ушлагичларнинг қўлланилиши ҳақида, шунингдек қуруқ усулда газлар таркибидаги чангларни ушловчи уюрмали чанг ушлагичларнинг қўлланилиши ҳақида ва уларда ушланувчи чанг заррачаларини хоссалари, сифатлари ва шакллари, чангларни аэрозол кўринишидаги ҳолатлари ҳақида. Кўпгина саноат чанг зарралари турли шакл ва ўлчамларга эга ва зарралар ўлчамлари тушунчаси шаклларнинг турли-туманлигидан шартлидир. Чанг зарраларини унинг чўкии тезлигини белгилайдиган катталик билан тавсифлаш қабул қилинган ва бундай катталик седиментацион диаметр бўлиб хизмат қиласди. Ишлаб чиқарии технологияларда бир неча юзлаб газларни чанглардан тозалаши аппаратлари конструкциялари қўлланилади ва уларда чанг зарраларини оқимларда чўктириши жараёнларини юритувчи куч бўлиб оғирлик ва диффузия кучлари ҳисобланади. Мазкур инерцион чанг ушлагичларда чангларни ушлаш усуллари ва уюрмали чанг ушлагичларнинг циклонларга қараганда асосий фарқлари баён этилган. Чанг ушлаши аппаратига чанги газ оқимларини берилиши, яъни оқимларни сопполи ва куракчали берилиши баёни берилган. Иқтисодий томондан иккиласми газ оқими сифатида чанги газлардан фойдаланиши мақбулдир. Уюрмали чанг ушлаши аппаратларини айрим конструкциялари, шунингдек уларнинг ишлаши принципи ва циклонларга солишитирганда афзалликлари кўрилган. Уюрмали чанг ушлагичларда иккиласми газ сифтида тоза атмосфера ҳавоси, тазаланган газнинг бир қисми ва чанги газлар фойдаланиши мумкин. Сопполи ва куракчали уюрмали чанг ушлагичлар солишитирма тахлиси. Юкламани ва тозаланаётган ҳаводаги чанг миқдорининг ўзгаришини самарадорликка таъсири. Чанг ушлагич ҳарорати 700°C гача бўлган чанги газларни тозалаши учун қўлланилиши мумкин. Бошқа чанг ушлагиларга қараганда уюрмали чанг ушлаши аппаратининг ички деворларининг емирилиши кузатилмайди ва улар анча компактлидир. Тозаланадиган чанги газларнинг миқдори бир хил бўлганда аппаратларнинг диаметрлари ва умумий ҳажми турлича. Уюрмали чанг ушлаши қурилмларини қўллайдиган саноат соҳалари ва ушибу чанг ушлагичларни айрим техник кўрсаткичлари келтирилган.

В статье рассмотрены пылеуловители и их применение для очистки газов, в том числе применение вихревых пылеуловителей сухой очистки. Некоторые свойства и формы пылевидных частиц

улавливаемых в них говорит о том, что множество частиц промышленной пыли имеет различные формы и размеры, а понятие размера частицы, ввиду большого разнообразия форм, условно. Принято характеризовать размер частицы величиной, определяющей скорость ее осаждения, и такой величиной служит седиментационный диаметр. В технологиях промышленных производств используются несколько сот различных конструкций аппаратов очистки газов от пыли, и в них движущими силами процесса осаждения пылевых частиц в потоке являются силы тяжести и диффузии. Описаны способы улавливания пыли в инерционных пылеуловителях, а также основное отличие вихревых пылеуловителей от циклонов. Даны пояснения о подводах подачи запыленного газового потока в аппарат, т.е. пылеуловителя с соплом и лопаточными подводами. Описаны конструкции вихревых пылеуловителей, а также принцип их действия и преимущества по сравнению с циклонами. В качестве вторичного газа в вихревых пылеуловителях (ВПУ) может быть использован свежий атмосферный воздух, часть очищенного газа или запыленные газы. В экономическом отношении эффективным является использование в качестве вторичного газа запыленных газов. Сравнительный анализ работы вихревых пылеуловителей соплового и лопаточного вида показал влияние изменения нагрузки и содержания пыли в очищаемом воздухе (газе) на эффективность очистки. Аппарат может применяться для очистки газов с температурой до 700°; при этом не наблюдается износа внутренних стенок аппарата пылеуловителя, и они более компактны, чем другие пылеуловители. При одинаковом количестве очищаемых пылевых газов, диаметры и общая высота аппаратов различны. Приведены отрасли промышленности, где применяются вихревые пылеуловители и их некоторые технические показатели.

The article discusses dust collectors and the use of dust collectors for cleaning gases, including the use of vortex dust collectors for dry cleaning of gases from dust and some properties and forms of dusty particles caught in them, the state of dust in aerosol form. Many industrial dust particles have different shapes and sizes, and the concept of particle size is arbitrary due to the large variety of shapes. It is customary to characterize the size of a particle by the value that determines the rate of its sedimentation, and this value is the sedimentation diameter. In the technologies of industrial production, several hundred different designs of devices for cleaning gases from dust are used, and in them the driving forces of the deposition of dust particles in the flow are the forces of gravity and diffusion. Methods of collecting dust in these inertial dust collectors are described, as well as the main difference between vortex dust

collectors and cyclones. Explanations are given on the supply lines for the dusty gas flow into the apparatus, i.e. dust collector with nozzle and blade feeds. Economically, it is the use of dusty gases as a secondary gas. The design of vortex dust collectors, as well as the principle of operation and their advantages in comparison with cyclones, are described. Fresh atmospheric air, part of the cleaned gas or dusty gases can be used as secondary gas in vortex dust collectors (VDC). Comparative analysis of the operation of vortex dust collectors VDC of nozzle and blade type. Influence of changing the load and dust content in the air (gas) to be cleaned on the cleaning efficiency. The device can be used for cleaning gases with temperatures up to 700 ° C. There is no wear on the inner walls of the dust collector apparatus and they are more compact than other dust collectors. The diameter of the dust gas to be cleaned and the total height of the apparatus are different. The industries where such vortex dust collectors are used and some of their technical parameters of the apparatus are given.

Введение. Большое число современных технологических процессов связано с дроблением, измельчением и транспортированием сыпучих материалов. При этом часть материалов неизбежно переходит в аэрозольное состояние, образуя пыль, которая с технологическими или вентиляционными газами выбрасывается в атмосферу [1,2].

Пылевые частицы имеют большую суммарную поверхность, вследствие чего их химическая и биологическая активность очень высока. Некоторые вещества в аэродисперсном состоянии приобретают новые свойства, например способность взрываться. Частицы промышленной пыли имеют различные форму и размеры. Понятие размера частицы ввиду большого разнообразия форм условно. В пылеулавливании принято характеризовать размер частицы величиной, определяющей скорость ее осаждения. Такой величиной служит седиментационный диаметр (диаметр шара, скорость осаждения и плотность которого равны скорости осаждения и плотности сравниваемой частицы). При этом сама частица может иметь произвольную форму. Пылевые частицы различной формы при одной и той же массе оседают с разной скоростью. Чем ближе их форма к сферической, тем быстрее они оседают. Наибольший и наименьший размеры частиц характеризуют диапазон дисперсности данной пыли [1-6].

В настоящее время известно несколько сотен различных конструкций аппаратов для очистки газов от пыли. Несмотря на многообразие, все они являются вариантами аппаратурного оформления, где использованы немногие основные принципы осаждения или задержания взвешенной фазы [7 -10].

Методы. Движущими силами процесса осаждения пылевых частиц в потоке являются силы тяжести и диффузии. Данные силы, однако, являются недостаточными для самопроизвольной очистки газов. Хотя улавливание наиболее крупных частиц иногда и осуществляют посредством естественного осаждения в гравитационном поле, в большинстве аппаратов современной пылеочистной техники используют более интенсивное силовое поле, создаваемое искусственно [10-12].

Так, для пылеулавливания широко применяют инерционные силы, проявляющиеся при изменении направления и скорости пылегазового потока, а также силы электрического притяжения предварительно заряженных частиц к осадительному электроду.

Находит применение в пылеулавливании и процесс коагуляции, в результате которого происходит образование укрупненных агрегатов, состоящих из нескольких частиц пыли. Этот процесс интенсифицируют с помощью инерционных, электрических или термических сил. В пылеулавливающих устройствах основной процесс осаждения частиц часто сопровождается побочными нежелательными процессами. Так, например, уже осажденные частицы могут вновь увлекаться газовым потоком, а агрегаты частиц, образовавшиеся в процессе коагуляции, разрушиться и т. д. [9 -12].

Для подавления вторичных процессов, мешающих пылеулавливанию, принимают специальные меры — смачивают осадительные поверхности, снижают скорость газа, повышают электропроводность частиц, вводят в газ жидкость для увеличения прочности агрегатов частиц и т. п.

Выделение пылевидных частиц из газов, осуществляют фильтрованием газов через пористые перегородки. В этом случае используют инерционный, электрический или диффузионный механизм осаждения частиц. Выбор механизма осаждения зависит от размеров пылевых частиц, скорости газового потока и других факторов.

В зависимости от природы сил, используемых в пылеулавливающих аппаратах для отделения частиц пыли от газового потока, их подраз-

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

деляют на четыре основные группы пылеосадительные камеры и циклоны, аппараты мокрой очистки газов, пористые фильтры, электрические фильтры [7,8].

Основным отличием вихревых пылеуловителей от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока [13,14].

В аппарате соплового типа запыленный газовый поток закручивается лопаточным завихрителем и движется вверх, подвергаясь при этом воздействию трех струй вторичного газа, вытекающих из тангенциаль но расположенных сопел. Под действием центробежных сил частица отбрасывается к периферии, а оттуда - в возбуждаемый струями спиральный поток вторичного газа, направляющий их вниз, в кольцевое межтрубное пространство. Вторичный газ в ходе спирального обтекания потока очищаемого газа постепенно полностью проникает в него. Кольцевое пространство вокруг входного патрубка оснащено подпорной шайбой, обеспечивающей безвозвратный спуск пыли в бункер [15-17].

Вихревой пылеуловитель лопаточного типа отличается тем, что вторичный газ отбирается с периферии очищенного газа и подается кольцевым направляющим аппаратом с наклонными лопатками.

В качестве вторичного газа в ВПУ может быть использован свежий атмосферный воздух, часть очищенного газа или запыленные газы. Наиболее выгодным в экономическом отношении является использование в качестве вторичного газа запыленных газов. В этом случае производительность аппарата повышается на 40 - 65% без заметного снижения эффективности очистки [18].

Результаты. Как и у циклонов, эффективность вихревых аппаратов с увеличением диаметра падает. Оптимальный расход вторичного газа составляет 30-35% от первичного. Могут быть батарейные установки, состоящие из отдельных мультиэлементов диаметром 40 мм [13,19,20].

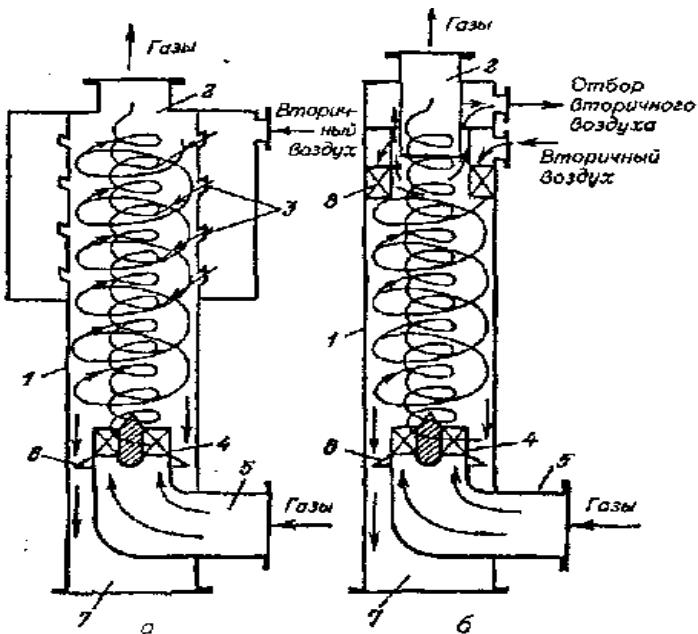


Рис. 1. Конструкция вихревых пылеуловителей: а – соплового типа; б – лопаточного типа; 1 – камера; 2 – выходной патрубок; 3 – сопла; 4 – лопаточный завихритель типа «розетка»; 5 – входной патрубок; 6 – подпорная шайба; 7 – пылевой бункер; 8 – кольцевой лопаточный завихритель

Достоинства вихревых пылеуловителей по сравнению с циклонами:

1. Более высокая эффективность улавливания высокодисперсной пыли.
2. Отсутствие абразивного износа внутренних поверхностей аппарата.
3. Возможность очистки газов с более высокой температурой за счет использования холодного вторичного воздуха.
4. Возможность регулирования процесса сепарации пыли за счет изменения количества вторичного газа.
5. Более интенсивная сепарация частиц по высоте аппарата.
6. Более эффективное улавливания тонкодисперсной пыли (менее 5 мкм).
7. Широкий диапазон нагрузок по газу и дисперсной фазе.
8. Меньшая энергоемкость.

Недостатки: 1. Необходимость дополнительного дутьевого устройства (при недостаточности дутьевого устройства).

2. Повышение за счет вторичного газа общего объема газов, проходящих через аппарат (в случае использования атмосферного воздуха).

3. Большая сложность аппарата в эксплуатации.

Обсуждение. По методикам расчетов циклонов и вихревых пылеуловителей их объемно-конструктивные размеры отличаются. При одинаковых количествах очищаемых пылевых газов, диаметры и высота аппаратов различны. Например, если диаметр циклона 800 мм, то диаметр вихревого пылеуловителя составит примерно 750 мм, а высота соответственно, 4800 мм и 4200 мм. Эффективность очистки, соответственно циклонов 75-85% и ВПУ - 90-99 %. Это связано с специфическими аэrodинамическими режимами работы данных пылеуловителей.

В мировой практике очистки воздуха от твердых фракций центробежным методом получили распространения ВПУ. Например, в США, ФРГ и ряде других стран разработано несколько типов ВПУ, имеющих диаметр корпуса от 2 до 40 м, что позволяет повысить пропускную способность ВПУ от 20 до 315000 м³/ч.

Существуют две конструктивные разновидности ВПУ: сопловые и лопаточные (рис. 1, а, б). Запыленный газ поступает в камеру 5 через изогнутый патрубок 4. Для предварительного закручивания запыленного газа в камеру 5 встроен лопаточный завихритель типа «розетки» 2. При движении вверх к выхлопному патрубку 6 газовый поток подвергается действию вытекающих из завихрителя 1 струй вторичного воздуха, которые придают потоку вращательное движение. В качестве завихрителя в ВПУ соплового типа используются наклонные сопла, а в ВПУ лопаточного типа – наклонные лопатки. Под действием центробежных сил, возникающих при закручивании потока, частицы пыли устремляются к его периферии, откуда спиральными струями вторичного потока перемещаются к низу аппарата. Безвозвратный спуск пыли в бункер обеспечивается подпорной шайбой 3 [12,15,16,21-23].

Выводы. Сравнительный анализ ВПУ соплового и лопаточного вида показывает, что гидравлическое сопротивление ВПУ лопаточного типа примерно на 25% меньше сопротивления ВПУ соплового типа. При этом остаточная концентрация пыли в ВПУ лопаточного типа в 1,75 раза ниже, чем у ВПУ соплового типа.

На эффективность очистки незначительное влияние оказывает изменение нагрузки (в пределах от 50 до 115 %) и содержание пыли в очищаемом воздухе (газе) – от 1 до 500 г/м³. Аппарат может применяться

для очистки газов с температурой до 700°С. В вихревом пылеуловителе не наблюдается износа внутренних стенок аппарата, что связано с особенностями его воздушного режима. Аппарат более компактен, чем другие пылеуловители, предназначенные для сухой очистки выбросов.

ВПУ относится к устройствам для сухой очистки газов в химической, пищевой, текстильной, горной и других отраслях промышленности.

Некоторые технические показатели аппарата:

- Производительность по очищенному газуот 200 до 120 000 м³/час.

- Гидравлическое сопротивление1 - 1500 Па.
- Коэффициент очистки..... 95 - 99%.

Постоянное совершенствование циклонных пылеуловителей привело к созданию весьма широкого ряда конструкций данных аппаратов, которые можно разделить на прямоточные циклоны и вихревые пылеуловители.

Вихревые пылеуловители имеют наиболее эффективность улавливания тонкодисперсной пыли и их применение оправдывается при улавливании пыли с большим содержанием мелкой фракции.

Применение усовершенствованных конструкций пылеуловителей позволит снизить энергетические затраты на проведение процессов очистки газов и повысить эффективность улавливания твердых частиц.

Литература

1. Медведев В.Т. Инженерная экология. - М: Гардарики, 2002 - 687 с.
2. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Елин А.М., Чунаев М.В. Охрана труда в текстильной промышленности. Учебное пособие для вузов. – М.:МГТУ им. Косыгина А.Н.,2004.-433 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию/Под общ. ред. А.А.Русанова. 2-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 312 с: ил.
4. Крамник А.А., Шарипов К.Ж. Энергосбережение в технологических процессах.- М. Энергетика, 2001. № 4. – С.10-15.
5. Гудим Л.И., Сажин Б.С, Маков Ю.Н. Методы определения общей и фракционной эффективности пылеуловителей // Химическая промышленность. 1987. - №34.- С. 40-42.
6. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: В 2 т. / Под ред. Калверта С.В., Инглунда Г. - М.: Металлургия, 1980.

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

7. Азаров В.Н., Кошкарёв С.А., Кавеева О.Т. Улавливание мелкодисперсной пыли с использованием вихревых пылеуловителей / III Межреспубликанская научн.-техн. конф. "Процессы и оборудование экологических производств" - Волгоград, 1995. - С. 107-108.
8. Балтеренас П.С Обезвоживание воздуха на предприятиях строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1990. – 180 с.: ил.
9. Банит Ф.Г., Мальгин А.Д. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1979. -352 с: ил.
10. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. - М.: Металлургия, 1977. - 328 с: ил.
11. Сугак А., Центробежные пылеуловители и классификаторы. Моделирование, расчет, проектирование / А. Сугак, Е. Сугак. – Ярославль, ЯГТУ, 2012. - 19 с.
12. Процессы и аппараты пылеочистки. / Ветошкин А. Г.: учеб. пособие. – Пенза, 2005. – 210 с.
13. Мисуля Д.И., Кузмин В.В., Марков Д.А. Сравнительный анализ технических характеристик циклонных пылеуловителей. // Труды БГТУ. - Химия и технология неорган. в-в. 2012. - № 3: С. 154-163.
14. Щелоков, Я. М. Повышение эффективности циклонных аппаратов // Промышленная энергетика. - 2008. - № 8. - С. 44 - 45.
15. Кочетов О.С., Кочетов М.О., Ходокова Т.Д. Вихревой пылеуловитель. Патент на изобретение RUS2256487. 15.06.2004.
16. Пылеуловители со встречными закрученными потоками / НИИ ТЭХИМ; Сост. Сажин Б.С, Гудим Л.И. М., 1982. - (Сер. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Обзор, информ.) - 47 с: ил.
17. Сажин Б.С, Гудим Л.И. Пылеуловители со встречными закрученными потоками // Химическая промышленность. 1985. - №8. - С. 50-54
18. Сажин Б.С, Гудим Л.И., Чумаков А.Г., Векуа Т.Ю. Испытание пылеуловителей ВЗП-800 //Изв. ВУЗов. Сер. "Технология текстильной промышленности". -М., 1985. -№6. С. 75-78.
19. Сажин Б.С, Лукачевский Б.П., Джунисбеков М.Ш., Гудим Л.И., Коротченко СИ. Моделирование движения газа в аппаратах со встречными закрученными потоками // Теоретические основы химической технологии. 1985. - Т. XIX, №5. - С. 637-690.
20. Карпов, С. В. Высокоэффективные циклонные устройства для очистки и теплового использования газовых выбросов / С. В. Карпов, Э. Н. Сабуров; под ред. Э. Н- Сабурова. - Архангельск: Изд-во Архангельского гос. техн. ун-та, 2002. – 59 с.

21. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности: учеб. пособие для студентов вузов / Е. А. Штокман [и др.]; под ред. Е. А. Штокмана. 2-е изд.. испр. и доп. М.: Изд-во АСВ. 2007. - 632 с.
22. Балтренас, П. Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов / П. Б. Балтренас. М.: Стройиздат, 1990. - 184 с.
23. Красовицкий Ю. В. Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров - М.: Химия, 1994. - 272 с.

*Представлено Таикентским государственным
техническим университетом*

**РАЗРАБОТКА БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ
РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ФИЛЬТР-ПОЛОТЕН И ОЦЕНКА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДУКТИВНОЙ СУШКИ**

Я.Д. Мухиддинова, С.Т. Ахмедов

Иида қуйидаги тадқиқотлар үтказилған: құритиши жараёнида целлюлоза материалдардан намликни олиб ташлашынг физик моделини яратиши; энг рационал құритиши қурилмасини танлаш нұқтаи назаридан намликнинг материал билан боғланиши шаклини ва құритиши жараёнида намликни олиб ташлаш механизм маъносини очиш тадқиқотларини бажарии; целлюлоза материалли регенерацияланған фильтр-полотноларни құритиши учун мұлжаслланиб тақдим этилаёттан қурилмани құллашынг энергетик ва техник-иқтисодий самарадорлигини текишириши; эритувчи ва целлюлоза диацетати (ДЦА) чиқарилишини минималлаштиришига регенерацияланған фильтр-полотноларни құритишининг кондуктив жараёни құллашыга йұналтирилған чиқиндисиз технологик схемаларни ишилаб чиқши. Тадқиқот обьекти бўлиб целлюлоза материаллардан тайёрланған регенерацияланған фильтр-полотноларни құритиши жараёни ҳисобланди. Тадқиқот предмети сифатида иссиқлиқни кондуктив берииш шароитларида регенерацияланған фильтр-полотноларни құритиши технологияси ва техникасини такомиллаштириши масалалари олинди. Тадқиқотда иссиқлиқ энергетикаси саноатида иссиқлиқ ва масса алмашинуви жараёнларининг, математик моделлаштириши услубларининг, мураккаб иссиқлиқ ва масса алмашинув жараёнларини оптималлаштиришининг илмий мазмунлари ишилатилди. Экспериментларни амалга оширишида метрологик аттестацияланған юқори аниқликдаги назорат-ўлчовчи асбоблардан фойдаланилди. Кондуктив құритиши аппаратлари құлланилишининг мақсадга мувофиқлиги ва истиқболлиги күрсатилди. Иссиқликтехнологик қайта ишилаш обьектлари сифатидаги целлюлоза материаллар хоссалари ҳақидаги ахборотлар ва маълумотлар үрганилди ва тартиблаштирилди. Бундай билимларга эга бўлиши құритиши жараёнларини ва қурилмаларини ҳисоблаш ва асосланган тарзда лойиҳалаш учун жиоддий аҳамият касб этади. Құритиши жараёнининг ишилаб чиқилған математик модели ўз ичига саноатда амалий құлланыладиган тартибли параметрларининг ўзгарышы амалга ошаидиган диапазонлардаги материалларнинг параметрлари ва тавфисилотларини олади. Целлюлоза хом ашёни кондуктив құритишининг иссиқлиқ ва масса алмашинув мураккаб жараёнларининг локал ва интеграл тавфисилотлари ҳақидаги сермазмун маълумотлар кенгайтирилди ва умулаштирилди.

Кондуктив құритиши аппаратлари құлланилишининг мақсадға мувофиқлиги ва истиқболлиги күрсатылды. Иссиқлик-технологик қайта ишләш обьектлари сифатидаги целлюлоза материаллар хоссалари ҳақидағи ахборотлар ва маълумотлар ўрганилди ва тартиблаштирилди. Бундай билимларга эга бўлиши құритиши жараёнларини ва қурилмаларини ҳисоблаш ва асосланган тарзда лойиҳалаш учун жиоддий аҳамият касб этади. Құритиши жараёнининг ишлаб чиқилган математик модели ўз ичига саноатда амалий құлланиладиган тартибли параметрларининг ўзгариши амалга ошаған диапазонлардаги материалларнинг параметрлари ва тавфисилотларини олади. Целлюлоза хом ашёни кондуктив құритишининг иссиқлик ва масса алмашинув мураккаб жараёнларининг локал ва интеграл тавфисилотлари ҳақидағи сермазмун маълумотлар кенгайтирилди ва умулаштирилди. Ишимиз натижасида олинган масса қайтариши, материалдаги намликтин ички диффузияси коэффициентларини аниқлаш учун олинган ҳисобот болғиқликлари толали материалларнинг иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини таҳлил қилиши ва ҳисоблашда ишлатилиши мумкин. Ишлаб чиқарии шароитларига максимал яқинлаштирилган шароитларда синовларни ўтказиш имконини берадиган илмий-тадқиқот экспериментал лаборатория стенди ишлаб чиқилди ва яратилди. Назарий ва экспериментал маълумотлар негизида кондуктив құритиши қурилмасини муҳандислик услубида ҳисоблаш ва лойиҳалаштиришининг алгоритми ишлаб чиқилди. Целлюлоза материаллардан тайёрланган фильтр-полотноларни құритиши жараёнини саноат күламларыда амалга оширишининг техник-иктисодий самарадорлиги баҳоланди. Олинган назарий ва ҳисобот болғиқликлари экспериментал маълумотлар билан тақъосланиб мос келиши аниқланди, бу уларнинг ишонарлилигидан далолат беради.

В работе были проведены следующие исследования: создание физической модели удаления влаги из целлюлозных материалов в процессе сушки; исследование с точки зрения выбора наиболее рациональной сушильной установки формы связи влаги с материалом и раскрытие механизма удаления влаги в процессе сушки, исследование энергетической и технико-экономической эффективности применения предлагаемой сушильной установки сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов, разработка безотходной технологической схемы ориентированная на применение кондуктивного процесса сушки регенерированных фильтр-полотен, направленного на минимизацию выбросов растворителя и ДАЦ (диацетат целлюлозы). Объектом исследования является процесс сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов. Предмет исследования составляют вопросы совершенство-

вания технологии и техники сушки регенерированных фильтр-полотен в условиях кондуктивного подвода тепла. При исследовании использованы научные положения процессов тепло- и массообмена в промышленной теплоэнергетике, методы математического моделирования и оптимизации сложных тепло- и массообменных процессов; при проведении экспериментов использованы метрологически аттестованные высокоточные контрольно-измерительные приборы. Научно обоснованное проектирование технологической установки с кондуктивным подводом тепла для сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов, основанное на применении современных концепций и методов математического моделирования, оптимизации сложных тепло- и массообменных процессов и систем. Показана целесообразность, и перспективность применения кондуктивных сушильных аппаратов. Изучены и систематизированы сведения и данные о свойствах целлюлозных материалов как объектов тепло-технологической обработки, знание которых имеет существенное значение для расчета и обоснованного проектирования процессов сушки и установок для их осуществления. Разработанная математическая модель процесса сушки вбирает в себя параметры и характеристики широкого круга материалов, практически используемых в промышленности в реальных диапазонах изменения режимных параметров. Расширена и обобщена содержательная информация о локальных и интегральных характеристиках сложного тепло- и массообменного процесса кондуктивной сушки целлюлозного сырья, что существенно сокращает объем экспериментальных исследований. Полученные в работе расчетные зависимости для определения коэффициентов массоотдачи, внутренней диффузии влаги в материале, могут быть использованы для анализа и расчета процессов тепло- и массообмена волокнистых материалов. Разработан и создан научно-исследовательский экспериментальный лабораторный стенд, позволяющий проводить испытания в условиях, максимально приближенных к производственным. На основе теоретических и экспериментальных данных разработан алгоритм инженерного метода расчета и проектирования кондуктивной сушильной установки. Оценена технико-экономическая эффективность от реализации процесса сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов в промышленных масштабах. Полученные теоретические и расчетные зависимости сопоставлены с экспериментальными данными, что свидетельствует об их достоверности.

The following studies were carried out: creation of a physical model for removing moisture from cellulose materials during the drying process; research from the point of view of choosing the most rational drying plant of the forms of moisture connection with the material and revealing the mechanism of moisture removal during drying, research of energy and technical and eco-

nomic efficiency of the proposed drying plant for drying regenerated filter cloths from cellulose materials, development of a waste-free technological scheme focused on the use of a conductive drying process of regenerated filter cloths aimed at minimizing solvent and CDA emissions.(Cellulose Diacetate) The object of the study is the drying process of regenerated filter cloths made of cellulose materials. The subject of the study is the issues of improving the technology and technique of drying regenerated filter cloths in conditions of conductive heat supply. The research uses the scientific provisions of heat and mass transfer processes in industrial heat power engineering, methods of mathematical modeling and optimization of complex heat and mass transfer processes, metrological certified high-precision control and measuring devices were used during the experiments. Scientifically based design of a technological installation with a conductive heat supply for drying regenerated filter cloths made of cellulose materials, based on the application of modern concepts and methods of mathematical modeling, optimization of complex heat and mass transfer processes and systems. The expediency and prospects of using conductive drying devices are shown. The information and data on the properties of cellulose materials as objects of heat-technological processing are studied and systematized, the knowledge of which is essential for the calculation and reasonable design of drying processes and installations for their implementation. The developed mathematical model of the drying process includes the parameters and characteristics of a wide range of materials practically used in industry in real ranges of changes in operating parameters. The informative information about the local and integral characteristics of the complex heat and mass transfer process of conductive drying of cellulose raw materials is expanded and generalized, which significantly reduces the volume of experimental studies. The calculated dependences obtained in this work for determining the coefficients of mass transfer, internal diffusion of moisture in the material ,can be used for the analysis and calculation of the processes of heat and mass transfer of fibrous materials. A research experimental laboratory stand has been developed and created, which allows conducting tests in conditions as close as possible to production ones. Based on theoretical and experimental data, an algorithm for the engineering method of calculation and design of a conductive drying plant has been developed. The technical and economic efficiency of the implementation of the drying process of regenerated filter cloths made of cellulose materials on an industrial scale is estimated. The obtained theoretical and calculated dependences are compared with experimental data, which indicates their reliab.

Совершенствование техники сушки связано с использованием эффективных кондуктивных (контактных) методов сушки регенерированных фильтр-полотен из хлопковой целлюлозы, обеспечивающих лучшие

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

технико-экономические показатели и создающих благоприятные условия для получения готового продукта высокого качества и требующих наличия точной и достоверной информации о свойствах обрабатываемого материала и параметрах тепло- и массообмена в процессах сушки.

Разработка эффективного метода сушки регенерированных фильтр-полотен из волокнистой плитчатой целлюлозы обусловлена все возрастающей потребностью в регенерации фильтр-полотен в производстве химических волокон, приводящей к экономии дорогостоящих материалов, а также необходимостью улучшения их качества, влияющего на процесс формирования исходного сырья в искусственное волокно. Настоящая работа посвящена комплексному исследованию свойств используемых в изготавлении фильтр-полотен из целлюлозных материалов, как объектов тепло-технологической обработки (сушки) и выбору на этой основе эффективного способа и типа установки для сушки регенерированных фильтр-полотен.

Наибольший вклад в развитие теории и техники сушки внесли учёные М.А.Лыков, С.И.Иванов, П.А.Жучков, В.В.Красников, Б.С.Сажин, Д.Н.Мухиддинов и др.

Анализ теории и практики кондуктивной сушки целлюлозных материалов, современного состояния математического моделирования и оптимизации сушильных установок кондуктометрического типа свидетельствует о том, что в настоящие времена для описания кондуктометрической сушки целлюлозных материалов отсутствуют обобщенные математические модели, полученные исходя из системных позиций и учитывающие гидродинамику, кинетику процесса и внутреннюю структуру физико-химических эффектов и явлений, имеющих место в исследуемой многоуровневой сложной системе.

Анализ фактического материала, привлеченного к аналитическому обзору современного состояния теории и практики кондуктивной сушки целлюлозных материалов, позволяет сформулировать следующую уточненную цель настоящего исследования – повышение энергоэффективности сложного тепло - и массообменного технологического процесса кондуктивной сушки фильтр-полотен из целлюлозных материалов.

Эта цель достигается путем создания физической модели процесса удаления влаги из целлюлозных материалов в процессе сушки, а также изучения форм связи влаги с материалом, основанного выбора рациональной сушильной установки.

Исследование энергетической и технико-экономической эффективности применения выбранной установки для сушки регенерированных целлюлозных материалов способствует разработке безотходной технологической схемы, ориентированной на эффективное применение кондуктивного процесса сушки регенерированных целлюлозных материалов.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие основные задачи:

- обзор выполненных теоретических и экспериментальных работ, посвященных применению аппаратов для кондуктивной сушки целлюлозных материалов и ее аппаратурного оформления;
- разработка способа и типа сушильных аппаратов на основе термограмм и кривых сорбции-десорбции целлюлозных материалов;
- составление математической модели расчета процесса сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов;
- экспериментальное исследование влияния режимных параметров на процесс сушки регенерированных фильтр-полотен в экспериментальном аппарате и оптимизация процессов сушки;
- разработка инженерной методики расчета процесса кондуктивной сушки фильтр-полотен.

Научные и практические результаты работы использованы при проектировании и изготовлении полупромышленной кондуктивной сушильной установки для одного фильтр-полотна весом 50 кг, испытанного на Ферганском заводе химических волокон, а также при разработке технического проекта сушильного аппарата для регенерации и сушки фильтр-полотен на 1000 кг. Экономическая эффективность от внедрения одной сушилки в производстве составляет 10 млн. сум в год. Результаты исследований используются в учебном процессе ТашГТУ (Ташкентский государственный технический университет) при чтении курса «Промышленные тепло-массообменные аппараты и установки».

Важное место в снижении себестоимости конечной продукции играет сокращение потерь сырья, растворителя - ацетона и дикацетата целлюлозы (ДАЦ). Основные потери ацетона и полимера происходят в процессе перезарядки фильтр-прессов. Отработанный фильтр-материал вместе с остатками раствора выбрасывается на свалку и сжигается.

В работе сформулированы принципы, положенные в основу разработанных схем безотходной технологии сушки фильтр-полотен:

- обеспечение высокого качества продукции;
- минимальные затраты энергетических и сырьевых ресурсов, а также
- вспомогательных материалов;
- максимальное использование вторичных энергоресурсов;
- максимально возможное снижение выбросов растворителя - ацетона и ДАЦ в окружающую среду.

Комплексное решение поставленных задач возможно на основе применения безотходных теплотехнологических схем с использованием принципов энерго - и ресурсосбережения [3,4,5,6].

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Разработка эффективной схемы сушки фильтр-полотен требует решения вопроса экономичной регенерации растворителя. Регенерацию растворителя из ПГС (парогазовая смесь) принципиально можно осуществить тремя способами: абсорбцией, низкотемпературной конденсацией и адсорбцией

Рассмотрим рекуперацию растворителя [9,10] по двухфазному способу, включающему две стадии: сорбцию и десорбцию. В этом случае стадия сорбции совмещена со стадиями сушки и охлаждения.

Абсорбция - процесс поглощения газа или пара в объеме другого вещества [11,12]. В качестве поглотителя обычно используют жидкость, поэтому к абсорбции часто относят процесс поглощения газа или пара жидкостью. Извлечение поглощенного газа или пара - суть десорбция.

Процесс абсорбции может протекать по двум механизмам: простое растворение газа или пара в жидкости или образование нового химического вещества, легко разлагающегося при каком-либо внешнем воздействии, (например, при нагревании). Абсорбцию по второму механизму относят к процессу хемосорбции.

Процесс абсорбции [7,13] протекает в три основных стадии:

- 1) газ и жидкость соединяются вместе в каком-либо контактном аппарате;
- 2) в процессе контактирования обе фазы приходят в состояние фазового равновесия;
- 3) фазы разделяются.

Поглотитель абсорбент - вещество, подвергаемое абсорбции абсорбативом. Неабсорбируемая часть газового потока является инертом.

Из определения фаз, по которым протекает абсорбция ясно, что интенсивность процесса пропорциональна его движущей силе; эта величина определяется разностью концентраций абсорбатива в газовой фазе и над поверхностью системы «абсорбент - абсорбатив». Количество поглащаемого абсорбатива зависит также от: поверхности контакта фаз, коэффициентов массоотдачи в каждой фазе, растворимости абсорбатива и абсорбента друг в друге и температуры процесса.

Как и в случае адсорбции, снижение температуры процесса приводит к возрастанию поглотительной способности абсорбента. Поэтому процесс сорбции эффективнее протекает при низких температурах. Выбор оптимальной температуры процесса приводит к возрастанию поглотительной способности абсорбента. Поэтому процесс сорбции эффективнее протекает при низкой температуре. Выбор оптимальной температуры процесса является задачей технико-экономического характера, которая зависит от соотношения затрат на захолаживание компонентов процесса, а также определяется эффектом от использования процесса сорбции.

Применение абсорбции может диктоваться различными технологическими задачами [15]:

- получение целевых продуктов;
- выделение ценных компонентов газовых смесей;
- удаление вредных примесей из газовых смесей (определенное применяемой технологией) или обезвреживание выбросов производства в целях защиты окружающей среды, сочетающееся с улавливанием ценных веществ.

Отсюда ясно, что абсорбция может применяться как технологический процесс обезвреживания выбросов, т.е. является одним из основных процессов, применяемых в технологии получения того или иного продукта.

Эффективность любого технологического аппарата (в том числе и абсорбера) определяется степенью превращения. Для абсорбера в качестве степени превращения можно использовать степень поглощения целевого компонента из газовой смеси.

Одним из наиболее перспективных является абсорбер с контактным устройством в трехфазном псевдоожженном слое (ТПС) [22]. Обладая рядом недостатков – таких, как например, узкий диапазон скоростей, – абсорберы с ТПС обладают существенным преимуществом: КПД тарелки в них достигает 0,8-0,9, в то время как у аппаратов с колпачковыми контактными устройствами - 0,45-0,55. Абсорберы с ТПС просты в исполнении и изготовлении. Полученные экспериментальные данные и теоретические разработки в этой области позволяют организовать широкий серийный выпуск таких аппаратов [15].

Абсорбер с ТПС представляет собой колонну, секционированную газораспределительными решетками с живым сечением 30-60%. На решетки помещают инертную насадку в виде шаров, кубов, колец Рашига, Палля и т.п., изготовленную из пластмассы (полиэтилен, полипропилен, фторопласт) или из металла (в основном алюминий или дюралюминий). Контактирование газа и жидкости происходит на поверхности насадки, которая в рабочем состоянии псевдоожжена потоком газа.

Исследования показали, что наиболее рационально применение колец Рашига, изготовленных из полиэтилена со следующими показателями: размер элемента – 25x25x3 мм, удельная поверхность - 200 м²/м³, свободный объем - 0,74 м³/м³, насыпная масса - 530 кг/м³.

Кольца загружаются навалом в колонну на тарелку с перфорацией. Колонна работает при скорости газа, обеспечивающей активное перемешивание на тарелке в режиме псевдоожжения.

Основными параметрами абсорбционной колонны являются расход тощего абсорбента $L_o W_o$, число фактических тарелок N_o , степень улавливания целевого компонента:

$$\Psi_{ai} = Y_{F1} - Y_{F2} / Y_{F1}. \quad (1)$$

При расчете абсорбционной колонны обычно задаются следующими величинами: температура ПГС на входе в колонну; концентрация паров растворителя в ПГС Y_1 , кг/м³; концентрация паров растворителя в газе на выходе из колонны Y_2 , кг/м³; скорость газа в колонне V_2 , м/с; расход ПГС V_o , м³/с.

Скорость газа в колонне определяется из условия обеспечения псевдоожижения.

Задачей расчета является определение: расхода абсорбента для заданной величины, обеспечивающей улавливающую способность абсорбента, температуры абсорбента на выходе из колонны и конструктивных параметров абсорбера.

При разработке методики расчета приняты следующие допущения:

- выделяющееся тепло отводится абсорбентом;
- зависимостью теплоемкости раствора от температуры и концентрации сорбата в абсорбенте пренебрегаем.

Для расчета процесса абсорбции необходимо определить кривую равновесия. Это производится графическим методом. Для построения линии равновесия задаются несколькими значениями концентрации раствора в жидкой фазе $X_{кон}$ и проводят расчет по схеме:

$$X_{кон} \rightarrow t'_{кон} \rightarrow p_n \rightarrow \gamma_1 \rightarrow m_{xy} \rightarrow Y.$$

Величина температуры смеси «абсорбент-растворитель» на выходе из колонны определяется из соотношения между температурой абсорбента и концентрацией сорбата в смеси:

$$t'_{кон} = \frac{1 + X_1}{1 - X_{кон}} \frac{C_1}{C_{кон}} t + \frac{X_{кон} - X_1}{1 + X_{кон}} \frac{\Phi}{C_{кон}}. \quad (2)$$

Поскольку, в соответствии с принятым выше допущением, теплоемкость сорбента постоянна, то, приняв ее равной теплоемкости воды, получим:

$$t'_{кон} = \frac{1 + X_1}{1 - X_{кон}} t + \frac{X_{кон} - X_1}{1 + X_{кон}} \frac{\Phi}{C_{кон}}. \quad (3)$$

Тепловой эффект абсорбции Φ складывается из изменения энталпии при конденсации ацетона и изменения энталпии при образовании водного раствора ацетона:

$$\Phi = \Delta H_{конд.} + \Delta H_{смеш.}. \quad (4)$$

Величина парциального давления насыщенных паров определяется по зависимости вида: $P_n = 133,3 \exp(A - B/T)$.

Определение коэффициентов активности жидкой фазы представляет некоторую сложность, поскольку обычно известны величины коэффициентов активности при высоких температурах, по крайней мере, выше той, при которой протекает процесс сорбции.

Для большинства водных растворов можно использовать формулу Ван-Лаара [13]:

$$\ln(\gamma_1)_{T_{\text{кон}}} - \ln(\gamma_1)_{T_{\text{нач}}} = (L'_1)_{\text{ср}} / R (1/T_{\text{кон}} - 1/T_{\text{нач}}). \quad (5)$$

Входящую в зависимости (5) величину средней парциальной мольной теплоты растворения компонента можно оценить как изменение энталпии при образовании водных растворов:

$$(L_1)_{\text{ср}} = \Delta H_{\text{см}} = H_{+n}H_o + H_1. \quad (6)$$

Расчеты показывают, что вычисление коэффициента активности по зависимости (5) дает удовлетворительные результаты.

Константа равновесия (или коэффициент распределения) количественно характеризует равновесие в системе «пар – инерт – жидкость». Эта величина вычисляется по формуле:

$$m_{yx} = \gamma_{ж} P_h / P. \quad (7)$$

Зная все вышеперечисленные величины, можно рассчитать концентрацию ацетона в газовой фазе, соответствующую заданному значению

$$y = m_{yx} x / 1 + (1 - m_{yx})x. \quad (8)$$

По изложенной методике проводится вычисление политермы сорбции, которая зависит от начальной температуры абсорбента. На рис.2 представлен пример расчета политермы абсорбции для системы «ацетон-инерт-вода» при начальной температуре абсорбента 5 °C.

Зная кривую равновесия тройной системы «пар-инерт-абсорбент», можно определить равновесную концентрацию растворителя в абсорбенте на выходе из колонны.

Удельный расход абсорбента определяется из материального баланса по целевому компоненту:

$$l_o = W_o / V_o = Y_1 - Y_2 / X_2 - X_1. \quad (9)$$

Минимальный расход абсорбента вычисляется из условия насыщения абсорбента на выходе из колонны:

$$W_{omin} = Y_1 - Y_2 V_o / X_2 - X_1. \quad (10)$$

Температуру инерта, покидающего абсорбционную колонну, можно определить из теплового баланса абсорбера:

$$V_1 C_r t_{к2} + W C_b t_{h6} + (Y_h - Y_k) V_1 r = V_1 C_r t_{к2} + W C_b t_{к6}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) получаем зависимость для расчета искомой температуры:

$$t_{к2} = t_{к2} - l_o C_b \Delta t_b - \Delta Y_r / C_r. \quad (12)$$

Теперь можно перейти к вычислению числа теоретических тарелок. Для этого на том же графике строится и рабочая линия процесса. Она имеет вид уравнения:

$$y = y_k + I/l_o (x_k - x). \quad (13)$$

Теперь перейдем к расчету конструктивных параметров колонны. Рабочая высота насадочной колонны рассчитывается по зависимости:

$$H_p = \frac{W_0 S_{ox}}{K_x F_{\min} f}. \quad (14)$$

В уравнении (14) неизвестной величиной является коэффициент массопередачи K_x . В работе [15] предложена эмпирическая зависимость для расчета этой величины:

$$K_x = 1,46 V_2^{0,48} F_c^{-1,02} h_o^{0,83} L^{0,35}. \quad (15)$$

где V_2 - скорость газа в свободном сечении колонны, м/с; F_c - свободное сечение тарелки, %; h_o - высота слоя, мм; L - плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ч})$.

Диаметр колонны

$$D = \sqrt{4V_0 / (\pi \rho_1 v_1)}. \quad (16)$$

Число действительных тарелок в колонне определяется соотношением:

$$N_o = Nm / \eta. \quad (17)$$

Важным моментом в организации процесса абсорбции является правильный выбор абсорбента. Требования к абсорбенту весьма жесткие [13]:

- абсорбент должен иметь достаточно высокую температуру кипения;
- абсорбент не должен вызывать изменение химического строения абсорбатива;
- в процессе сорбции абсорбент не должен подвергаться каким-либо химическим превращениям;
- абсорбент должен быть по возможности дешевым и недефицитным;
- температура кипения абсорбента должна быть много выше температуры распада образовавшихся с парами абсорбатива химических соединений.

Кроме того, абсорбент желательно иметь невзрывоопасный и (что очень важно) нетоксичный.

Практически абсорбента, отвечающего всем перечисленным требованиям, пока не найдено. В настоящее время основное применение получили раствор бисульфита натрия, серная кислота, вода, трикрезол и др. При этом бисульфит натрия, серная кислота и крезол поглощают растворители по механизму хемосорбции.

В технологии переработки растворов полимеров для рекуперации ацетона нами в качестве абсорбента применялась вода.

Создание безотходной или малоотходной технологии во всех отраслях хозяйственной деятельности и на территориях проживания населения – задача не только экологического, но и экономического и социального характера [11,16].

Основной целью теплового расчета проектируемых кондуктивных сушильных установок является определение количества тепла по задан-

ной производительности, ввиду высушиваемого материала и температуре. Разработана методика инженерного расчета, позволяющая при заданной конструкции и тепловом режиме процесса сушки определять расчетную производительность аппарата. Исходные данные для расчета:

Высушиваемый материал – фильтр-полотно.

Плотность полотна в абсолютно сухом состоянии: $\rho_C, \text{г}/\text{м}^2$.

Влагосодержание полотна $w, (\text{кг}/\text{кг})$:

начальное w_1 ; критическое w_K ; конечное w_2 .

Температура греющего пара: $t_{\text{Г.П.}}, ^\circ\text{C}$.

Длина полотна: L , метр,

Ширина полотна: b , метр,

Доля активной поверхности: $\phi, \%$

Начальная температура полотна: $t_{\text{П.1}}, ^\circ\text{C}$.

Коэффициенты использования тепла: $\psi_{\text{пр}}$.

Тепловые расчеты интенсивности процесса теплообмена при процессе сушки фильтр-полотен основанные на наших экспериментальных данных показывают, что в процессе сушки фильтр-полотна с температурой греющей поверхности, которая выше 130°C , температура материала в первом периоде сушки равна температуре кипения ацетона при барометрическом давлении и близка к $56,1^\circ\text{C}$. В первом периоде сушки происходит снижение температуры полотна на $\delta t_{\text{П.1}} = 10 \div 12^\circ\text{C}$ - за счет интенсивного испарения ацетона; средняя температура полотна во время контакта с поверхностью принята равной

$$\bar{t}_{\text{П.1}} = t_{\text{П.1}} - \frac{\delta \cdot t_{\Gamma}}{3}, ^\circ\text{C}.$$

Тепловой расчет сушильной установки. Расчет ведется в следующей последовательности.

Производительность (по абсолютно сухой массе)

$$G_M = 60 b_{\text{П.1}} \rho_C. \quad (18)$$

Средняя температура фильтр-полотна в первом периоде сушки $t_{\text{П.1}}$.

Активная поверхность сушилки.

$$h_{\text{а.д.}} = \pi \phi b_{\text{П.1}}. \quad (19)$$

Длительность периода прогрева определяется по уравнению

$$\tau_{\text{П.П.}} = \frac{\rho_C (c_{C.P.} + c_{\omega} w_0) (t_{M,1} - t_{M,0})}{\psi_{\text{П.П.}} \bar{q}_{\text{П.П.}} (1 + y_{a.c.}) - \bar{m}_{\text{П.П.}} r}, \quad (20)$$

где $\bar{q}_{\text{П.П.}}$ – среднее значение теплового потока от греющей поверхности.

Средняя интенсивность испарения влаги с поверхности фильтр-полотна

$$\bar{m}_{PP} = \beta_P \left[\frac{(\vartheta_1^4 - \vartheta_0^4)}{4(\vartheta_1 - \vartheta_0)} - \vartheta_{H.B}^3 \right], \quad (21)$$

где ϑ_0, ϑ_1 - приведенные значения начальной и конечной температуры фильтр-полотна в периоде прогрева; $\vartheta_{H.B}$ - приведенная температура точки росы воздуха в сушильной камере.

Коэффициент массообмена, отнесенный к разности парциальных давлений

$$\beta_P = \frac{\alpha_m}{RT}, \text{ кг}/(м^2 \cdot Па \cdot ч), \quad (22)$$

где α_m – коэффициент массообмена, отнесенный к разности концентраций пара на поверхности испарения и в воздухе, м/ч; R – удельная газовая постоянная, $м^3 \cdot Па/(кг \cdot К)$; T – абсолютная температура, К.

Средняя температура фильтр-полотна в период прогрева

$$\bar{t}_{PP} = \frac{\bar{t}_{\Pi,0} + \bar{t}_{\Pi,1}}{2}. \quad (23)$$

Коэффициент диффузии:

$$D = 0,0829 \left(\frac{T}{T^0} \right)^{1,8},$$

$$\alpha_m = \frac{Nu_D D}{l}. \quad (24)$$

Среднее значение коэффициента массообмена

$$\bar{\beta}_P = \frac{\alpha_m}{RT}. \quad (25)$$

Найденное значение коэффициента массообмена отнесено к разности парциальных давлений пара на поверхности испарения и в воздухе, выраженных в (Па). Тогда:

$$\bar{m}_{PP} = \beta_P \left[\frac{(\vartheta_1^4 - \vartheta_0^4)}{4(\vartheta_1 - \vartheta_0)} - \vartheta_{H.B}^3 \right] \cdot 10^5. \quad (26)$$

Плотность теплового потока, отнесенного к $1 м^2$ поверхности фильтр-полотна:

$$\bar{q}_{PP} = \frac{1-\alpha}{\varphi} \cdot \frac{t_{H.P}^{p_3} - \bar{t}_{PP}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1-\alpha}{\varphi \alpha_2}} = K(t_{H.P}^{p_3} - \bar{t}_{PP}). \quad (27)$$

Количество влаги, испаренной с $1 м^2$ полотна в периоде прогрева:

$$\Delta M = \tau_{\text{пр}} \cdot \bar{m}_{\text{пр}}. \quad (28)$$

Снижение влагосодержания фильтр-полотна:

$$\Delta w_{\text{пр}} = \frac{\Delta M}{\rho \cdot c}. \quad (29)$$

Влагосодержание фильтр-полотна в конце периода прогрева:

$$w_1 = w_0 - \Delta w_{\text{пр}}. \quad (30)$$

Расход тепла:

в период прогрева:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{1}{\psi_{\text{пр}}} G_M [(c_{C,\text{п}} + c_{\omega} w_0)(t_{\text{п},1} - t_{\text{п},0}) + \Delta w_{\text{пр}} r], \text{ кДж/ч}, \quad (31)$$

где: w_1 - начальная влажность, кг/кг; w_2 - конечное влагосодержание полотна, кг/кг; $\psi_{\text{пр}}$ - коэффициент использования тепла; c - теплоемкость сухого полотна, кДж/кг; G - вес высушиваемого материала, кг; t - температура полотна, °C; r - теплота парообразования, кДж/кг;

в первом периоде сушки:

$$Q_1 = \frac{1}{\psi_1} G_M (t_{\text{п},1} - c_{\omega} t_{\text{п},1})(w_1 - w_K), \text{ кДж/ч}; \quad (32)$$

во втором периоде сушки:

$$Q_2 = \frac{1}{\psi_2} G_M (t_{\text{п},1} - c_{\omega} t_{\text{п},1})(w_K - w_2) \bar{m}_r, \text{ кДж/ч};$$

$$\text{где } \bar{m}_r = 1 + \frac{(c_{C,\text{п}} + c_{\omega} w_2)(t_{\text{п},2} - t_{\text{п},1}) + (w_K - w_2)(i_{\text{п},2} - i_{\text{п},1})}{(w_K - w_2)i_{\text{п},1}}. \quad (33)$$

Общий расход тепла на сушку и нагрев полотна:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пр}} + Q_1 + Q_2, \text{ кДж/ч}. \quad (34)$$

Конечную температуру фильтр - полотна находим по соотношению:

$$t_{\text{п},2} = t_{H,\text{п}} - w_2(t_{H,\text{п}} - t_{\text{п}}), \text{ °C}. \quad (35)$$

Средняя температура фильтр - полотна во втором периоде сушки:

$$\bar{t}_{\text{п},2} = \frac{t_{\text{п},1} + t_{\text{п},2}}{2}, \text{ °C}. \quad (36)$$

Плотность теплового потока:

в первом периоде сушки

$$q_1 = K(t_{H,\text{п}}^{p_2} - t_{\text{п},1}), \text{ Вт/м}^2. \quad (37)$$

во втором периоде

$$\bar{q}_2 = q_1^{p_1} \bar{z} \bar{m}_r = K(t_{H,\text{п}}^{p_1} - t_{\text{п},1}) \cdot \bar{z} \bar{m}_r, \text{ Вт/м}^2. \quad (38)$$

где \bar{z} - удельная поверхность контакта полотна с греющим элементом.

Время продолжительности процесса сушки ОФП находим по уравнению:

$$\tau = 3 \cdot 10^5 t^{-1,374} \left[(W_h - W_{KK}) + \left(W_{KK} \ln \frac{W_{KK}}{W_K} \right) \right], \text{мин} \quad (39)$$

Погрешность расчета по уравнению составляет $\pm 2\text{-}3\%$. Уравнение позволяет рассчитывать продолжительность сушки ОФП в промышленных установках при соблюдении масштабного перехода от экспериментальной установки к промышленной.

Для проверки адекватности полученного уравнения разработан и создан научно-исследовательский экспериментальный лабораторный стенд, позволяющий проводить испытания в условиях, максимально приближенных к производственным (рис.1). Создана экспериментальная установка для исследования процесса кондуктивной сушки ОФП.

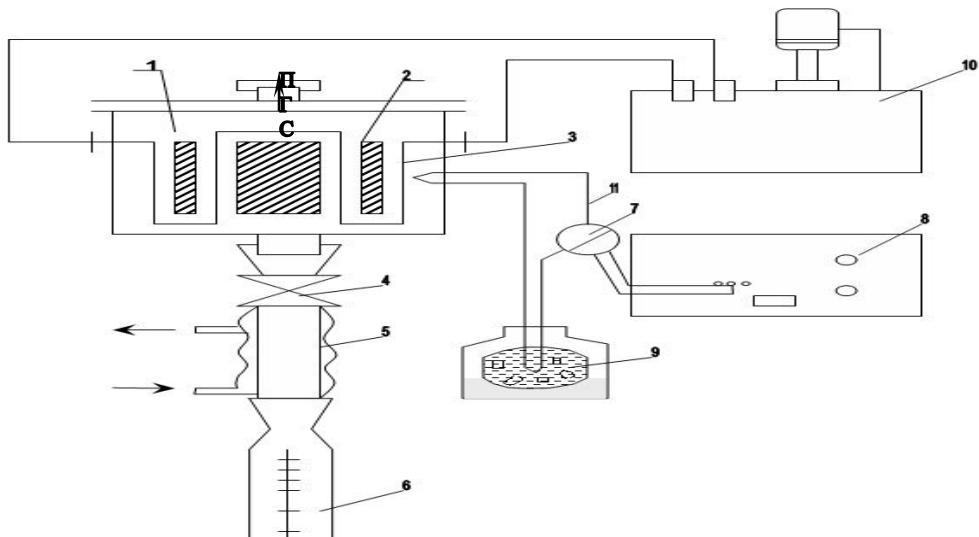


Рис. 1. Схема экспериментальной кондуктивной сушильной установки для исследования процесса сушки фильтр-полотна: 1 - испаритель; 2 - отмытые фильтр-полотна; 3 - трубка горячего теплоносителя; 4 - трехходовой вентиль; 5 - конденсатор; 6 - мерная емкость; 7 - переключатель термопар; 8 - потенциометр; 9 - сосуд Дьюара; 10 - термостат; 11 - медно-константановые термопары; ПГС - парогазовая смесь

Установка состоит из блоков подготовки теплоносителя [20,21], системы измерения температуры, конденсатора с конденсатоотводчиком и собственно сушильного аппарата. Аппарат 1 для кондуктивной сушки представляет собой емкость прямоугольного сечения размером $0,32 \times 0,32 \times 0,16 \text{ м}^3$. Она имеет съемную крышку и проходные контакты для ввода шести термопар. Термопары прикреплены к поверхности высушива-

ваемого материала при помощи целлюлозных лент. Внутри аппарата находятся четыре плоских змеевика, которые располагаются вертикально. Змеевики соединены между собой последовательно. Высота змеевика 0,22 м, шаг - 0,045 м, расстояние между осями змеевика – 0,008 м. Установка изготовлена из стали марки X18H10T. Размеры образцов фильтр-материала, на которых проводилось исследование, в четыре раза меньше промышленных фильтрующих элементов и составляют $0,22 \times 0,22 \times 0,15 \text{ м}^3$. Образцы предварительно отмываются, обрабатываются и располагаются между элементами змеевиков в количестве трех штук.

Дно аппарата изготовлено с уклоном в девять градусов к центру аппарата, что облегчает слив сконденсированного растворителя в сливное отверстие. В верхней части аппарат имеет крышку, в которой расположено отверстие для продувки системы парами растворителя. Конденсатор 5 кожухозмеевикового типа расположен под основной камерой и соединен с ней сливным патрубком. Конденсатор охлаждается сетевой водой с температурой не выше 290^0K .

Последовательно с конденсатором установлена мерная емкость 6, которая позволяет измерять количество ацетона, выделяемого в процессе сушки. Измерение температуры осуществляется медь - константановыми термопарами 11, введенными в аппарат через проходные контакты и соединенными через переключатель 7 с потенциометром Р-330 В 8. Изменение температуры производится на входе и выходе теплоносителя в средней части, а также на поверхности и внутренней части фильтр-полотен. В качестве теплоносителя в нагревающем змеевике используется десятипроцентный раствор NaCl, температура которого задается термостатом И-610. Точность регулирования температуры теплоносителя поддерживается до 0,5 К.

Эксперименты по исследованию процесса кондуктивной сушки фильтр-полотен проводились по следующей методике:

Отмытые фильтр-полотна 2 располагались между змеевиками 3. При закрытом трехходовом вентиле 4 аппарат 1 заполнялся растворителем до полного затопления фильтров. После выдержки в течение 10 минут растворитель сливался через трехходовой кран. Одновременно со сливом производилась продувка конденсатора 5 и мерной емкости 6 парами растворителя. После прекращения слива свободной жидкости в терmostate 10 устанавливалась требуемая температура теплоносителя, которая должна соответствовать температуре поверхности змеевика и его средней части. Температуру необходимо изменять в пределах от 353 до 373 К с шагом 10 К.

После проведения указанных операций открывается вентиль 4 и происходит испарение растворителя. Испаряющийся растворитель частично конденсируются на поверхности стенок аппарата, однако большая

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

часть паров направляется в конденсатор 5, где он полностью конденсируется и сливается в мерную колбу 6. При заданном температурном режиме работы установки через определенные промежутки времени (300 с) измеряют температуру в указанных точках и уровень жидкости в мерной колбе 6.

На созданном экспериментальном стенде изучено влияние тепло-технологических параметров на протекание процесса сушки регенерированных фильтр-полотен в исследуемом аппарате.

Основана схема безотходной технологии сушки фильтр-полотен, и осуществлено моделирование процесса абсорбции в трехфазном псевдоожженном слое, обеспечивающее высокое качество конечной продукции, минимальные затраты энергетических и сырьевых ресурсов, а также вспомогательных материалов, максимальное использование вторичных энергоресурсов и снижение выбросов в окружающую среду растворителя-ацетона и ДАЦ.

Таблица 1
Результаты экспериментальных исследований процесса сушки ОФП при различных температурах греющей поверхности

343 К			353 К			363 к			373 к			383 к		
№	u	τ	№	u	τ	№	u	τ	№	u	τ	№	u	τ
1	4,0	13	1	4,0	8	1	4,0	6	1	4,0	7	1	4,0	6
2	3,8	17	2	3,0	22	2	3,0	19	2	3,0	15	2	3,4	10
3	3,0	25	3	2,0	38	3	2,8	20	3	2,4	20	3	3,0	13
4	2,5	30	4	1,6	45	4	2,0	29	4	2,0	25	4	2,0	21
5	2,0	38	5	1,0	55	5	1,3	40	5	1,1	40	5	1,7	25
6	1,6	45	6	0,8	60	6	0,8	60	6	1,0	42	6	1,0	38
7	1,0	60	7	0,3	80	7	0,3	80	7	0,5	60	7	0,7	45
8	0,3	93	8	0	102	8	0	100	8	0	95	8	0,3	72
9	0,1	110									9	0		78
10	0	120												

Таблица 2
Результаты экспериментальных исследований процесса сушки картона, при различных температурах греющей поверхности

353 К			363 К			373 К			383 К		
№	u	τ	№	u	τ	№	U	τ	№	U	τ
1	2,4	0	1	2,4	0	1	2,4	11	1	2,4	10
2	2,0	40	2	2,0	40	2	2,0	20	2	2,0	15
3	1,5	70	3	1,5	50	3	1,5	40	3	1,5	30
4	1,0	100	4	1,0	80	4	1,0	70	4	1,0	50
5	0,5	150	5	0,5	120	5	0,5	80	5	0,5	70
6	0	240	6	0	220	6	0	130	6	0	110

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований процесса сушки целлюлозы, при различных температурах греющей поверхности

353 К			363 К			373 К			383 К		
№	u	τ	№	u	τ	№	u	τ	№	u	τ
1	2,4	10	1	2,4	0,8	1	2,4	0	1	2,4	0
2	2,0	80	2	2,0	60	2	2,0	40	2	2,0	40
3	1,5	170	3	1,5	110	3	1,5	70	3	1,5	50
4	1,0	230	4	1,0	170	4	1,0	100	4	1,0	80
5	0,5	350	5	0,5	230	5	0,5	150	5	0,5	120
6	0	550	6	0	390	6	0	240	6	0	220

Обоснована схема безотходной технологии сушки фильтр-полотен, и осуществлено моделирование процесса абсорбции в трехфазном псевдоожиженном слое, обеспечивающее высокое качество конечной продукции, минимальные затраты энергетических и сырьевых ресурсов, а также вспомогательных материалов, максимальное использование вторичных энергоресурсов и снижение выбросов в окружающую среду растворителя-ацетона и ДАЦ.

Научные и практические результаты работы приняты к внедрению в ОАО «Farg'onaazot» и используются при подготовке технического задания на проектирование сушильных установок для фильтр-полотен из целлюлозных материалов цеха регенерации ацетона. Использование и реализация схем безотходной технологии исключает энергоемкие процессы адсорбции, десорбции и сушки активированного угля при регенерации фильтр-полотна. А применение абсорбции с трехфазным псевдоожиженным слоем в производстве химических волокон позволит сэкономить тепловую энергию до 20-25 %, растворителя до 30 %, диацетата целлюлозы до 30 % и сохранить экологию, предотвращая выброс их в окружающую среду. Принята к внедрению МЧЖ «Узрубероид» и ГУП «ТНИИХТ» с ожидаемой экономией тепловой энергии на 10-15%. Результаты исследований внедрены в Ташкентской Бумажной фабрике с экономическим эффектом 11,0 млн.сум.

Литература

1. Мухиддинова Я.Д. Разработка схем безотходной технологии сушки регенерированных целлюлозных материалов / Международная научно - практическая конференция «Инновация- 2010», Ташкент, 2010. -С.119-120.

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

2. Бабаходжаев Р.П., Мухиддина Я.Д. Исследования кинетики и оптимизация параметров процесса сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов // «Вестник ТашГТУ» - Ташкент, 2010- №4. - С. 64-70.
3. Ключников А.Д. Энергосберегающая политика и энергетика технологии. // Изв.вузов. М.: Энергетика, 1984, №6,- С.56-62.
4. Якубов С.И., Мухиддинов Д.Н., Юнусов Б.Х. Исследование температурных полей вихревой камеры сушилки для дисперсных материалов. //Химическая промышленность. –М.: 2003, №12. -С. 48-51.
5. Канарский А.В. Оценка задерживающей способности фильтрующе-сорбирующих видов бумаги и картона. Бумажная промышленность. - М., 1991. №5.
6. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Книга вторая. –М.: Химия, 1981.
7. Мухиддинов Д.Н., Лужанский Д.М., Алишев А.Г., Бабоходжаев Р.П. Разработка и исследование малоотходных теплотехнологических процессов в производстве диацетатного волокна. –В кн.: Проблемы энергетики теплотехнологии. -М., 1983, -С.7-8.
8. Перепелкин К.Е. Структура и свойство волокон. –М: Химия. 1985. -208 с.
9. Генис А.В., Усов В.В., Идиатулов Р.К.. Многослойный сорбционно-фильтрующий материал. Патент РФ на изобретение № 2317132. Зарегистрирован 20.02.2008, опубликован Бюл. № 5, 20.02.2008.
10. Калабин А.Л., Керинцкий А.В., Пакшвер Э.А. Программная система для моделирования физико-химических процессов формирования химических волокон и ее практическое применение. //Техн.хим.вол., 2008,- №4.
- 11.Мухиддина Я.Д. Сушка отработанных фильтр-полотен в производстве искусственных волокон. //Журнал ТЕХНИКА. –Ош, 2008. - №3. –С. 88-89.
12. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Книга первая. –М.: Химия, 1981.
13. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. -Л.: Химия, 1977. -592 с.
14. Болдырев Ю.Н., Зорин А.А., Попов В.В. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов целлюлозно-бумажного, лесохимического и гидролизного производств. -М.:Лесн. пром-сть, , 1973.-342 с.
15. Мухиддинов Д.Н., Лужанский Д.М. Безотходная технология переработки растворов полимеров. –Т.: Мехнат, 1989.-98 с.
16. Бабаходжаев Р.П., Мухиддина Я.Д. Исследования кинетики и оптимизация параметров процесса сушки регенерированных фильтр-полотен из целлюлозных материалов// Вестник ТашГТУ - 2010,- №4. - С. 64-70.

17. Охрана окружающей среды и ее социально-экономическая эффективность. /Отв.ред. Хачатуров Т.С.. –М.:Наука, 1977. -236 с.
18. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. –М.: Экономика, 1986. -156 с.
19. Мухиддинова Я.Д. Разработка схем безотходной технологии сушки регенерированных целлюлозных материалов: / Международная научно - практическая конференция: «Инновация- 2010». –Ташкент, 2010.- С. 119-120.
20. Барноев З., Мухиддинова Я.Д. К вопросу о регенерации отработанных фильтр-полотен. /Научно-практическая конференция одаренных студентов на тему «Молодежь в развитии науки и техники» Сб.тезисов конф. «Энергетика, энергосбережение, механика и машиностроение», 1-ч. -Ташкент, 2004. -С. 114-116.
21. Мухиддинова Я.Д., Якубов С.И. Экспериментальная сушильная установка для сушки регенерированных фильтр-полотен»: // TEXNIKA YULDUZLARI. –Ташкент, 2004, -№2. -С. 66-68.
22. <http://www.khimvol.ru>

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА
ПОДЗЕМНОГО ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩА С ГРУНТОВЫМ
АККУМУЛЯТОРОМ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА**

Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев

Уибү шининг мақсади, табиий совуқлик аккумуляторли ер ости мева-сабзавот сақлаши омборининг иссиқлик балансини математик моделини ишлаб чиқши ва ҳарорат режимининг вентиляция орқали бериладиган совуқ ҳаво сарфига боғлиқлигини назарий тадқиқот қилишидан иборат. Ишда табиий совуқлик ёрдамида ер ости омборларини совутиши тизими таклиф қилинган бўлиб, йилнинг совуқ даврларида буг компрессорли совутиши тизимида электр энергияни тежсан имконини беради. Табиий совуқлик аккумуляторли ер ости сабзавот омборида иссиқлик алмашинувини ҳисоб схемаси асосида, ностационар ҳарорат режимида табиий совуқлик тупроқ аккумуляторли ер ости мева ва сабзавот сақлаши омборини иссиқлик балансининг математик модели ишлаб чиқилган ва ҳисоблаши амалга оширилган. Ер ости мева - сабзавот омбори иссиқлик режимининг таклиф этилган математик модели ер ости совутиши камерасида оптимал ҳарорат режимини таъминлашучун зарур табиий совуқлик миқдорини аниқлаши ва актив вентиляция тизимининг энергия тежсамкор иш режимини яратиш имконини беради. Ер ости мева-сабзавот сақлаши омборининг иссиқлик балансини моделлаштириши натижалари шуни кўрсатадики, 216 м³ ҳажмли ер ости омбори учун 10-14 кВт қувватга эга табиий совуқлик (30 тонна олмани сақлаши учун) талаб этилади.

Целью настоящей работы является разработка математической модели теплового баланса подземного плодоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода и теоретически исследовать его температурный режим, в зависимости расхода приточного вентиляционного воздуха. В работе предложена система охлаждения подземной холодильной камеры с использованием естественного холода, которая позволяет в холодные периоды года экономить электрическую энергию при работе парокомпрессионных холодильных установок. На основе расчетной схемы теплообмена в подземном хранилище с грунтовым аккумулятором естественного холода разработана и численно реализована математическая модель теплового баланса подземного плодоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода при нестационарном температурном режиме. Предложенная математическая модель теплового режима подземного плодоовощехранилища позволяет

определить требуемый расход естественного холода для обеспечения оптимального температурного режима в подземной холодильной камере и создать энергосберегающий режим работы системы активной вентиляции. На основе моделирования теплового баланса подземного плодоовощехранилища установлено, что хранилища с объемом 216 м³ (для хранения 30 тонн яблок зимних сортов) требует естественный холода мощностью 10 -14 кВт.

The purpose of this work is to develop a mathematical model of the thermal balance of an underground fruit and vegetable storage facility with a ground accumulator of natural cold and theoretically investigate the temperature regime depending on the flow of supply ventilation air. The paper proposes a cooling system for an underground refrigerating chamber using natural cold, which allows saving electrical energy during the operation of steam compression refrigerating units in cold periods of the year. Based on the calculated scheme of heat exchange in an underground storage with a ground accumulator of natural cold, a mathematical model of the heat balance of an underground fruit and vegetable storage with a ground accumulator of natural cold under a non-stationary temperature regime has been developed and numerically implemented. The proposed mathematical model of the thermal regime of an underground fruit and vegetable storehouse allows us to determine the required consumption of natural cold to ensure an optimal temperature regime in an underground refrigerating chamber and to create an energy-saving mode of operation of active ventilation systems. Modeling of the thermal balance of an underground fruit and vegetable storage facility has been established that for an underground storage facility with a volume of 216 m³, natural cold with a capacity of 10-14 kW is required to store 30 toni apples of winter varieties.

Введение. В настоящее время все более актуальным становится использование естественного холода для экономии энергетических затрат в системах холоснабжения овощехранилищ и сбережения ресурсов холодильных установок. Использование естественного (природного) холода для разных целей (вентиляция холодильных камер, использование для систем кондиционирования воздуха помещений) позволяют достичь немалой экономии традиционных энергоресурсов. Эффективность работы и экономия топливно-энергетических ресурсов в подземных овощехранилищах достигается лишь тогда, когда соблюдаются все требования по энергосбережению при работе систем аккумулирования естественного холода с учетом природного-климатических факторов местности [1,2,3].

Используемые для холоснабжения парокомпрессионные холодильные машины имеют относительно невысокий холодильный коэффициент, который при получении температуры хладоносителя на уровне

+5...+10 0C, при температуре окружающей среды 20...30 0C не превышает 2,5...3,5, что означает на 1 кВт затраченной электрической мощности на привод компрессора холодильной машины можно получить лишь 2,5...3,5 кВт холодильной мощности [4,5,6,7]. Поэтому применение низкопотенциального естественного холода является альтернативной фреонным системам охлаждения.

Естественный холод является одним из важнейших возобновляемых источников энергии. Естественный холод является также одним из главных и экологически чистых средств, обеспечивающих сохранность сельскохозяйственной и плодоовощной продукции непосредственно в местах её производства. Научно-обоснованное и эффективное использование естественного холода в плодоовощных холодильных камерах позволяет уменьшить мощность холодильной установки на 30-40 % [8,9].

Однако вопросы эффективного использования естественного холода для охлаждения плодоовощехранилищ южного региона республики требует проведения специальных научных исследований с учетом энергетического потенциала природного холода местности.

В данной работе для подземных плодоовощехранилищ (ПХ) предлагается применение системы охлаждения с грунтовым аккумулятором естественного холода (ГАЕХ).

С целью обеспечения требуемого температурного режима исследован тепловой баланс подземного плодоовощехранилища. с ГАЕХ. Тепловой баланс плодоовощехранилищ зависит от температуры наружного воздуха и теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Основное влияние на тепловой баланс подземных плодоовощехранилищ и внешних теплопритоков оказывает температура и расход холодного приточного воздуха, а также температура грунтового массива.

Для природно-климатических условий юга республики средняя температура наружного воздуха изменяется в пределах от 25 до 45 0C в теплый период года и от 0 до -15 0C в холодный. Грунтовой массив вокруг подземного плодоовощехранилища находится в более стабильном температурном режиме, когда температура грунтового массива по измеренным данным составляет $t_p=+7\div+10$ 0C [10,11,12].

В подземных плодоовощехранилищах с ГАЕХ, оптимальный температурный режим поддерживается подачей приточного холодного воздуха через систему активной вентиляции. Однако увеличение расхода приточного воздуха, через систему вентиляции сопровождается увеличением затрат электроэнергии на вентиляторах.

Целью данной работы является разработка математической модели теплового баланса подземного плодоовощехранилища и установление температурного режима в зависимости от расхода холода в ГАЕХ.

Методы и материалы. С целью исследования температурного режима подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ в зависимости от рас-

хода и температуры приточного холодного воздуха разработана математическая модель теплового режима ПХ, позволяющая определить количество требуемого естественного холода для обеспечения энергосберегающего температурного режима в подземной холодильной камере и проанализировать режим работы системы активной вентиляции с ГАЕХ.

Расчетная схема теплового баланса ПХ с ГАЕХ представлена на рис.1.

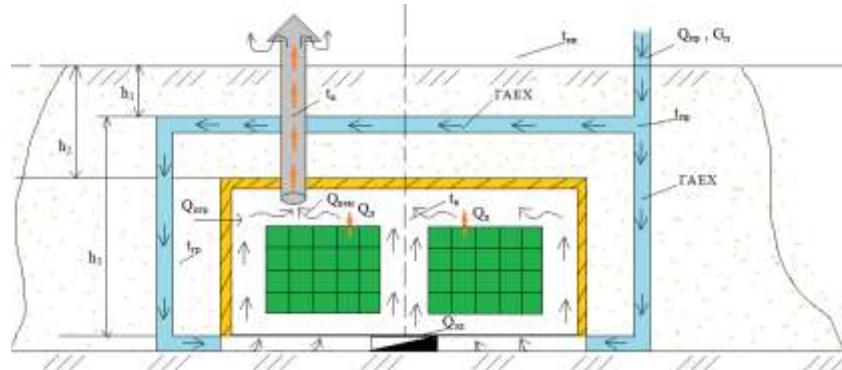


Рис.1. Расчетная схема теплового баланса ПХ с ГАЕХ

Составим уравнение теплового баланса подземной холодильной камеры при активном вентилировании холодным природным воздухом в следующем дифференциальном виде:

$$\rho \cdot V_e \cdot c_{pe} \cdot \frac{dt_e(\tau)}{d\tau} = Q_x + Q_{ven} - Q_{ogr} - Q_{ed} - Q_d; \quad (1)$$

где Q_x – количество естественного холода (энергии) вносимого приточным воздухом, Вт, Q_{ven} – теплота, удаляемая через вытяжную вентиляцию, Вт, Q_{ogr} – теплоприток через ограждения ПХ, Вт, Q_{ed} – теплоприток при работе электродвигателей, Вт, Q_d – теплота дыхания продуктов, Вт.

Количество естественного холода, вносимого с приточным воздухом определяется по формуле [13,14]:

$$Q_x = G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} (t_{np} - t_B). \quad (2)$$

Теплота, удаляемая через вытяжной вентиляции [13,14,15]:

$$Q_{ven} = G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} (t_n - t_e). \quad (3)$$

Теплоприток через ограждения ПХ согласно расчетной схеме можно определить по формуле [13,14,15]:

$$Q_{ogr} = K \cdot F_{ogr} (t_e - t_{ep}). \quad (4)$$

Теплоту, выделяемую при работе электродвигателей в хранилище можно учесть по выражению [16,17,18]:

$$Q_{\mathcal{D}} = N_{\mathcal{D}} \cdot n. \quad (5)$$

Теплота дыхания продуктов (в нашем случае яблоки зимних сортов) определяется по формуле Гора [17,18,19,20]:

$$Q_{\mathcal{D}} = q_0 \cdot e^{bt}. \quad (6)$$

С учетом вышеприведенных формул получено следующее:

$$\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe} \cdot \frac{dt_e(\tau)}{d\tau} = G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot (t_{np} - t_e(\tau)) + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot (t_n - t_e(\tau)) - k \cdot F_{oep} \cdot (t_e(\tau) - t_{ep}) - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}} \quad (7)$$

Разделив переменные, получим дифференциальное линейное уравнение первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dt_e(\tau)}{d\tau} + \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \cdot t_e(\tau) = \\ = \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{oep} \cdot t_{ep} - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для решения дифференциального уравнения приведем следующие обозначения:

$$y = e^{- \int p(x) dx} \cdot \left[C + \int q(x) \cdot e^{\int p(x) dx} dx \right]. \quad (9)$$

$$p(x) = \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}}. \quad (10)$$

$$q(x) = \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{oep} \cdot t_{ep} - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}}. \quad (11)$$

$$\int p(x) dx = \int \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} d\tau = \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau. \quad (12)$$

Тогда получим следующее уравнение:

$$t_e(\tau) = e^{\frac{-G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau} \cdot C + \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{oep} \cdot t_{ep} - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}}}{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}}. \quad (13)$$

Составим начальные условия и найдём постоянную C:

$$\begin{aligned} \tau = 0, t_e(\tau) = t_e(0), \\ C = t_e(0) - \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + K \cdot F_{oep} \cdot t_{ep} - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}}}{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + K \cdot F_{oep}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Далее с учетом значения постоянной интегрирования, получим:

$$\begin{aligned} t_e(\tau) = t_e(0) \cdot e^{\frac{-G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau} + \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{oep} \cdot t_{ep} - N_{\mathcal{D}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{bt_{np}}}{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{oep}} \cdot \\ \cdot \left(1 - e^{\frac{-G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} - k \cdot F_{oep}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau} \right); \end{aligned} \quad (15)$$

или

$$t_e(t) = \frac{t_{np}(0) - \frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_{np} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot t_n + k \cdot F_{opr} \cdot t_{op} - N_{\text{ЭД}} \cdot n - q_0 \cdot m_n \cdot e^{b \cdot t_{np}}}{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{opr}} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{opr}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau\right) \right]}{\exp\left(\frac{G_{np} \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + G_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} + k \cdot F_{opr}}{\rho_e \cdot V_e \cdot c_{pe}} \tau\right)} \quad (16)$$

Таким образом, полученное уравнение (16) является общим решением уравнения теплового баланса ПХ с ГАЕХ. Для решения уравнения (16) в работе приняты следующие исходные данные (табл.1).

Таблица 1

Исходные данные для расчета теплого баланса ПХ с ГАЕХ

№	Параметры	Обозначение	Единица измерения	Значение
1.	Температура приточного холодного воздуха	t_{np}	$^{\circ}\text{C}$	0
2.	Начальная температура воздуха в хранилище	$t_e(0)$	$^{\circ}\text{C}$	20
3.	Температура грунтового массива	t_{op}	$^{\circ}\text{C}$	7-10
4.	Теплоемкость воздуха	c_{pe}	$\text{Ж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$	1005
5.	Коэффициент теплопередачи ограждения	k	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	0,3-0,4
6.	Плотность воздуха	ρ_e	м^3	1,29
7.	Объем холодильной камеры (вместимость 30 т)	V_e (6x12x3 м)	м^3	216
8.	Расход приточного холодного воздуха	G_{np}	$\text{м}^3 / \text{с}$	0,05-0,5
9.	Расход воздуха через вытяжной канал вентиляции	G_e	$\text{м}^3 / \text{с}$	0,05
10.	Теплоприток при работе электродвигателей	$N_{\text{ЭД}}$	Вт	1100
11.	Наружная температура	t_n	$^{\circ}\text{C}$	0
12.	Поверхность ограждения	F_{opr}	м^2	252
13.	Теплота дыхания продуктов	Q_d	Вт	300

Результаты и обсуждение. На основе математического описания теплового баланса ПХ с ГАЕХ и согласно расчетной схеме проведено расчетное исследование с применением пакета программы MATLAB/SIMULINK (рис.2).

Результаты расчетных исследований представлены на рис. 2. и рис.3.

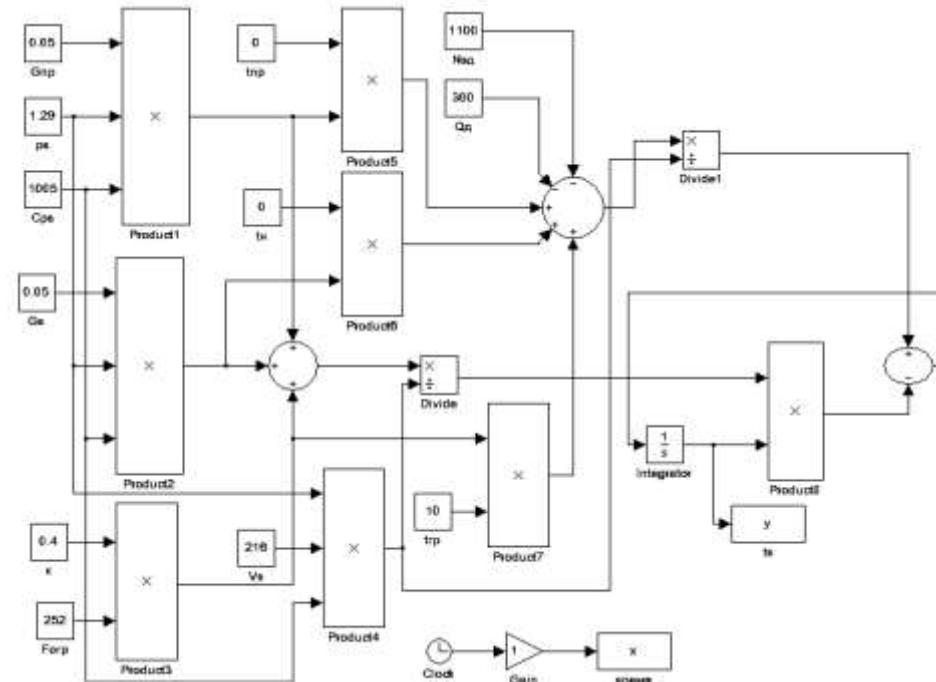


Рис.2. Блок-схема математической модели в программной среде MATLAB/SIMULINK

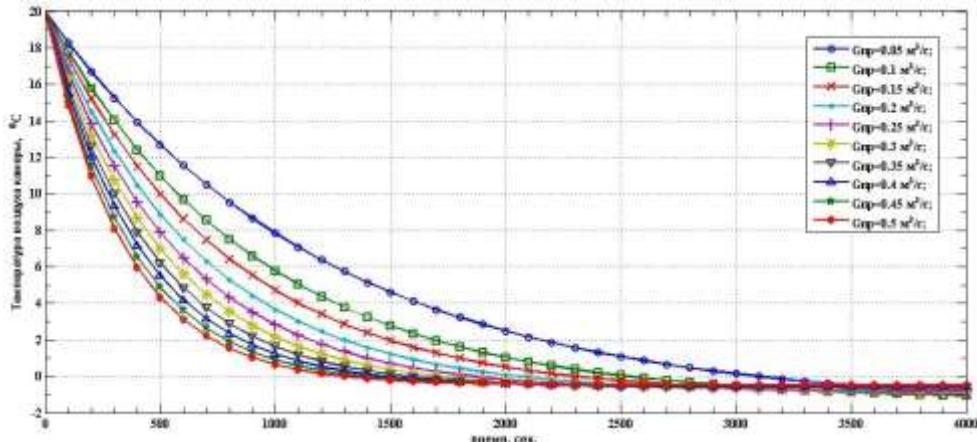


Рис.3. График изменения температуры внутреннего воздуха подземной холодильной камеры с ГАЕХ в зависимости от расхода приточного холодного воздуха

Анализ проведенных теоретических исследований показывает, что температура воздуха в ПХ при вентилировании приточным холодным воздухом с температурой $t_{np}=0^{\circ}\text{C}$ медленно снижается от начальной $t_b=20^{\circ}\text{C}$ до $+1^{\circ}\text{C}$ (до требуемой температуры хранения яблок зимних сортов) при расходе охлаждающего воздуха $G_{np}=0,05 \text{ м}^3/\text{сек.}$ При этом про-

должительность охлаждения составляет около 3000 сек (50 минут). С повышением подачи (расхода) охлаждающего воздуха от $G_{\text{пр}}=0,05$ до $G_{\text{пр}}=0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ продолжительность охлаждения сокращается в 3 раза, т.е. составляет около 1000 сек.

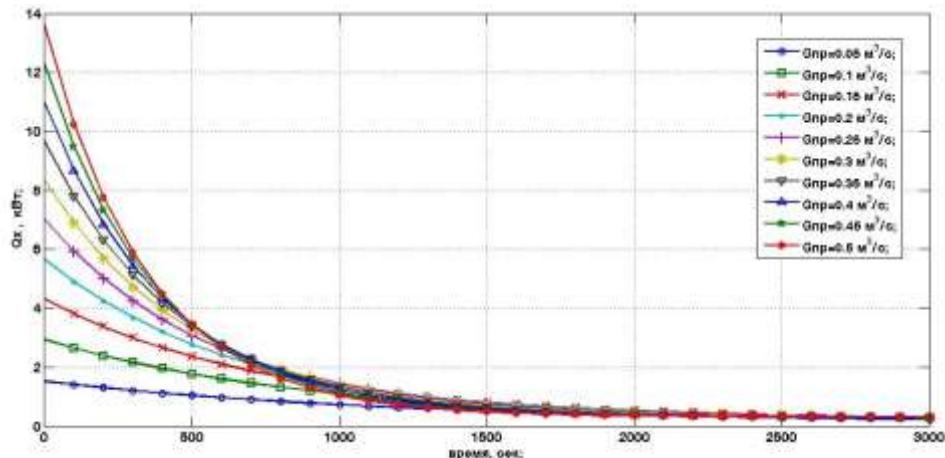


Рис.4. График изменения мощности естественного холода(энергия) в зависимости от расхода приточного холодного воздуха и времени

Установлено, что для поддержания требуемого температурного режима внутри ПХ с объемом 216 м^3 (для хранения 30 тонн яблок) необходим естественный холод мощностью 10 - 14 кВт.

Заключение. Таким образом, на основе полученных результатов моделирования теплового баланса ПХ с ГАЕХ можно сделать следующие выводы:

- разработана математическая модель теплового баланса подземного хранилища с ГАЕХ, которая позволяет определить изменения температуры внутреннего воздуха в зависимости от расхода приточного холодного воздуха и от времени охлаждения с учетом нестационарного режима работы и условиями теплообмена грунтового массива и воздухом камеры;
- предложенная математическая модель и результаты расчетов позволяют управлять температурным режимом ПХ, в зависимости от расхода приточного воздуха;
- полученные результаты исследования позволяют сократить затраты энергии на охлаждения ПОП в подземном хранилище за счет эффективного использования естественного холода приточного воздуха и сокращения работы парокомпрессионных холодильных установок.

Литература

1. Узаков Г.Н. Способы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовоощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии. /Автореф.дисс.д.т.н. – Ташкент: 2016.- 82 с.
2. Современные технологии хранения и переработки плодоощной продукции: научн. аналит. обзор. -М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009.- 172 с.
3. Колошенин Д.В. Снижение потерь картофеля и энергопотребления системы вентиляции картофелехранилища совершенствованием воздуховода. /Дисс.. на соис. к.т.н.. Рязань, 2017. -132с.
4. Серенов И.И. Моделирование процесса замораживания при создании различных форм хладоемкой массы водного льда с использованием низкотемпературного потенциала окружающей среды. /Дисс.к.т.н. – Москва: 2016. - 101 с.
5. Попель О.С., Фрид С.Е., Тарасенко А.Б., Чернявский А.А. Анализ эффективности практического использования систем сезонного аккумулирования природного холода.// Вестник Дагестанского центра, №49. 2013. - С. 19-26.
6. Лавров В.А. Электротехническая система охлаждения молока на фермах с использованием природного холода. /Автореф. дис. кан.техн. наук. - М.: 2006. -38 с.
7. Хамие Х.Н. Разработка и исследование холодильной машины с аккумулятором холода. /Автореф. дис. кан.техн .наук. - Л.: 2006. -39 с
8. Коршунов Б.П, Коршунов А.Б. Аккумуляция холода-резерв повышения энергоэффективности охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции //Вестник ВИЭСХ. 2018.-№1(30).- с.38-44.
9. Жихарева Н.В., Хмельнюк М.Г. Повышение эффективности системы охлаждения плодоовоощехранилищ //Вестник Международной академии холода. №4. 2013. - С.16-20.
10. Узаков Г.Н. Математическая модель тепло- и массообмена в холодильной камере при использовании естественного холодного воздуха//Вестник РАСХН.-Москва. 2012.-№4.-С.9-12.
11. Тонкошкур А.Г. Моделирование процесса кондуктивного теплопереноса в грунтовом воздухохладителе //Математическое моделирование, 2018. Том 30.-№1.- С.103-116.
12. Брем В.К. Разработка теоретических основ расчета и проектирования систем обеспечения параметров воздушной среды в овощехранилище с использованием естественного источника холода наружного воздуха в грунтовых аккумуляторах. /Автреф. дисс на соис. к.т.н. -Санкт-Петербург, 1998 -19 с.

13. Узаков Г.Н. Научные основы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовоощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии. – Т: Фан, 2012. – 214 с.
14. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 1977. - 344 с.
15. Юдаев Б. Н. Теплопередача. - М.: Высшая школа, 1981. - 320 с.
16. Жадан В.З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. -М.: Пищевая промышленность, 1976. -189 с.
17. Бодров В.И., Бодров М.В. Тепломассообмен в биологически активных системах теория сушки и хранения. -Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013.-144 с.
18. Волкинд И.Д. Комплексы для хранения картофеля, овощей и фруктов. -М.: Колос, 1981. -224 с.
19. Волкинд И.Д. Промышленная технология хранения картофеля, овощей и плодов. -М.: Агропромиздат. 1989. -240 с.
20. Волков М.А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность. -М.: Колос, 1981.-224 с.

*Представлен Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

**ҚУЁШ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛИ ТАЖРИБА
ҚИШЛОҚ УЙИННИГ ИССИҚЛИК БАЛАНСИНИ ТАДҚИҚОТ
ҚИЛИШ**

С.И. Хамраев, С.М. Хужақулов, Б.И. Камолов

Аҳоли яшии биноларининг иссиқлик таъминоти тизимида энергия ҳамда ресурслар сарфини камайтириш, энергия тежсайдиган технологиялар ва қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишини кенгайтириши долзарб масала ҳисобланади. Ишининг мақсади қайта тикланадиган энергия манбалари асосидаги бир қаватли қишилоқ уйларининг комбинациялашган иссиқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқши ва иссиқлик балансини тадқиқот қилишидан иборат. Бир қаватли экспериментал қуёши уйи яратилган бўлиб, уйнинг анъанавий ва қуёши коллекторли иситиш тизими, яssi қуёши коллекторли ва элекстр сув қиздиргичли комбинациялашган иссиқ сув таъминоти ишлаб чиқилган. Қарши шаҳри иқлим шароитида қуёши нурланиши интенсивлигини ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда уйнинг иссиқлик балансини ҳисоблаш методикаси келтирилган. Тадқиқот обьектининг Қарши шаҳри шароити учун иссиқлик режимлари ва иссиқлик балансининг математик модели ишлаб чиқилган ва MATLAB/SIMULINK дастуридан фойдаланиб ҳисоб натижалари олинган. Қарши шаҳри иқлим шароитида ташқи ҳаво ҳароратининг -10 , -6 , 0°C ҳолатлари учун натижалар олинган.

Снижение затрат энергии и расхода ресурсов в системе отопления жилых домов, расширение использования энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии являются актуальными проблемами. Целью работы является разработка комбинированной системы теплоснабжения одноэтажных сельских домов на основе использования возобновляемых источников энергии и исследование их теплового баланса. Создан экспериментальный солнечный дом. Разработаны комбинированная система отопления сельского дома на основе традиционной системы и системы с солнечными коллекторами, а также комбинированная система горячего водоснабжения, состоящая из электроводонагревателя и плоского солнечного коллектора. Приведена методика расчета теплового баланса сельского солнечного дома с учетом изменения интенсивности солнечной радиации в климатических условиях города Карши. Разработана математическая модель тепловых режимов и теплового баланса сельского дома для условий Карши и получены результаты расчетов с помощью программах среды MATLAB/SIMULINK. Результаты получены для условий

температуры наружного воздуха -10, -6, 0 ° С в климатических условиях г. Карши.

Reducing energy costs and resource consumption in the heating system of residential buildings, expanding the use of energy-saving technologies and renewable energy sources is an urgent problem. The aim of the work is to develop a combined heat supply system for one-story rural houses based on the use of renewable energy sources and to study the heat balance. An experimental solar house has been created. A combined heating of a rural house based on a traditional system and a system with solar collectors, a combined hot water supply system, consisting of an electric water heater and a flat solar collector, has been developed. The method of calculating the heat balance of a rural solar house taking into account changes in the intensity of solar radiation in the climatic conditions of the city of Karshi is presented. A mathematical model of thermal regimes and heat balance of a rural house for the conditions of Karshi was developed and the results of calculations were obtained using the MATLAB / SIMULINK program. The results were obtained for the conditions of the outside air temperature -10, -6, 0 ° C in the climatic conditions of the city of Karshi.

Кириш. Ўзбекистон Республикасида табиий энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш, энергия тежамкор технологияларни иқтисодиёт тармоқларига жорий килиш, соҳа корхоналарини тубдан модернизациялаш орқали янги, замонавий технологияларни жорий этиш борасида изчил ислоҳотлар олиб борилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2017 йил 26 майдаги “2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида”ги ПҚ-3012-сонли ва 2017 йил 8 ноябрдаги “Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-3379-сонли қарорларида энергия ҳамда ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, иқтисодиёт тармоқларида энергия самарадорлигини ошириш масалалари устувор вазифалар сифатида белгилаб берилган [1,2,3].

Тахлилий маълумотлар ва илмий адабиётлар тахлили шуни кўрсатадики, Ўзбекистонда ишлаб чиқарилаётган энергиянинг 40 фоизи биноларни иситиш ва ёритишга сарфланади. Соҳа мутахассисларининг маълумотига кўра 1 м² майдонни иситиш учун Ўзбекистонда ўртacha 400

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

кВт·соат, иқлим шароити шунга мос бўлган, ривожланган давлатларда эса 170 кВт·соат энергия ишлатилади. Республикаизда минг долларлик ялпи ички маҳсулот яратиш учун ривожланган давлатларга нисбатан 2-3 баробар кўп энергия сарфланади. Шу боис яқин йилларда энергия сарфини 2-2,5 баробарга қисқартириш вазифалари белгиланган [3,4].

Аҳоли сонининг ошиб бориши ва яшаш фаровонлиги ривожланиши билан жаҳон бўйича, энергия истеъмоли йилдан йилга ошиб боради. Албатта, энергия истеъмолининг ошиб бориши янги, самарадор технологияларга асосланиши зарур ва бу ўсиш экологик талабларга жавоб бериши, анъанавий ёқилғиларни ёқмасдан, кам углеродли манбалардан фойдаланган ҳолда амалга оширилиши зарурлиги кўрсатилган. Замонавий энергетикани ривожлантириш дастурларига кўра яқин келажакда қайта тикланадиган энергия манбаларининг жаҳон энергетикасидаги улушкини 66 %га чиқариш кўзда тутилган [4,5,6,7].

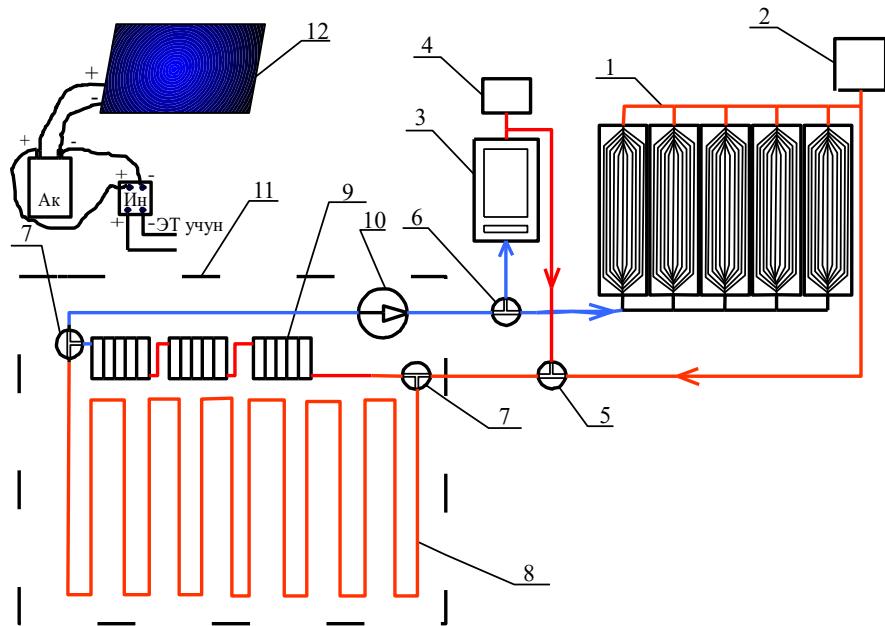
Республикаизда қишлоқ уйларида барқарор энергия таъминотини яратиш, уларнинг энергия балансида қайта тикланадиган энергия манбаларининг ҳиссасини ошириш ва иситиш тизимларида энергия сарфини камайтириш ҳам долзарб масалалар ҳисобланади.

Усуllar va маълумотлар. Бинонинг оптималь иссиқлик-техникавий параметрларини асослаш ва тадқиқот қилиш учун тажрибалар ўтказиш талаб қилинади. Қарши муҳандислик-иктисодиёт институтининг “Муқобил энергия манбалари” илмий полигонида тажриба тадқиқотларини ўтказиш учун экспериментал қуёш уйи қурилди. Экспериментал тадқиқот обьекти пишиқ гиштдан бетон пойдевор устида қурилган бир қаватли, бир хонали конструкцияга эга бўлиб, обьектнинг иссиқлик режими, иссиқ сув ва иситиш юкламалари аниқланди (1-расм) [8,9,10,11].

Бир қаватли қуёш уйининг автоном комбинациялашган иссиқлик таъминоти тизими схемаси 2-расмда келтирилди.



1-расм. Экспериментал қуёш уйининг умумий кўриниши
(Қарши шахри)



2-расм. Тажриба қуёш уйининг комбинациялашган автоном иссиқлик таъминоти схемаси: 1-қуёш коллектори; 2,4-кенгайтиргич; 3-сув қиздириш қозони; 5,6,7 – ажратгич-клапан; 8-сувли иссиқ пол; 9-иситиш батареялари; 10-насос; 11-иситиладиган уй; 12-қуёш панели (ФЭП); Ак-аккумулятор; Ин-инвертор-ўзгартиргич

Таклиф қилинган қишлоқ уйининг иссиқлик таъминоти тизимини қуёш коллекторлари 1 ва сув қиздириш қозони 3 ёрдамида амалга ошириш мумкин. Бунда қуёш коллектори иситиш мақсади учун зарур бўлган сувни 55-60 °C гача қиздириб беради. Булутли кунлар ва йилнинг совук кунларида сувни иситиш учун сув қиздириш қозонидан 3 фойдаланиш мумкин бўлади. Уйининг ички қисмида иситиш тизими икки хил услубни ўзида жамлаган. Биринчидан, иситиш поли 8 ўрнатилган бўлиб, хонанинг иситиш майдони бўйлаб иссиқликни тенг тақсимланишига хизмат қиласи, иккинчидан анъанавий равишда иситиш батареялари 9 ўрнатилган бўлиб, хонанинг ҳажмий исиши учун конвектив иссиқлик алмашинувини яхшилайди. Иситиш тизимидан қайтган сув насос 10 ёрдамида сўриб олинади ва иситиш манбаига хайдалади. Пол ёки иситиш батареяси орқали сув айланшини амалга ошириш, қуёш коллектори ёки сув қиздириш қозони орқали келаётган сув оқимини ўзгартириш учун ажратгич клапанлардан фойдаланилади 5,6,7. Насоснинг электр таъминоти қуёш фотоэлектрик панели 12

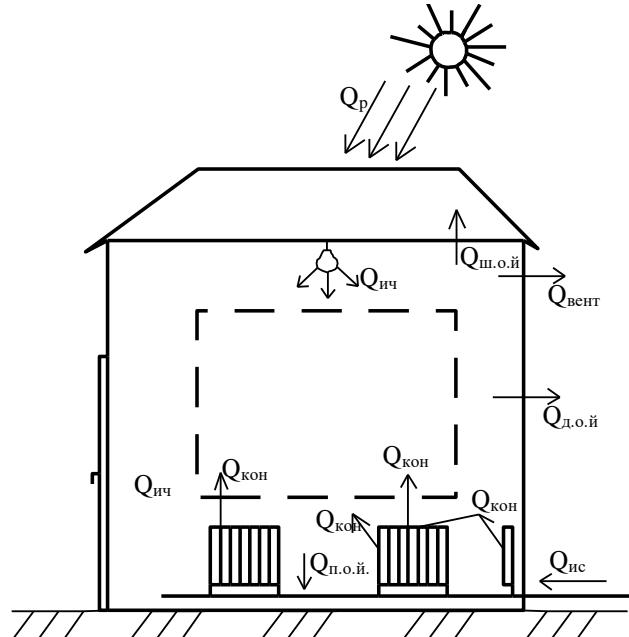
ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

аккумуляторидан Ак келадиган энергия ўзгартиргичи инверторидан Ин амалга оширилади [8,9,10,11].

Тадқиқот обьектининг иссиқлик баланси ва ҳарорат режимини тавсифловчи характеристикаларини аниқлаш масалаларини ечиш учун иссиқлик жараёнларни математик моделини тузиш ва замонавий дастурий воситалар кўлланилади.

Иссиқлик-технологик жараёнларни хисоблашда математик моделлаштириш ва имитация дастурий воситаларини қўллаш орқали ишончли натижалар олиннишида ва биноларнинг ҳарорат режимини назарий тадқиқот қилишда математик моделлаштириш методи асосий ўрин тутади [12,13,14,15].

Қуёш уйининг иссиқлик балансини математик моделлаштириш учун 3-расмда келтирилган ҳисоб схемадан иссиқлик балансини ташкил этувчилари аниқлаб олинади.



3-расм. Қуёш уйининг иссиқлик баланс схемаси: Q_p – қуёш радиацияси орқали тушадиган иссиқлик; $Q_{ис}$ – иситиш тизими орқали бериладиган иссиқлик; $Q_{кон}$ – конвекция орқали иситиш асбобларидан тарқаладиган иссиқлик; $Q_{ич}$ – ички иситгичлар орқали тарқаладиган иссиқлик; $Q_{вент}$ – вентиляция туфайли иссиқлик йўқотилиши; $Q_{д.о.й.}$ – девор орқали иссиқлик йўқотилиши; $Q_{ш.о.й}$ – шифт орқали иссиқлик йўқотилиши; $Q_{п.о.й}$ – пол орқали иссиқлик йўқотилиши; $Q_{инф}$ – инфильтрация орқали иссиқлик йўқотилиши

Бинонинг ички ҳавосининг ҳарорати бир қатор омилларга боғлиқ равища ўзгариши. Бу омилларга уйнинг девори, томи ва деразалари орқали кирадиган солиштирма иссиқлик оқимлари, вентиляция ва ҳавонинг инфильтрацияси, ички иссиқлик ажратувчилари кабилар киради. Тажриба қуёш уйининг иссиқлик балансини қуйидаги тенгламалар ифодалайди.

$$Q_{\text{кел}} = Q_{\text{сарф}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{кел}} = \rho V \frac{dt_i}{dt} \quad (2)$$

$$Q_{\text{сарф}} = Q_{\text{кон}} + Q_{\text{ич}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{девор}} + Q_{\text{и.м}} \quad (3)$$

$$cm \frac{dt_u}{dt} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{ис}} - Q_{\text{вен}} - Q_{\text{дев}} - Q_{\text{шом}} - Q_{\text{п.о.и}} \quad (4)$$

Иссиқлик юқотилишларни ҳисоблаш учун ташқи ва ички ҳаво ҳароратлари, иссиқлик узатиш коэффициенти, фойдаланилган материал турига ва унинг қалинлигига боғлиқ равища иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти танланган ёки аниқланган бўлиши шарт. Фойдаланилётган тадқиқот обьектининг иссиқлик – техникавий параметрларига кўра обьект девори учун асосий қурилиш материали сифатида ғиштдан фойдаланилган ($\delta=0,38$ м, $\lambda=0,56$ Вт/м·°C), ташқи томондан қум ва цемент аралашмасидан бетон шувоқ қилинган ($\delta=0,05$ м, $\lambda=0,93$ Вт/м·°C), ички томондан эса гипсли аралашма билан қопланган ($\delta=0,015$ м, $\lambda=0,29$ Вт/м·°C), ички ҳавонинг ҳарорати + 18-20 °C бўлганда иссиқликни бериш коэффициенти 29,1 Вт/(м²·°C), ташқи ҳавонинг ҳарорати -5 - 0 °C оралиғида бўлганда иссиқлик бериш коэффициенти 11,6 Вт/(м²·°C) га тенг деб олинди [24,25].

Қуёш уйининг ички атмосферасида конвектив иссиқлик тарқалишини аниқлаймиз:

$$Q_{\text{кон}} = \sum_i S \cdot \alpha_d \cdot (t_u - t_r); \quad (5)$$

бу ерда $S=66-24$ – умумий юзадан пол ва шимолий томон девор юзалари олиб ташланади.

Тадқиқот обьектининг девор конструкцияси ташкил этувчиларини қалинлиги ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларини ҳисобга олиб термик қаршиликтини аниқлаймиз:

$$R_d = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_{\text{бетон}}}{\lambda_{\text{бетон}}} + \frac{\delta_{\text{гипс}}}{\lambda_{\text{гипс}}} + \frac{\delta_{\text{гипс}}}{\lambda_{\text{гипс}}}; \quad (6)$$

Икки қаватли 4 мм қалинликдаги ойнадан фойдаланилган ташқи дераза орқали иссиқлик узатилишининг термик қаршилиги $R_{\text{ой}} = 0,345$ (м²·°C)/Вт бўлганда обьектнинг ташқи девор конструкциялари орқали иссиқлик юқотилиши қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q_{\text{дев}} = \frac{\Delta T}{\Sigma R} = k \cdot F_d \cdot (t_u - t_r) + k \cdot F_{\text{ой}} \cdot (t_u - t_r); \quad (7)$$

Биноларнинг қурилиш архитектурасига кўра уларнинг бир томони доимий шимол томонига қаратилган бўлади. Шу сабабли, иссиқлик истрофларини ҳисоблашда шимол томон деворлари учун 10 %, ташқи ҳаво

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

оқими ювиб турғанлиги сабабли умумий ташқи юзалар учун яна 5 % қўшиб хисобланади [16,17,18,19]:

$$Q_k = Q_{\text{дев}} \cdot 0,05 + (Q_{\text{дев}}/4) \cdot 0,1; \quad (8)$$

$$Q_{\text{д.о.й}} = Q_{\text{дев}} + Q_k \quad (9)$$

Бетон плита билан ёпилган ($\delta=0,2$ м, $\lambda=1,69$ Вт/м·°C) ва ДСП қопламали ($\delta=0,01$ м, $\lambda=0,15$ Вт/м·°C) том қисми орқали иссиқлик исрофини аниқлаймиз:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_{\text{бетон}}}{\lambda_{\text{бетон}}} + \frac{\delta_{\text{ДСП}}}{\lambda_{\text{ДСП}}}; \quad (10)$$

$$Q_{\text{ш.о.й}} = \frac{1}{R_T} \cdot F_T \cdot (t_u - t_T); \quad (11)$$

Иссиқликни сақловчи материал билан изоляцияланган ($\delta=0,004$ м, $\lambda=0,33$ Вт/м·°C) ва ДСП қопламали ($\delta=0,01$ м, $\lambda=0,15$ Вт/м·°C) пол қисми орқали иссиқлик юқотилишини аниқлаймиз:

$$R_n = 2,15 + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{\delta_{\text{ДСП}}}{\lambda_{\text{ДСП}}}; \quad (12)$$

$$Q_{\text{п.о.й}} = \frac{1}{R_n} \cdot F_n \cdot (t_u - t_T). \quad (13)$$

Бинонинг девор конструкцияси, шифти ва пол қисмлари орқали иссиқлик юқотилиши инфильтрация туфайли иссиқлик исрофи хисобланади, яъни:

$$Q_{\text{инф}} = Q_{\text{д.о.й}} + Q_{\text{ш.о.й}} + Q_{\text{п.о.й}}; \quad (14)$$

Ички иссиқлик юқотилиши қуидагича топилади:

$$Q_{\text{иц}} = H_o \cdot n_o + H_l \cdot n_l + Q_b. \quad (15)$$

Вентиляцияга иссиқлик юқотилишини қуидагича аниқлаш мумкин:

$$Q_{\text{вен}} = G_{\text{т.х}} \cdot \rho_x \cdot c_x \cdot (t_{\text{иц}} - t_{\text{таш}}). \quad (16)$$

Девор ҳароратини хисоблаш. Девор, том ва пол орқали (солиштирма) иссиқлик оқимларини аниқлаш учун дифференциал тенглама қуидагича ёзилади:

$$m_{\text{дев}} c_{\text{дев}} \frac{dT}{d\tau} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{дев}} - Q_{\text{кон}}. \quad (17)$$

Қуёш нурланиши туфайли иссиқлик узатилиши қуидагича хисобланади:

$$Q_{\text{рад}} = q_{\text{нур}} \cdot S_{\text{ой}} \cdot k_{\text{йт}} \cdot \alpha_{\text{йт}}, \quad (18)$$

$$q_{\text{нур}} = \tau \cdot (q_{\text{т.ы}} + q_{\text{соч}}) \cdot k_{\text{йт}} \cdot \alpha_{\text{йт}}. \quad (19)$$

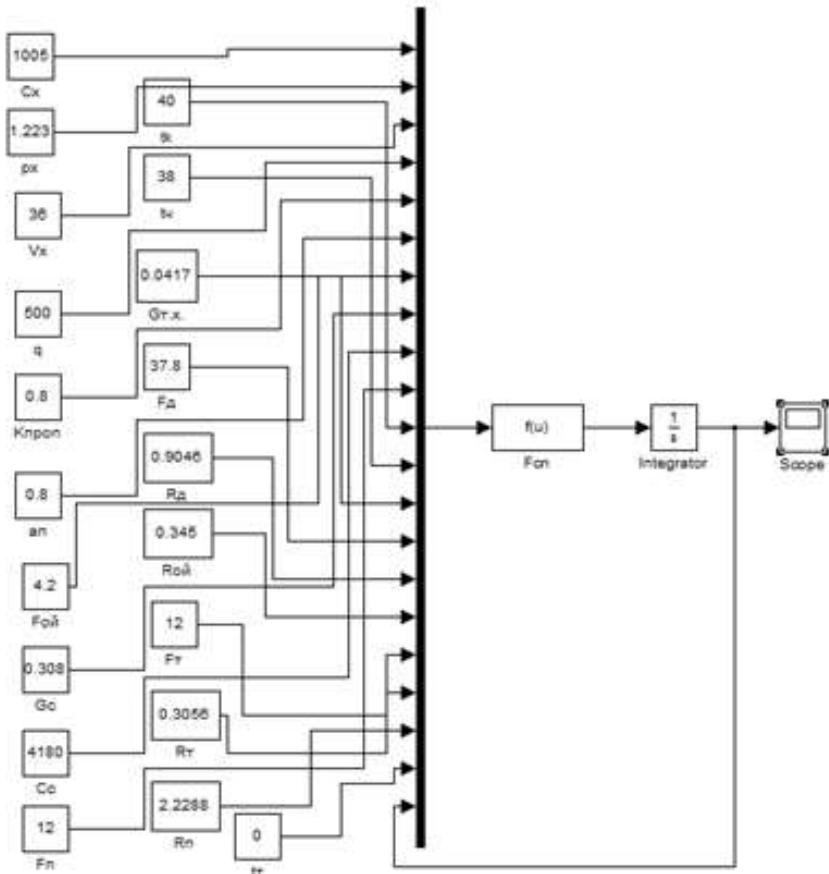
(5)-(19) ифодалар тадқиқот обьектининг ички муҳитида иссиқлик баланс тенгламасининг ташкил этувчиларини аниқлаш имконини беради.

Иссиқлик баланс тенгламасини ташкил этувчиларининг қийматини баланс тенгламасини ифодага қўйиб ҳосил бўладиган умумий иссиқлик қуидаги ифодадан аниқланади:

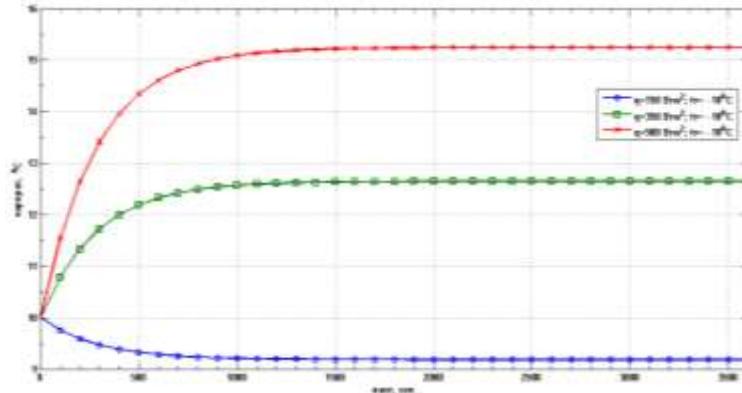
$$\begin{aligned} c_x \cdot \rho_x \cdot V_x \frac{dt_u}{d\tau} &= q \cdot k_{\text{проп}} \cdot \alpha_n \cdot F_{\text{ой}} + G_c \cdot c_{pc} (t_k - t_q) - \\ &- G_{\text{т.х}} \cdot \rho_x \cdot c_x \cdot (t_u(\tau) - t_T) - \left(\frac{F_d}{R_d} (t_u(\tau) - t_T) + \frac{F_{\text{ой}}}{R_{\text{ой}}} (t_u(\tau) - t_T) \right) \cdot 1,1 - \\ &- \frac{F_T}{R_T} \cdot (t_u(\tau) - t_T) \frac{F_n}{R_n} \cdot (t_u(\tau) - t_T). \end{aligned} \quad (20)$$

Ушбу тенгламани ечиш учун биринчи тартибли чизиқли дифференциал тенгламалар (Эйлер) усулидан фойдаланиб $t=0$, $t_i(t)=t_0$ бошланғич ва чегара шартлари асосида қуидаги тенглама олинди ва Matlab/Simulink дастури ёрдамида блок схема қурилды (4-расм) [20]:

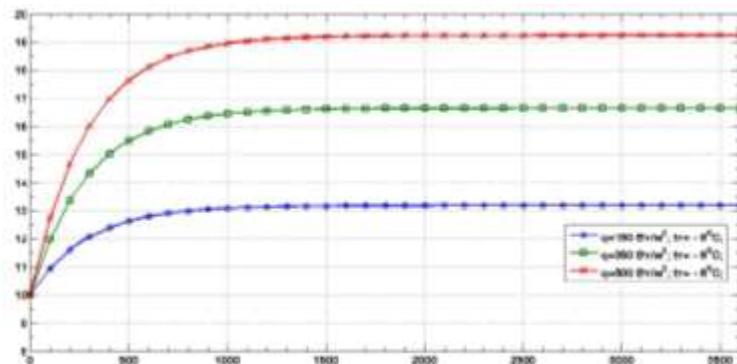
$$t_n(\tau) = \frac{\left(\frac{q \cdot k_{\text{упор}} \cdot \alpha_n \cdot F_{\text{од}} + G_c \cdot c_{pc} (t_k - t_i)}{G_{i,x} \cdot \rho_x \cdot c_x + \left(\left(\frac{F_d}{R_d} + \frac{F_{od}}{R_{od}} \right) \cdot 1,1 + \frac{F_t}{R_t} + \frac{F_n}{R_n} \right)} + t_r \right)}{\exp \left(\frac{G_{i,x} \cdot \rho_x \cdot c_x + \left(\left(\frac{F_d}{R_d} + \frac{F_{od}}{R_{od}} \right) \cdot 1,1 + \frac{F_t}{R_t} + \frac{F_n}{R_n} \right)}{\rho_x \cdot c_x \cdot V_x} \cdot \tau \right)} \times \frac{\left(\exp \left(\frac{G_{T,x} \cdot \rho_x \cdot c_x + \left(\left(\frac{F_d}{R_d} + \frac{F_{od}}{R_{od}} \right) \cdot 1,1 + \frac{F_t}{R_t} + \frac{F_n}{R_n} \right)}{\rho_x \cdot c_x \cdot V_x} \cdot \tau}{\exp \left(\frac{G_{T,x} \cdot \rho_x \cdot c_x + \left(\left(\frac{F_d}{R_d} + \frac{F_{od}}{R_{od}} \right) \cdot 1,1 + \frac{F_t}{R_t} + \frac{F_n}{R_n} \right)}{\rho_x \cdot c_x \cdot V_x} \cdot \tau \right)} - 1 \right) + t_0 \right) \quad (21)$$



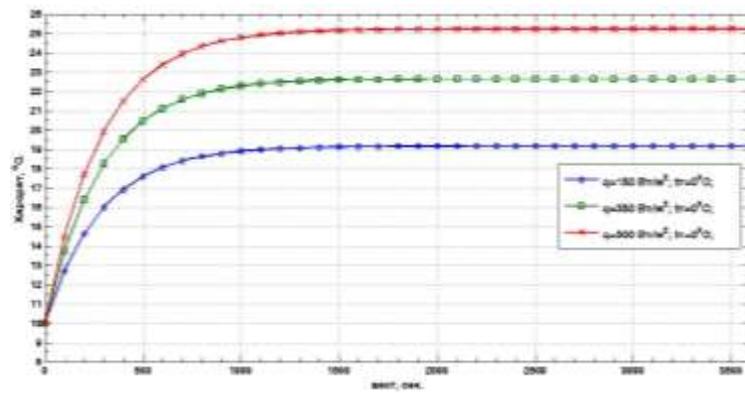
4-расм. Статик ҳолат учун қүёш уйи ички ҳароратини ҳисоблаш математик моделининг Matlab/Simulink дастуридаги блок схемаси
Олинган ҳисоб натижалари 5,6 ва 7 расмларда келтирилген



5-расм. Ташқи ҳавонинг ҳарорати -10°C бўлганда қуёш уйининг ички ҳароратини ўзгариш графиги



6-расм. Ташқи ҳавонинг ҳарорати -6°C бўлганда қуёш уйининг ички ҳароратини ўзгариш графиги



7-расм. Ташқи ҳавонинг ҳарорати 0°C бўлганда қуёш уйининг ички ҳароратини ўзгариш графиги

Хулоса. 1. Тадқиқот объектининг иссиқлик баланси тенгламаси асосида уйнинг ички ҳарорати ўзгаришини хисобга олувчи математик модель ишлаб чиқилган ва ҳисоблаш эксперименти орқали натижалар олинган.

2. Таклиф қилинган математик модель тажриба қуёш уйнинг ички ҳаво ҳароратининг ўзгаришини вақт ва иссиқлик балансининг иссиқликтекник параметрларига боғлиқ ўзгаришини хисоблаш имконини беради.

3. Кундузги режимда қуёш нурланиш интенсивлиги $q_p = 350 \div 500 \text{ Вт}/\text{м}^2$ бўлганда $t_p = 0 \div -6^\circ\text{C}$ ва ташқи ҳаво ҳароратининг оралиғида бино ичкарисида ўртacha ҳарорат $16 \div 25^\circ\text{C}$ оралиғида ўзгариши аниқланди.

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “2017 — 2021-йилларда ўзбекистон республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси” тўғрисидаги ПФ-4947-сонли Фармони.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги “2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида”ги ПҚ-3012-сонли қарори.

3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 8 ноябрдаги “Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишини таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-3379-сонли қарори.

4. Аллаев. К.Р Жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасини трансформациялашнинг замонавий сценарийлари. //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. ISSN (online) 2181-1946 № 1. 2021 й. -С. 11-25.

5. Аллаев. К.Р. Келажак энергетикаси - бу қайта тикланувчи ва атом ресурсларини бирга ишлатилиши (симбиоз). //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. ISSN (online) 2181-1946. 2021. -№ 2.. -С. 14-29.

6. Захидов Р.А., Киселева Е.И., Орлова Н.И., Таджиев У.А. Комбинированное использование энергии солнца, ветра, водотоков-основа создания надежных систем энергоснабжения в Узбекистане. / Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Труды конференции, посвященной 60-летию АН РУз и ФТИ, Ташкент, 2003. -С. 103.

7. Авезова Н.Р., Авезов Р.Р., Вохидов А.У., Рахимов.Э.Ю. Плоский солнечный коллектор: процессы теплового преобразования солнечной энергии и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения. Монография. – Т.:Voris - nashriyot, 2020. -204 с.

8. S.I.Khamraev, S.M. Khuzhakulov, D. N. Mamedova, B. I. Kamolov
“Study the characteristics of heat energy in the autonomic solar system”
“Palarch’s Journal Of Archaeology Of Egypt / Egyptology”(PJAEE. 17, (6)
(2020), pp. ISSN 1567-214x).
9. G’N.Uzakov, S.I.Khamraev, S.M Khuzhakulov. “Rural house heat supply system based on solar energy”. IPICSE-2020// January 2021. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1030:012167 DOI:10.1088/1757-899X/1030/1/012167.
10. Khamraev S. I., Khuzhakulov S.M., Kamolov B. I. “Thermal-technical characteristics and thermal regime of energy-efficient solar house” Asian Journal of Multidi mensional Research ISSN: 2278-4853 Vol 10, Issue 5, May, 2021 Impact Factor: SJIF 2021 = 7.699.
11. Khamraev S. I., Khuzhakulov S.M., Kamolov B. I. ”Analysis Of Scientific Research On The Use Of Renewable Energy Sources In The Heat Supply System”. The American Journal of Applied Sciences. (ISSN-2689-0992) Volume 3 Issue 04.2021.264-274.
12. Missoum M. Hamidat A. Loukarfi L. “Energetic Performance Analysis of a Solar Combisystem. Application to a Rural House in Chlef Region (Algeria)”. Energy Procedia Volume 50, 2014, Pages 512-519.
13. С.Е. Щекlein, С.А. Коржавин, В.Ю. Данилов, В.И. Велькин. Экспериментальное исследование эффективности комбинированной системы солнечной теплогенерации. //Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. 3(107) 2012. -С. 77-81
14. Азарова Т.Б., Гусева К.П., Жилина Т.С. Отопление с использованием солнечных коллекторов в городе Оренбурге. ISSN 2072-0297. //Молодой учёный. № 8 (142) / 2017 -С. 40.
15. Иссам А. Моделирование тепловых режимов эксплуатации зданий с использованием систем MatLab/Simulink. ISSN 0321-2651. //Технические науки. 2009. -№ 1.
16. Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Петрова А.В. Эффективная солнечная система горячего водоснабжения для северных территорий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. -№ 6. - С. 119–131. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131.
17. Зуев И.А., Толстой М.Ю., Туник А.А. Разработка нового солнечного коллектора SUN 3 для теплоснабжения и горячего водоснабжения объектов социальной и жилищной сферы Иркутской области. //Технические науки. Строительство. № 4(19) 2016 . DOI: 10.21285/2227-2917-2016-4-101-113.
18. Юмаев Н.Р. О возможности использования солнечных коллекторов для получения тепловой энергии в климатических условиях Таджикистана. //Молодой ученый, 2018. -С. 32-36.

19. Мохаммед Камил Али Гази. Режимы работы и диагностика энергоустановок для теплоснабжения потребителей на базе солнечных нагревателей. //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. №2 -С. 104-106, <http://dx.doi.org/10.17213/0321-2653-2015-2-104-106>.

20. Ефремова О., Хворова Л. Математическое моделирование систем солнечного теплоснабжения // Известия Алтайского государственного университета, 1, № 4(96) DOI: 10.14258/izvasu(2017).

*Представлено Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

**АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ АПК НА
ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЕ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ СИММЕТРИЧНОЙ
СИСТЕМЫ БЕЗ НУЛЕВОГО ПРОВОДА**

Н.А. Халилов

Маълумки уч фазали симметрик ноль сим уланган феррорезонанс АП-занжирларда манба кучланиши ва параметрларнинг маълум бир нисбатида хар-хил частотали тебраниши ходисалари юзага келади (феррорезонанс, мажбурий ва эркин тебранишилар). Бундай тебранишиларнинг мўтадил сақланиши албатта электр занжирлари таркиби мөвжуд С, L, R элементларнинг сони, уланиши схемаси, манбаа кучланишининг фазаси ва бошлангич шартларига боғлиқ. Мақолада асосан уч фазали ноль сим уланмаган феррорезонанс АП-занжирларда юзага келадиган автопараметрик тебранишилар (АПТ), харакат тенгламасини ечиши оркали юзага келадиган амплитуда – фаза нисбатларини аниқлаши услуби ёритилган. Таъдиқот натижалари асосида автоматик бошқарув, алоқа тизими ва хисоблаши техникалари учун уч фазали стабилизатор, бир фазани уч фазага айлантириб берувчи стабилизатор, шуниндек манбаа частотасини қўйпайтириб берувчи қуриқмалар яратилди ва муалифлик гувохнома олинди.

Как известно в трехфазных цепях при определенных соотношениях приложенного напряжения и параметров цепи наблюдаются различные колебательные режимы, которые отличаются более сложными законами появления и поддержания в них свободных и вынужденных колебаний. Это связано со схемой соединения, увеличением числа нелинейных элементов и числа степеней свободы цепи. Поэтому до сих многие вопросы колебательных режимов до конца еще не исследованы, и, не использованы в практических цепях. В данной статье рассматривается амплитудно-фазовое соотношение при возбуждении автопараметрических колебаний (АПК) на частоте источника питания в трехфазных феррорезонансных автопараметрических (АП)-цепях отдельными и общими магнитопроводами без нулевого провода. Изучение этих процессов на основе рассматриваемых многофазных (в частности трехфазных) цепей с магнитной связью между фазами без нулевого провода и в трехфазных цепях без магнитной связи с нулевым проводом показывает, что феррорезонансные явления могут быть использованы для создания различных стабилизирующих устройств автоматики, связи и др. На основе изучения физических процессов и выявления стабилизирующих свойств трехфазных АП-цепей созданы трехфазные стабилизаторы напряжения и тока,

а также фаза расцепляющих, частота преобразующих устройств и получено авторское свидетельство.

It is known that in ferroresonance AP-circuits connected to a three-phase symmetrical zero wire, different frequency oscillations occur at a certain ratio of source voltage and parameters (ferroresonance, forced and free oscillations). The moderate maintenance of such oscillations certainly depends on the composition of the electrical circuits, the number of S, L (i), R elements present, the wiring diagram, the phase of the source voltage, and the initial conditions. The article mainly describes the method of determining the amplitude-phase ratios that occur by solving the equation of motion of autoparametric oscillations (APT), which occur in ferroresonance AP-circuits without three-phase zero wire. Based on the results of the study, a three-phase stabilizer for automatic control, communication system and computing techniques, a stabilizer that converts one phase to three phases, as well as devices that increase the source frequency were created and a certificate of authorship was obtained.

Многие ученые-исследователи обращали особое внимание на колебательные режимы, имеющиеся в однофазных, многоконтурных и трехфазных электроферромагнитных цепях [5, 6, 7, 8, 12, 14, 18]. Как известно при определенных соотношениях приложенного напряжения и параметров цепи наблюдаются различные явления, связанные с установлением и поддержанием в них свободных, вынужденных, субгармонических колебаний, а установление этих колебаний зависит прежде всего от схемы соединения линейных, нелинейных элементов и приложенных напряжений, и также вольтамперной характеристики самой цепи. Вот почему до сих пор считается, что многие вопросы колебательных режимов до конца еще не исследованы, и как следствие возможности цепей не использованы в практических цепях.

Уравнение движения трёхфазной Электроферромагнит-ная симметричная АП-цепь без нулевого провода (рис.1-2) описывается уровнением движения:

$$\begin{aligned} R_1(a\varphi_1 + b\varphi_1^3) + \frac{1}{C_1} \int (a\varphi_1 + b\varphi_1^3) dt + \frac{d\varphi_1}{dt} &= u_1 - u_n \\ R_2(a\varphi_2 + b\varphi_2^3) + \frac{1}{C_2} \int (a\varphi_2 + b\varphi_2^3) dt + \frac{d\varphi_2}{dt} &= u_2 - u_n \\ R_3(a\varphi_{(3)} + b\varphi_{(3)}^3) + \frac{1}{C_3} \int (a\varphi_{(3)} + b\varphi_{(3)}^3) dt + \frac{d\varphi_{(3)}}{dt} &= u_{(3)} - u_n \end{aligned} \quad (1)$$

где R_1, R_2, R_3 – резисторы,

C_1, C_2, C_3 – линейной емкости,

$\varphi_1 (i)_1, \varphi_2 (i)_2, \varphi_3 (i)_3$ – потокосцепление.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Здесь: $U_n = R_0 i_0 = R_0 (i_1; i_2; i_3)$ – мгновенное значение напряжения между нейтралями 0 и 0'.

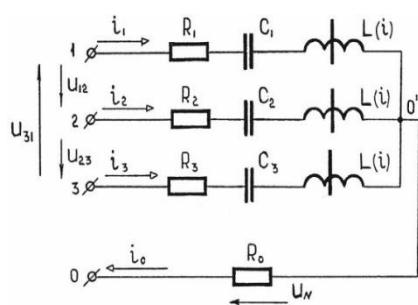


Рис.1. Электроферромагнитная АП-цепь с нулевым проводом без ферромагнитной связи между нелинейными катушками

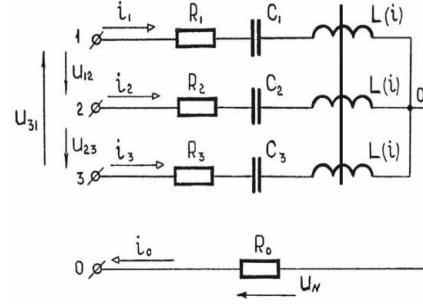


Рис.2. Электроферромагнитная АП-цепь с нулевым проводом с ферромагнитной связью между нелинейными катушками

Выполним анализ трехфазной Электроферромагнитной АП-цепи с нулевым проводом симметричной цепи на (рис.1) для случая $R_o = 0$, когда соблюдая условия $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ или с учетом (1):

$$\begin{aligned} & \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \sin(\omega t + \beta_1) + \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{2m}^2 \right) \varphi_{2m} \sin(\omega t + \beta_2) + \\ & + \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{3m}^2 \right) \varphi_{3m} \sin(\omega t + \beta_3) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$I_{1m} \sin(\omega t + \beta_1) + I_{2m} \sin(\omega t + \beta_2) + I_{3m} \sin(\omega t + \beta_3) = 0 \quad (3)$$

где I_{1m} , I_{2m} и I_{3m} – амплитудные значения токов в отдельных фазах цепи. Из (3) нетрудно установить, что:

$$\begin{aligned} & I_{1m} \sin \beta_1 + I_{2m} \sin \beta_2 + I_{3m} \sin \beta_3 = 0 \\ & I_{1m} \cos \beta_1 + I_{2m} \cos \beta_2 + I_{3m} \cos \beta_3 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Совместное решение этой системы уравнений дает:

$$\begin{aligned} & I_{1m}^2 + I_{2m}^2 + 2I_{1m}I_{2m} \cos(\beta_1 - \beta_2) = I_{3m}^2 \\ & I_{2m}^2 + I_{3m}^2 + 2I_{2m}I_{3m} \cos(\beta_2 - \beta_3) = I_{1m}^2 \\ & I_{1m}^2 + I_{3m}^2 + 2I_{1m}I_{3m} \cos(\beta_1 - \beta_3) = I_{2m}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Для удобства дальнейшего анализа и установления характера возбуждения АПК зададимся следующими условиями симметрии цепи, а именно $R_1 = R_2 = R_3 = R$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C$. Тогда вместо системы (1) можем записать для составляющих на основной гармонике:

$$R \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \sin(\omega t + \beta_1) + \left(\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \cos(\omega t + \beta_1) + U_n = U_m \sin \omega t \quad (6)$$

из которой следует:

$$\begin{aligned} \omega^2 \varphi_{1m}^2 + \omega^2 \varphi_{2m}^2 + \omega^2 \varphi_{3m}^2 + 2\omega^2 \varphi_{1m} \varphi_{2m} \cos(\beta_1 - \beta_2) + \\ + 2\omega^2 \varphi_{2m} \varphi_{3m} \cos(\beta_2 - \beta_3) + 2\omega^2 \varphi_{1m} \varphi_{3m} \cos(\beta_1 - \beta_3) = 9U_{nm}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

В соответствии с диаграммой напряжения на фазах цепи на рис.3 $U_{\phi 1}$, $U_{\phi 2}$ и $U_{\phi 3}$ можно найти из (6) и (8) в виде

$$\begin{aligned} R^2(a + \frac{3b}{4}\varphi_{1m}^2)^2 \varphi_{1m}^2 + (\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C}\varphi_{1m}^2)^2 \varphi_{1m}^2 = U_{\phi 1m}^2 \\ R^2(a + \frac{3b}{4}\varphi_{2m}^2)^2 \varphi_{2m}^2 + (\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C}\varphi_{2m}^2)^2 \varphi_{2m}^2 = U_{\phi 2m}^2 \\ R^2(a + \frac{3b}{4}\varphi_{3m}^2)^2 \varphi_{3m}^2 + (\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C}\varphi_{3m}^2)^2 \varphi_{3m}^2 = U_{\phi 3m}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

С учётом четырёх возможных вариантов установления амплитудно-фазовых соотношений, зависящих от соотношений линейных и нелинейных параметров цепи. В нашем случае линейные параметры R и C одинаковы во всех фазах и точки в них могут отличаться только за счет $\varphi_{1m} = \varphi_{2m} = \varphi_{3m}$. Пусть, например, в фазах 1 и 2 напряжения $U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = U_{\phi 3} = U_n = U_p$ а напряжение $U_{\phi 3} = U_k$. При этом допустим, что токи в фазах $I_{\phi 1} = I_{\phi 2} = I_{\phi 3}$, или, что все равно, $\varphi_{1m} = \varphi_{2m} = \varphi_{3m}$ (на рис.3, точки к, п и р.). Таким образом, если допустить, что $U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = U_{\phi 3}$, то из первых двух уравнений системы (12) можно получить следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{9b^2}{16}(R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2})(\varphi_{1m}^6 - \varphi_{2m}^6) + \frac{3ab}{2}(R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} - \frac{1}{aC})(\varphi_{1m}^4 - \varphi_{2m}^4) + \\ + a^2(R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} + \frac{\omega^2}{a^2} - \frac{2}{aC})(\varphi_{1m}^2 - \varphi_{2m}^2) = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} A = 2B = C = \left(\frac{3b}{4}Z_H\right)^2; \quad 2D = 2E = \frac{3b}{2}(aZ_H^2 - \omega X_c); \quad F = a^2Z_H^2 + \omega^2 - 2\omega_0^2 \\ X = \varphi_{1m}^2; \quad Y = \varphi_{2m}^2; \quad \frac{a}{c} = \omega_0^2; \quad Z_H^2 = R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} \quad \text{здесь} \quad X_c = \frac{1}{\omega C} \end{aligned} \quad (10)$$

Теперь вместо (10) можем записать:

$$A(X^3 - Y^3) + 2D(X^2 - Y^2) + F(X - Y) = 0. \quad (11)$$

Так как $X = Y$, то можно сократить на $(X - Y)$ и получить

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

$$\begin{aligned} A(X^2 + XY + Y^2) + 2D(X + Y) + F = 0 \\ AX^2 + 2BXY + CY^2 + 2DX + 2EY + F = 0 \end{aligned} \quad \text{или} \quad (12)$$

которое является уравнением линии второго порядка. Если малый дискриминант

$$\delta = \begin{vmatrix} A & B \\ B & C \end{vmatrix} = AC - B^2 > 0, \quad (13)$$

то (12) – уравнение эллипса. В нашем случае это можно утверждать в силу $AC - B^2 = 4B_2 - B_2 = 3B_2 > 0$ всегда. Следовательно, зависимость $\varphi_{im}^2 f_1(\varphi_{im}^2)$ или $X = f_1(Y)$, представляет собой часть эллипса, расположенную в первом квадрате декартовых координат (рис.4). Заметим, что в виде (15) уравнением эллипса пользоваться неудобно, а потому приведем его к виду:

$$\frac{(X^1 - x_0^1)^2}{\alpha^2} + \frac{(Y^1 - y_0^1)^2}{\beta^2} = 1 \quad (14).$$

Приведение (13) к каноническому виду (14) осуществляется путем преобразований, дающих соотношения:

$$\begin{aligned} X^1 &= X \cos \alpha + Y \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} (X + Y) \\ Y^1 &= X \sin \alpha + Y \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} (X - Y), \\ \text{где } \alpha &= \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2B}{A-C} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \infty = \frac{\pi}{4}. \end{aligned} \quad (15)$$

Так что первичные координаты $X = \frac{\sqrt{2}}{2} (X^1 - Y^1)$ и

$$Y = \frac{\sqrt{2}}{2} (X^1 + Y^1) \quad (15)$$

перепишутся как

$$A^1 X^{12} + C^1 Y^{12} + 2D^1 X^1 + F^1 = 0$$

где: $A^1 = \frac{3}{2} A$; $2B^1 = 0$; $C^1 = \frac{1}{2} A$; $D^1 = \sqrt{2D}$; $E^1 = 0$; $F^1 = F$.

Перенесем начало координат новой системы отсчета в точку $O^1(X_0^1, Y_0^1)$ и построим искомый эллипс в системе координат X^1, Y^1 (рис.4). При этом нетрудно видеть, что:

$$X_0 = \frac{B^1 E^1 - C^1 D^1}{\delta} = -\frac{D^1}{A^1} \quad Y_0 = \frac{B^1 E^1 - A^1 E^1}{\delta} = 0$$

Окончательно, вместо (15) имеем:

$$\frac{(X^1 - x_0^1)^2}{\alpha^2} + \frac{(Y^1)^2}{\beta^2} = 1, \quad (16)$$

где $\alpha = \sqrt{\left(\frac{D^1}{A^1}\right)^2 - \frac{F^1}{A^1}}$ и $\beta = \sqrt{3\alpha}$ – есть соответственно малая и большая полуоси эллипса.

Теоретически рабочими точками (или точнее геометрическим местом точек) установившихся величин амплитуд потоков φ_{1m} , φ_{2m} является часть эллипса $B^1 A C A^1 B$: кривая $A C A^1$ – устойчивая зона АПК, $A B^1$ (или $B A^1$) – неустойчивая.

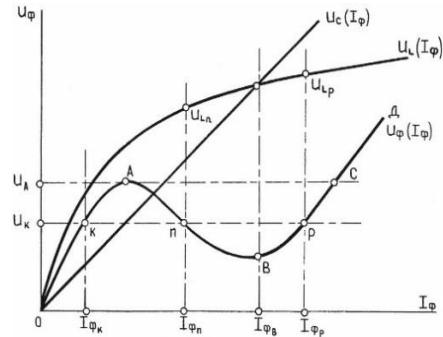


Рис.3. Вольтамперная характеристика одной фазы трех-фазной электроферромагнитной АП-цепи

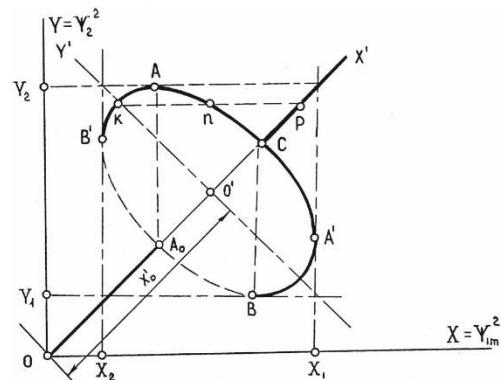


Рис. 4. Геометрическое место точек квадратов потокосцеплений φ_{1m}^2 ; φ_{2m}^2 (или φ_{3m}^2)

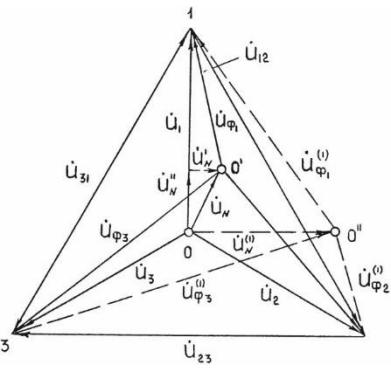


Рис. 5. Топографическая диаграмма фазных и линейных напряжений трехфазной несимметричной АП-цепи

Ввиду того, что «N»-образную $B A X$ имеет каждая фаза симметричной трехфазной цепи, то при идентичных линейных параметрах $R_1=R_2=R_3$ и $C_1=C_2=C_3$ наиболее вероятным режимом работы цепи является идентичность амплитудно-фазовых состояний отдельных фаз. Во всяком случае постепенное увеличение (регулирование) линейных напряжений U_{12} , U_{23} и U_{31} от 0 до некоторого значения $U_A = \sqrt{3}U_A$ будет сопровождаться таким же равномерным увеличением фазных напряжений

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

$U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = U_{\phi 3}$ от 0 до $U_{\phi} = U_A$ (см. рис. 4 и рис. 5). Дальнейшее увеличение $U_{12} = U_{23} = U_{31}$ свыше $U_A = \sqrt{3} U_{\phi}$ вызовет скачки токов $I_{\phi 1}, I_{\phi 2}, I_{\phi 3}$, в район точки С или его окрестности на кривой ВСД. Однако одновременное и равномерное увеличение токов в фазах в одно и то же число раз может не состояться, так как источник поддерживает равенство только линейных напряжений $U_{12} = U_{23} = U_{31}$. Отсутствие же нулевого провода позволяет напряжениям $U_{\phi 1}, U_{\phi 2}$ и $U_{\phi 3}$ быть в произвольных амплитудных соотношениях, но в пределах топографической связи векторов, показанной на (рис. 5). Из топографической диаграммы нетрудно видеть, что в случае расположения искусственной нулевой точки O' внутри треугольника 1–2–3 фазовые сдвиги между всеми фазными токами и напряжениями одновременно будут носить либо индуктивный, либо емкостный характер.

Так, например, $U_{\phi 1} = U_B; U_{\phi 2} = U_P; U_{\phi 3} = U_C$ соответствует емкостному режиму во всех трех фазах. Если же точка O' находится за пределами вершины треугольника, то одна из фаз находится в индуктивном (или емкостном) режиме, а две другие – в емкостном (или индуктивном), только в этих случаях будет соблюдаться условие:

$$I_{\phi 1} + I_{\phi 2} + I_{\phi 3} = 0$$

Уместно упомянуть при этом, что скачкообразный переход отдельных фазных напряжений на участок ВСД сопровождается появлением в магнитных потоках сердечников ферромагнитных элементов этих фаз явно выраженную третью гармонику. Эта гармоника создает Э. Д. С. угрожающей частоты в напряжениях упомянутых фаз и т.д.

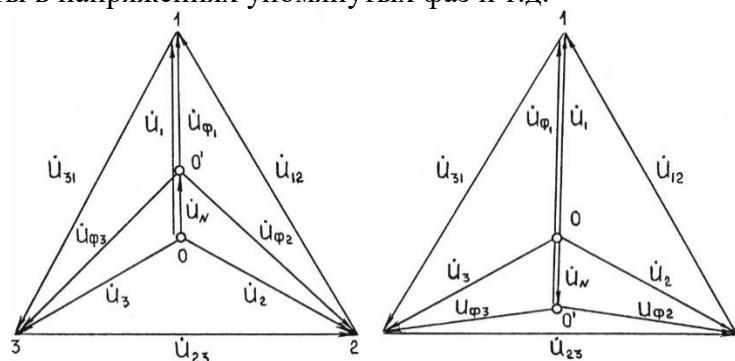


Рис.6. Топографические диаграммы напряжений в режимах частичной симметрии: а) с перенапряжениями в двух фазах; б) с перенапряжением в одной фазе

Наиболее вероятным режимом работы трехфазной симметричной цепи является либо полная симметрия при $U_n = 0$, либо частичная симметрия в двух фазах, показанная на рис. 6, а, б, применительно к диа-

граммме на рис. 6, а первое уравнение равновесия из (12) можно переписать в виде (после алгебраической обработки):

$$\begin{aligned} R \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \cos \beta_1 - \left(\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \sin \beta_1 &= U_m - U_{nm} \\ R \left(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \cos \beta_1 + \left(\omega - \frac{a}{\omega C} - \frac{3b}{4\omega C} \varphi_{1m}^2 \right) \varphi_{1m} \sin \beta_1 &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

или в соответствии с (12): $U_{\phi 1m}^2 = (U_m - U_{nm})^2$, или $U_n = U - U_{\phi 1}$, т.е. напряжение смещения нейтрали равно разности фазных напряжений генератора и приемника.

С другой стороны, равенство $U_{\phi 2} = U_{\phi 3}$ обеспечивает $I_{2m} = I_{3m}$, что в свою очередь, дает возможность вместо (5) записать $\beta_1 - \beta_2 = \beta_3 - \beta_1$ или $2\beta_1 = \beta_2 - \beta_3$;

$$\cos(\beta_1 - \beta_2) = -\frac{I_{1m}}{2I_{2m}} \quad \cos(\beta_3 - \beta_1) = -\frac{I_{1m}}{2I_{3m}} \quad (18)$$

Расчет установившегося режима в рассматриваемой симметричной цепи лучше всего выполнять на ЭВМ. Порядок вычислений может быть следующим (в действующих величинах, т.е. $\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi_{1m}$, $U_\phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi_{\phi m}$ и т.д.).

1. Задаемся произвольным значением начальных параметров.
2. Вычисляем $U_n = U_1 - U_{\phi 1} = U_\phi - U_{\phi 1}$ где U_1 – фазное напряжение I фазы источника.
3. Определим $U_{\phi 2} = U_2 - U_n = U_\phi e^{-j\frac{2\pi}{3}} - U_n$, а по его абсолютному значению $|U_{\phi 2}|$ находим $U_{\phi 2}$ (или φ_{2m}) через (12). И так как $\varphi_{2m} = \varphi_{3m}$ уже известны, то можно определить I_{1m}, I_{2m}, I_{3m} .
4. Начальная фаза β_1 тока $i_1 = I_m \sin(\omega t + \beta_1)$ в соответствии с (18) может быть определена как:

$$\beta_1 = \arctg \frac{\frac{a}{\omega C} + \frac{3b}{4\omega C} \varphi_{1m}^2 - \omega}{R(a + \frac{3b}{4} \varphi_{1m}^2)}$$

Аналогично можно определить β_2 через (7), а β_3 через.

5. Для оценки стабилизирующих свойств исследуемой цепи зададимся определенным отклонением амплитуды приложенную напряжения в положительном и отрицательном напряжениях и выполним серию вычислений зависимостей коэффициента стабилизации $K_{cm} = \frac{\Delta U_L}{\Delta U_\phi}$ от параметров цепи (например R или C).

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Примечание: при расчете цепи по диаграмме (рис. 6, б), знак перед напряжением U_{nm} в (18) меняется на обратный, что должно быть учтено в последующих уравнениях.

Экспериментальные исследования проводились с цепью, состоящей из трех электроферромагнитных контуров с отдельными магнитопроводами, соединенными в звезду без нулевого провода т.е. $R_0 = \infty$ (рис.1). Для выявления специфических особенностей возникновения АПК на основной частоте были применены методы, предложенные (9). Катушки с ферромагнитными сердечниками имели идентичную вебер-амперную характеристику, приведенную в таблице 1.

Таблица 1

Φ_m (Вб)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
I_m (А)	0,1	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Емкости в отдельных фазах были одинаковы и равны $C_1 = C_2 = C_3 = 18 \text{ мкФ}$. При плавном увеличении фазного напряжение до значений $U_\phi = 132 \text{ В}$. возникает феррорезонансный скачок с опрокидыванием фазы в каждой фазе одновременно (рис. 7).

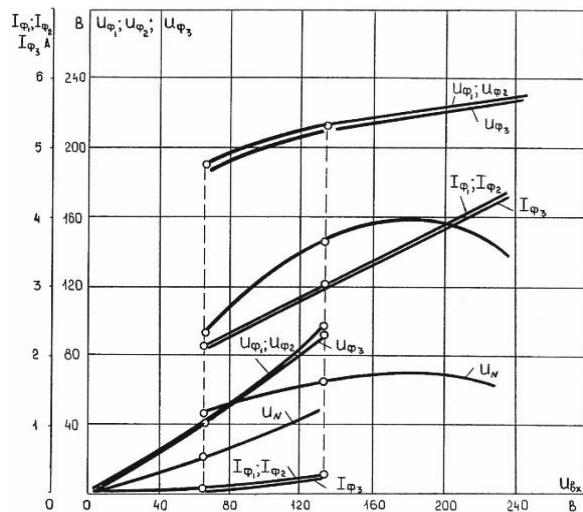


Рис.7. Характер изменения разных токов и напряжений, напряжения нулевого провода $I_{\phi 1}; I_{\phi 2}; I_{\phi 3}; U_{\phi 1}; U_{\phi 2}; U_{\phi 3}; U_n; =f(U_{bx})$ при значении емкости конденсаторов $C_A=C_B=C_C=18 \text{ мкФ}$

При этом симметрия напряжений $U_{\phi 1}, U_{\phi 2}, U_{\phi 3}$ не нарушается. Напряжение U_ϕ , при котором возникает скачок, возрастает с увеличением емкости в фазе; увеличивается также и зона затягивания (рис. 8).

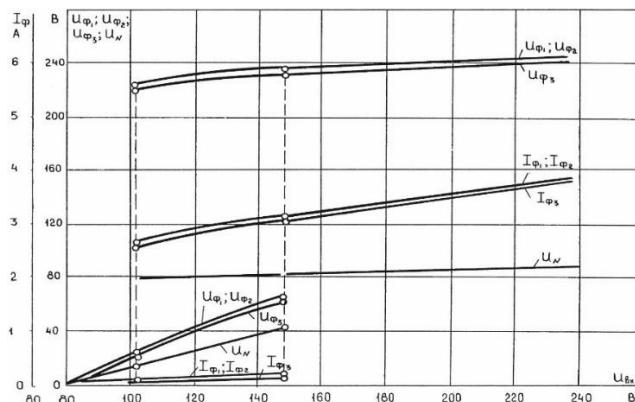


Рис.8. Характер изменения Фазных токов, напряжений, напряжения нулевого провода $I_{\phi 1}; I_{\phi 2}; I_{\phi 3}; U_{\phi 1}; U_{\phi 2}; U_{\phi 3}; U_n = f(U_{bx})$ при значении емкости конденсаторов $C_A=C_B=C_C=28$ мкФ

Амплитуды фазных токов и напряжений на индуктивностях и зона затягивания увеличиваются с увеличением емкости каждой фазы при постоянстве входного напряжения. Напряжение смещения нейтрали с изменением емкости меняется мало. В режиме возбуждения АПК в трехфазной системе наблюдается перекачка энергии с одной фазы на другую. Это вызывает при случайных обстоятельствах и опрокидывании фазы (например, при $U_{\phi} = 170$ В $C_1 = C_2 = C_3 = 50$ мкФ.). Обратный скачок происходит при уменьшении входного напряжения до $U_{\phi} = 36$ В. Из характеристики видно, что изменение входного напряжения от $U_{\phi} = 156$ В до $U_{\phi} = 340$ В вызывает изменение напряжения нелинейных элементах всего на 4 - 8 вольт. Это является одной из особенностей рассматриваемой колебательной системы и способность накапливать большие запасы электромагнитной энергии характеризующие стабилизирующие свойства.

Активные сопротивления в фазах не влияют на амплитуды.

АПК при неизменном значении входного напряжения, а только смещают начала скачков. При увеличении R амплитуды фазных напряжений $U_{\phi 1}, U_{\phi 2}$ и $U_{\phi 3}$ несколько падают. Токи каждой фазы вследствие насыщения железа содержат также составляющие второй и третьей гармоники. Амплитуды напряжений ($U_{\phi 1}, U_{\phi 2}, U_{\phi 3}$), как выяснилось, также зависят от начальной фазы входного напряжения U_{ϕ} . Ввиду наличия высших гармоник мгновенные значения токов за один цикл смещаются по оси времени на четверть периода основной частоты (рис. 9).

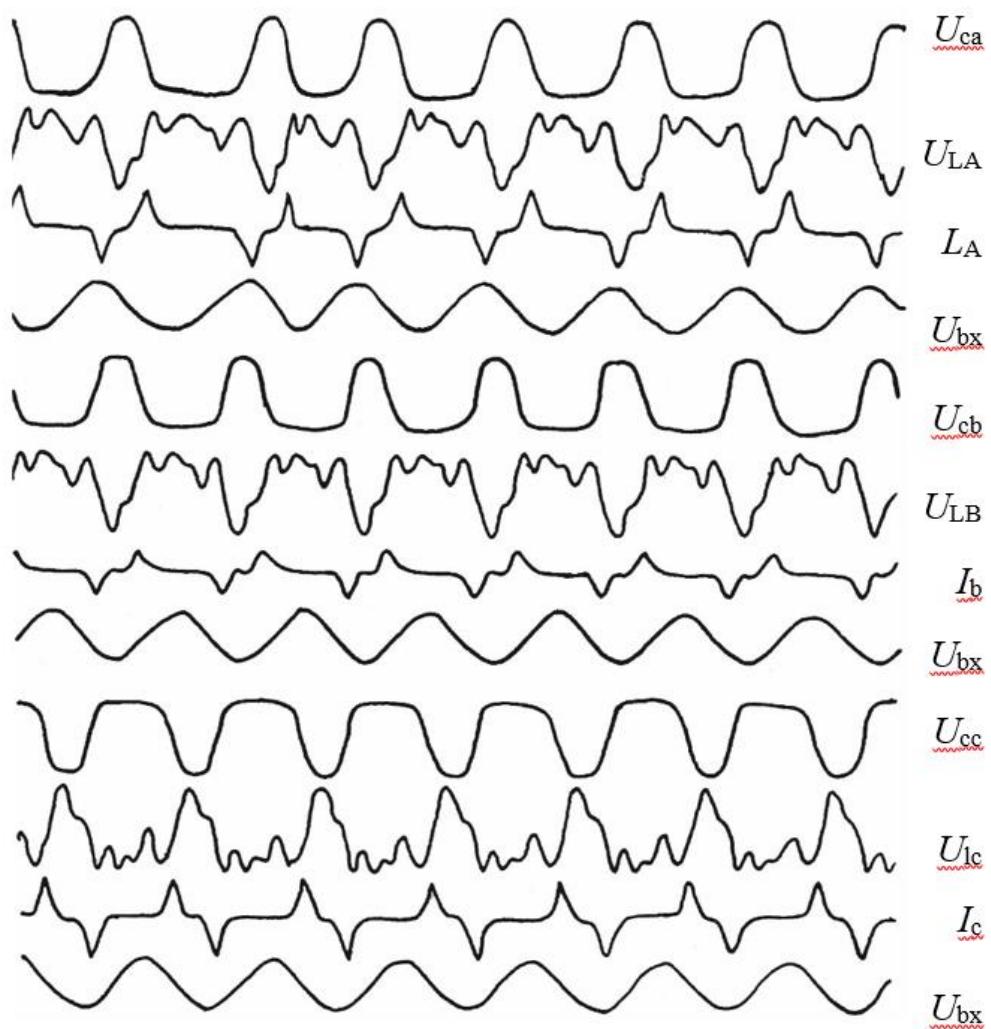


Рис. 9. Осциллограммы напряжений на элементах цепи.

Устойчивость колебаний связана с устойчивостью напряжений на ферромагнитных элементах, что характеризует стабилизирующие свойства таких цепей. Несимметричное питание цепи облегчает условия возбуждения низших гармонических и комбинационных колебаний. Различные диапазоны установившихся режимов определяются в зависимости от условий подмагничивания сердечников ферромагнитных элементов.

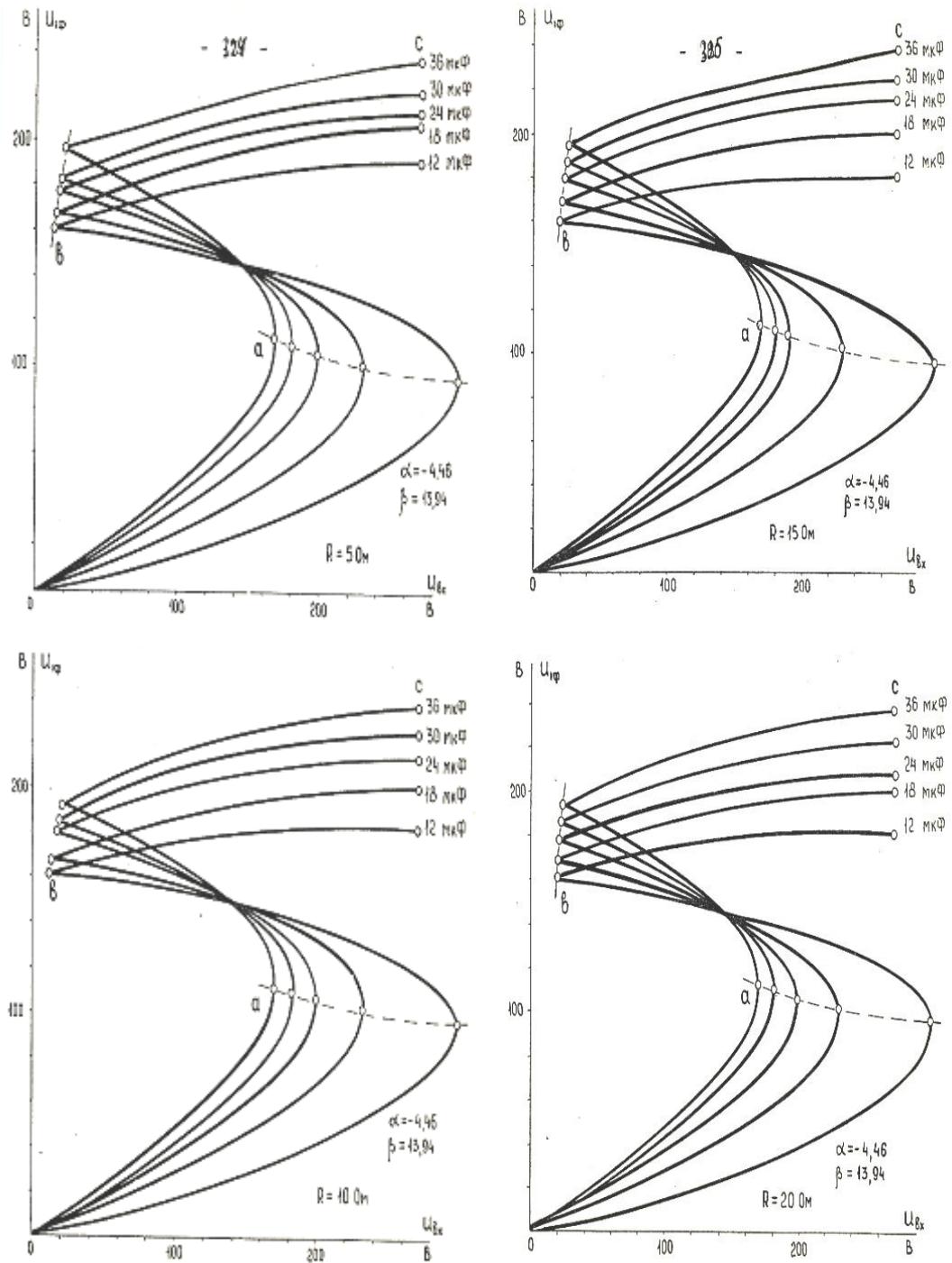


Рис. 10. Характеристики вход – выход при возбуждении АПК в трехфазных электроферромагнитных АП-цепях

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Расчеты на ЭВМ. Для проверки точности теоретических зависимостей были выполнены расчеты на ЭВМ и получена серия вольтамперных и рабочих характеристик типа «вход – выход», которая подтверждает правильность теоретических положений о том, что главенствующую роль в расширении диапазона стабилизации и улучшения коэффициента стабилизации играет взаимная индукция между фазами с ферромагнитными элементами. Это же было подтверждено экспериментально (рис.10.)

Проведённые расчеты для трехфазных ценой без междуфазной магнитной связи преследовали цель показать общее влияние параметрических и режимных величин на процесс автопараметрической стабилизации в целом, что значительно проще сделать на индуктивно несвязанных ФЭ. Качественная картина с междуфазной магнитной связью улучшает стабилизирующие свойства системы.

Выводы

1. Получены и построены амплитудно-фазовые характеристики стационарных режимов АПК в трехфазных цепях а также экспериментально определена устойчивость АПК при изменении основных параметров цепи.

2. С помощью ЭВМ получена качественная картина возбуждения и поддержания АПК на частоте источника питания, позволяющей для целенаправленного преобразования энергии.

3. Показано, что на базе трехфазной электро-ферромагнитной АП цепи создано трехфазный и однофазно-трёхфазный стабилизатор напряжения, а также утроитель частоты со стабилизированным выходным напряжением.

4. В трехфазных электроферромагнитных АП цепях возбуждение и поддержание колебательных режимов будет работать устойчиво только тогда, когда в системе имеется определенное энергетическое равновесие.

5. При соединении нулевого провода при определенных значениях R_o происходит резонанс на 3-ей высшей гармонике.

6. При возбуждении АПК в трехфазных электроферромагнитных АП-цепях за счет наличия эффекта адиабатического инварианта потери энергии системы компенсируются за счет энергии внешнего воздействия.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Т.: Fan vatexnologiya, 2021. 923 с.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. «Теория колебаний». М.: Физматгиз, 1959.
3. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. Высшая школа. 1964.
4. Бессонов Л.А. Автоколебания в электрических цепях со сталью. - М.-Л. Госэнергоиздат, 1977., 343 с.
5. Демирчян К.С., Нейман Л.Л., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. 5-е издание, том 2, ООО «Питер Пресс», -2009. С. 142–152.
6. Долгинов А.И. Резонанс в электрических цепях и системах. М.–Л., 1967 г., С. 324.
7. Ибадуллаев М. Субгармонические колебания в трехфазных электроферромонтных цепях без нулевого привода. // Вестник ТашГУ, № 1. 1993.
8. Каримов А.С. О применимости теории адиабатического инварианта энергии к феррорезонансным цепям автопараметрического типа. // Изв. АН УзССР, сер. Техн. наук, 1975, № 6.
9. Каримов А.С., Рахимов Г.Р. Автопараметрические преобразования числа фаз и частота переменного тока. – Ташкент: Фан. 1975. 177 с.
10. Кузнецов А.Г. Энергетические процессы в многофазных цепях при мощной несимметрии и высших гармоник. –Киев: Наукова думка, 1978, -С. 24–31.
11. Маннапов А.Н., Мусабеков П. Исследования трехфазной электроферромагнитной цепи с ферромагнитной связью в режиме возбуждения второй субгармоник. / В «Вопросы теории нелинейных цепей и процессов», Вып. 269, Т. ТашПИ, 1979, -С. 13–14.
12. Мигулин В.В. и Альперж Я.Л. Об одном случае автопараметрического резонанса, // ШТФ, т. 4, выпуск 5. 1936.
13. Halilov N.F., Bedritsky L.M. To a question on approximation of curves of magnetization of electro technical steels // NEWS OF HIGH SCHOOLS OF REPUBLIC UZBEKISTAN. Engineering in Life Sciences. 2002. № 4. -С. 33.
14. Рахимов Г.Р. Феррорезонанс. /Изд. АН УзССР. 1957.
15. Рахимов Г.Р. Низшие гармонические и комбинационные колебания в трехфазных нелинейных системах с ферромагнитными элементами. Киев, Институт математики АН УССР. 1961.
16. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы, ГТТИ, 1953.
17. Хоркевич А.А. Автоколебания, ГТТИ, 1953.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

18. Шарипов Х.Ш. Автопараметрические колебания в однофазных двухконтурных и трехфазных электроферромагнитных цепях. Кандидатская диссертация 1969.
19. Капчинский И.М. Методы теории колебаний в радиотехнике. – Москва: Государственное энергетическое издательство. 1954.
20. Т. Хаяси. Нелинейные колебания в физических системах. Москва., 1968. Издательство “Мир”.
- 21 Долгинов А.И. Перенапряжения в электрических системах. –М.: Госэнергоиздат. 1962.

*Представлено Республиканским фондом
поддержки одарённой молодёжи им. Улугбека*

UDC 621.365**FORECASTING FROM POWER CONSUMPTION OF FERROUS METALLURGY ENTERPRISE BASED ON THE PRINCIPLE COMPONENT METHOD****I.U. Rakhmonov, N.N. Kurbonov**

Электр энергия истеъмолини юқори аниқликда прогнозлаши саноат корхонасининг самамарли фаолият юритишини таъминлайди. Ҳар бир саноат корхонаси қувват истеъмоли бўйича прогноз кўрсаткичларини билган ҳолда, мазкур кўрсаткичларнинг рухсат этилган қийматлардан оғимаслигини қаътий назорат қиласди. Чунки ҳар қандай оғишлар иш режимидағи тўхташларга баъзан эса иқтисодий жарималарга олиб келади. Бугунги кунда турли муддатлар учун электр энергияси истеъмолини прогнозлаши электр энергия бозорида муҳим масала бўлиб ҳисобланади. Мавжуд прогнозлаши усуллари ўз хусусиятига эга бўлиб, ҳар бирининг афзаллик ва камчиликлари мавжуд. Прогнозлаши усулини танлаши прогнозлаши муддати ва дастлабки маълумотлар ҳажми каби асосий факторларга боғлиқ бўлиб, тақдим этилаётган мақолада металургия корхонасининг электр энергиясининг прогнозлаши модели асосий компонент усулини қўллаш асосида ишлаб чиқиласди. Прогнозлаши моделини ишлаб чиқшида прогнозлаши кўрсаткичига таъсир этувчи технологик жараённи характерловчи ишлаб чиқаршишинг хусусияти, технологик қурилмаларнинг электр энергияси истеъмоли режимлари ҳамда технологик ва ишлаб чиқарши факторлари ҳисобга олинган. Юқорида келтирилган факторларнинг ҳисобга олиниши прогнозлашида ҳисоб-китоб ишларини соддалаштириши ва аниқликни ошириши имконини беради. Ишлаб чиқилган прогнозлаши модели бўйича ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичларни таққослаши графиги келтирилган бўлиб, ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги нисбий ва абсолют хатоликнинг кичиклиги ишлаб чиқилган моделнинг адекватигини асослайди. Бу эса мазкур моделни қора металургия корхоналари электр энергия истеъмоли параметрларининг прогноз қийматларини аниқлашида қўллаши мумкинлигини ифодалайди.

Точное прогнозирование электропотребления обеспечивает успех работы промышленных предприятий. Каждое из предприятий, имея точный прогноз величины потребляемой мощности, строго контролирует её, так как отклонения влекут за собой сбои в работе, а иногда и финансовые штрафы. В настоящее время прогнозирование электропотребления на определенный период является важной задачей на рынке электроэнергии. Существующие методы прогнозирования обладают

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

индивидуальными характеристиками и имеют свои преимущества и недостатки. Выбор методов прогнозирования зависит от таких основных факторов, как сроки, на которые производится прогнозирование, а также объем первичной информации. В представленной статье разрабатывается модель прогнозирования электроэнергии metallurgических предприятий применением метода главных компонент. При разработке прогнозной модели учитываются особенности производства, характеризующие технологический процесс, режимы электропотребления технологического оборудования, а также влияние технологических и эксплуатационных факторов на прогнозные значения. Учет вышеприведенных факторов позволяет значительно упростить и повысить точность расчетов прогнозирования. Приведены графики сравнения фактической и прогнозной величин электропотребления по разработанной модели. Анализ величин прогнозных ошибок показывает, что низкий процент погрешности обусловлен адекватностью разработанных математических моделей параметров электропотребления, их можно применять при определении прогнозных параметров электропотребления на предприятиях черной металлургии.

Accurately predicting energy consumption ensures industrial success. Each of the enterprises, having an accurate forecast of the amount of power consumed, strictly controls it, since deviations entail malfunctions, and sometimes financial penalties. Currently, forecasting electricity consumption for a certain period is an important task in the electricity market. The existing forecasting methods have individual characteristics and have their own advantages and disadvantages. The choice of forecasting methods depends on such basic factors as the timing of forecasting, as well as the amount of primary information. In this article, a model for forecasting the electricity of metallurgical enterprises is developed using the method of principal components. When developing a predictive model, the features of production that characterize the technological process, modes of power consumption of technological equipment, as well as the influence of technological and operational factors on energy indicators, which affect the predicted values, are taken into account. Taking into account the above factors can significantly simplify and improve the accuracy of forecasting calculations. The graph comparing the actual and predicted values of power consumption according to the developed model is presented. Analysis of the values of predictive errors shows that a low percentage of error is due to the adequacy of the developed mathematical models of power consumption parameters; they can be used to determine the predicted values of power consumption parameters at ferrous metallurgy enterprises.

Introduction. One of the methods of multivariate statistical analysis is the principal component method, which is used to reduce the dimension with the least loss of useful information. Reducing the number of variables in a data set naturally comes at the expense of accuracy. This is because smaller source data is easier to study and represent, and data analysis is much easier and faster when algorithms are created without processing extraneous variables [1-6].

So, the idea behind PCA is simple - reduce the number of variables in the dataset and save as much data as possible. This is achieved by creating new, unrelated variables that continually increase variability. Finding such new variables involves solving key components, a specific value / vector problem, and new variables are determined a by the data set, not by PCA. Converted to a flexible data analysis method. It is also adaptive in a different sense, as various types of methods and options have been developed that are adapted to data structures [7, 8].

The need to reduce the dimension of the source data arises from the following reasons:

- the need to visually represent the originally selected data, which can be achieved by projecting it into a specially selected three-dimensional space, plane, or number line;
- the desire to simplify the models studied due to the need to simplify the calculation and interpretation of the results;
- the need to reduce the amount of data stored.

The importance of reducing the dimension of the source information is related to the following conditions:

- non-informational properties whose values change slightly when moving from one object to another;
- Multiplication of information due to the correlation of the original characteristics;
- the ability to aggregate the original features.

Methods. The principal component method has advantages over other methods, such as regression analysis and Fourier analysis. It is also simple and straightforward to use. The method is based on changing a one-dimensional series to a multidimensional one using a one-parameter shift procedure, investigating the resulting multidimensional trajectory by analyzing the principal components (singular value expansion) and reconstructing (approximating) the series from the selected principal components.

The main disadvantages of the principal component method are [9-11]:

- rapid aging of the control system;
- the method can only work with continuous data.

For the first time the principal component method was used for problems of best approximation of a finite set of points by straight lines and planes (Pearson, 1901). A finite set of vectors is given here $x_1, x_2, \dots, x_m \in R^n$, for

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

each $k = 0, 1, \dots, n-1$. Of all k -dimensional linear manifolds R^n find such a thing $L_k \subset R^n$ what is the sum of squared deviations x_i it must be minimal:

$$\sum_{i=1}^m dist^2(x_i, L_k) \rightarrow \min ,$$

where, $dist^2(x_i, L_k)$ is the Euclidean distance from a point on the linear manifold. Anything k an n -dimensional linear manifold in R^n can be specified as a set of linear combinations

$L_k = \{a_0 + \beta_1 a_1 + \dots + \beta_k a_k \mid \beta_i \notin R\}$, where the parameters are β_i run through the real line R , $a_0 \in R^n$ $a\{a_1, \dots, a_k\} \subset R^n$ - orthonormal set of vectors

$$dist^2(x_i, L_k) = \left\| x_i - a_0 - \sum_{j=1}^k a_j (a_j, x_i - a_0) \right\|^2 ,$$

$\|\cdot\|$ where is the Euclidean norm, (a_j, x_i) - Euclidean dot product, or in coordinate form:

$$dist^2(x_i, L_k) = \sum_{l=1}^n \left(x_{il} - a_{0l} - \sum_{j=1}^k a_{jl} \sum_{q=1}^n a_{jq} (x_{iq} - a_{0q}) \right)^2 .$$

Solving the approximation problem for $k=0, 1, \dots, n-1$ is given by a set of nested linear manifolds

$$L_0 \subset L_1 \subset \dots \subset L_{n-1},$$

$$L_k = \{a_0 + \beta_1 a_1 + \dots + \beta_k a_k \mid \beta_i \notin R\}.$$

These linear manifolds are defined by an orthonormal set of vectors $\{a_1, \dots, a_{n-1}\}$ (principal component vectors) and the vector a_0 . Vector a_0 it is sought as a solution to the minimization problem for L_0 :

$$a_0 = \arg \min_{a_0 \in R^n} \left(\sum_{i=1}^m dist^2(x_i, L_0) \right),$$

so,

$$a_0 = \arg \min_{a_0 \in R^n} \left(\sum_{i=1}^m \|x_i - a_0\|^2 \right).$$

This is the sample average:

$$a_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i = \bar{X} .$$

In 1948, Frechet noticed that the variational definition of the mean is very convenient for compiling statistics in an arbitrary metric space and created

a generalized classical statistic for general spaces (the method of least generalized squares).

Accordingly, the principal component vectors can be computed as similar optimization problems:

1. 1. data are centralized (by subtracting the average). $x_i := x_i - \bar{X}$

$$\text{Now } \sum_{i=1}^m x_i = 0;$$

2. 2. How to determine the first principal component to solve the problem:

$$a_1 = \arg \min_{\|a_1\|=1} \left(\sum_{i=1}^m \|x_i - a_1(a_1, x_i)\|^2 \right)$$

If the solution is not the only one, one of them is chosen.

3. the projections on the first principal component are subtracted from the data:

$$x_i := x_i - a_1(a_1, x_i);$$

4. 4. how the second principal component is defined to solve the problem:

$$a_2 = \arg \min_{\|a_2\|=1} \left(\sum_{i=1}^m \|x_i - a_2(a_2, x_i)\|^2 \right)$$

If the solution is not the only one, then one of them is selected. Then the process continues, that is, at step $2k - 1$, the projections to the $(k - 1)$ th principal component are subtracted:

$$x_i := x_i - a_{k-1}(a_{k-1}, x_i);$$

The k -th principal component is defined as the solution of the problem in step $2k$:

$$a_k = \arg \min_{\|a_k\|=1} \left(\sum_{i=1}^m \|x_i - a_k(a_k, x_i)\|^2 \right)$$

(if the solution is not the only one, then one of them is selected).

At each preparation step $(2k - 1)$, the projection on the previous component is subtracted. Found vectors they are orthonormal simply as a result of solving the described optimization problem, but to prevent computational errors from violating the mutual orthogonality of the principal component vectors, you can include in the constraints of the optimization problem.

Non-uniqueness in the definition may be more significant, in addition to trivial arbitrariness in the choice of sign (and solve the same problem), and may arise, for example, from the conditions of data symmetry [12].

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Last main component a_n - uniqueyx vector orthogonal to all the prevyremote controlshchthem a_k .

Four basic ways of solving the problem using the principal component method are presented below [13-15]:

- Replacing the existing initial features with linear manifolds of lower dimension;
- Identification of an orthogonal projection with maximum variance (standard deviation from the mean);
- Identification in the orthogonal projection of a subspace of lower dimension in which the square root distance between points is the maximum;
- creation of an orthogonal coordinate for the original features so that the correlation coefficient between them is zero.

Next, we will consider in detail the applications of the principal component method in predicting electricity consumption based on multivariate analysis. To solve this problem, an enlarged block diagram of the algorithm for predicting electricity consumption by the principal component method is constructed (Fig. 1).

As source data inybrans the following factors:

- Φ_1 - loading capacity of the furnace, t;
- Φ_2 - quantity of metal loaded, t;
- Φ_3 - mass of loaded metal charge, t;
- Φ_4 - duration of metal melting, min;
- Φ_5 - duration of operation under current, min.

Determine the extent to which these factors affect electricity consumption. It is quite possible that these indicators are correlated.

Since the initial data differ in measurement scale, we will consider a vector of center-normalized features $F=(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5)$ and based on the original data matrix X, calculate the correlation matrix [16-17].

The correlation matrix has the following form:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -0,31664 & -0,31602 & -0,31565 & -0,197091 & -0,21457 \\ -0,31664 & 1 & 0,999696 & 0,999277 & 0,519265 & 0,324651 \\ -0,31602 & 0,999696 & 1 & 0,999679 & 0,522692 & 0,264124 \\ -0,31565 & 0,999277 & 0,999679 & 1 & 0,521547 & 0,657814 \\ -0,19709 & 0,519265 & 0,522694 & 0,521547 & 1 & 0,321487 \\ -0,21457 & 0,324651 & 0,264124 & 0,657814 & 0,321487 & 1 \end{bmatrix}$$

Analysis of the selected and accumulated variance for each factor shows the percentage of total variance for each factor (in this example, it is 5). As you can see, the first factor (value 1) explains 69.65 percent of the total

variance, factor 2 explains 17.28 percent, and so on. The difference explained by the sequence factors is shown in the following table:

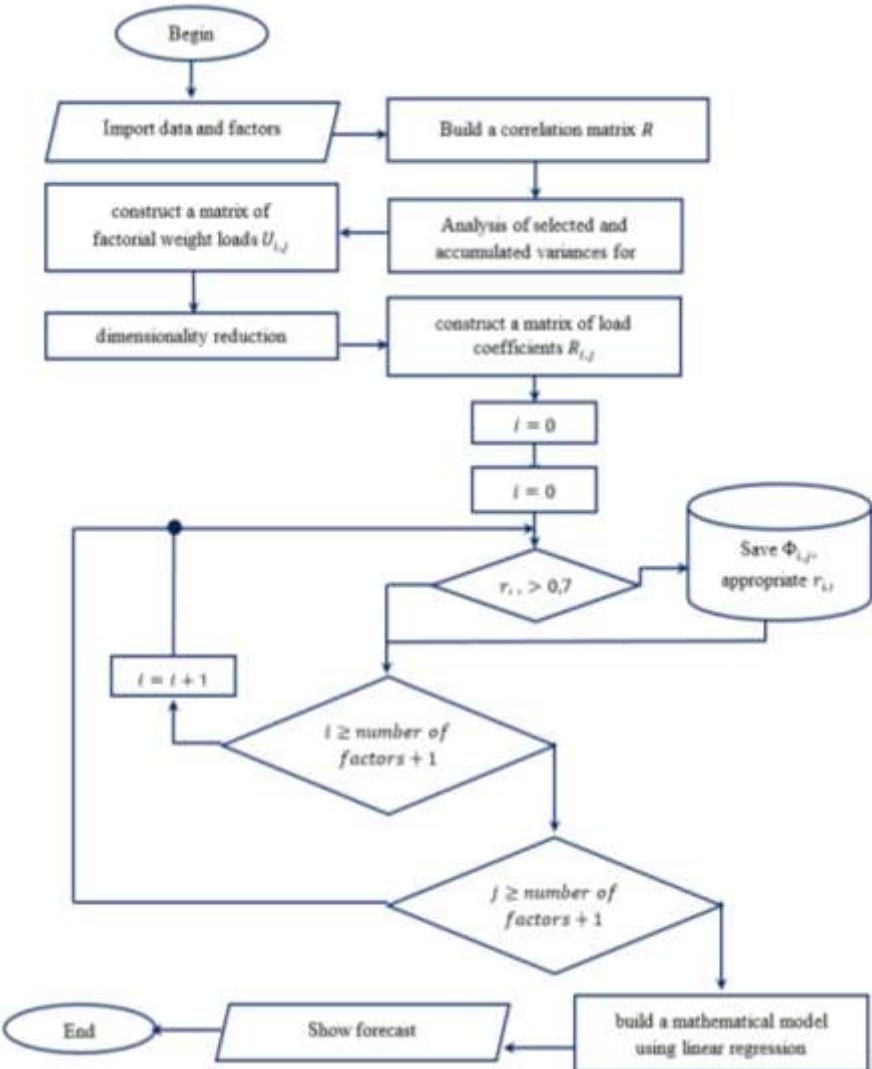


Fig. 1. Enlarged block diagram of the principal component algorithm for predicting power consumption

Values	% of total dispersion	% cumulative
1	69,65	69,65
2	17,28	86,94
3	13,04	99,98
4	0,014	99,99
5	0,003	100,0

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Using the principal component method, we obtain the principal matrix of factor weights. In parallel, we analyze the eigenvalue matrix of the correlation matrix.

Matrix of weight loads of factors:

$$U = \begin{bmatrix} -0,42577 & 0,90367 & -0,04563 & -0,29278 & -0,39021 \\ 0,97914 & 0,10209 & -0,17455 & -0,01866 & -0,00555 \\ 0,97982 & 0,10328 & -0,17077 & -0,00055 & 0,01065 \\ 0,97944 & 0,10346 & -0,17199 & 0,01924 & -0,00508 \\ 0,65063 & 0,12643 & 0,74879 & -0,88327 & -0,32493 \end{bmatrix}.$$

When reducing the property field to two principal components, only the first two columns of the U matrix should be considered [18-20]

The principal components are associated with the following linear relations with centralized normalized initial properties:

$$\begin{aligned} W_1 &= -0,42577\Phi_1 + 0,97914\Phi_2 + 0,97982\Phi_3 + 0,97944\Phi_4 + 0,65063\Phi_5 \\ W_2 &= 0,90367\Phi_1 + 0,10209\Phi_2 + 0,10328\Phi_3 + 0,10346\Phi_4 + 0,12643\Phi_5 \end{aligned}$$

To interpret the new features, it is necessary to analyze the matrix of factor loadings:

$$R = \begin{bmatrix} -0,76494 & 0,983586 & -0,07316 & -0,60971 & -0,01433 \\ 0,96225 & -0,14342 & 0,03046 & -0,01863 & -0,00559 \\ 0,961577 & -0,14261 & -0,23434 & -0,00056 & 0,01065 \\ 0,261779 & -0,14229 & 0,03310 & 0,01926 & -0,00502 \\ 0,30014 & -0,07934 & -0,25058 & 0,59948 & 0,35618 \end{bmatrix}$$

Since the calculations are based on a correlation matrix of factor loadings, these are the output characteristics and correlation coefficients of the principal components. As can be seen from the matrix, there is no close relationship between the initial characteristics and the last three principal components. This only confirms the correct choice of the first two principal components. The factor loading matrix has a size of the form:

$$A = \begin{bmatrix} -0,76494 & 0,983586 \\ 0,96225 & -0,14342 \\ 0,961577 & -0,14261 \\ 0,261779 & 0,84229 \\ 0,30014 & -0,07934 \end{bmatrix}.$$

Results. The first principal component is strongly positively related (correlation coefficient above 0.7) to three data sources: Φ_1 - furnace charging capacity, t; Φ_2 - amount of transported metal, t; Φ_3 - mass of charged metal

charge, i.e. the second principal component is closely positively related to the output data Φ_1 - furnace charging capacity, t; Φ_4 - duration of metal melting, min. For certain principal factors, linear regression is used to construct a mathematical model that takes the following form:

$$W = 36264 - 63,74\Phi_1 + 46,89\Phi_2.$$

After the predicted values of the object of study are determined and compared with the actual data (Fig. 1).

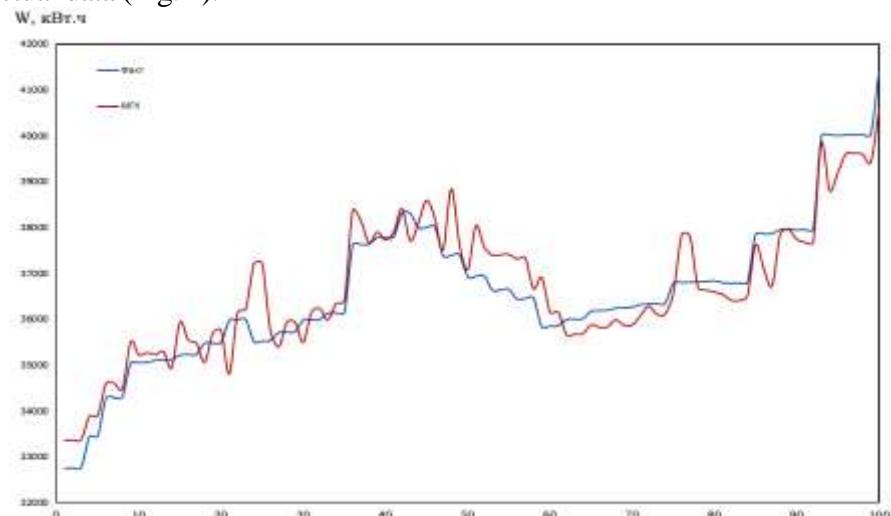


Fig.2. Comparison of actual and forecast values of electricity consumption according to the developed model with the principal component method

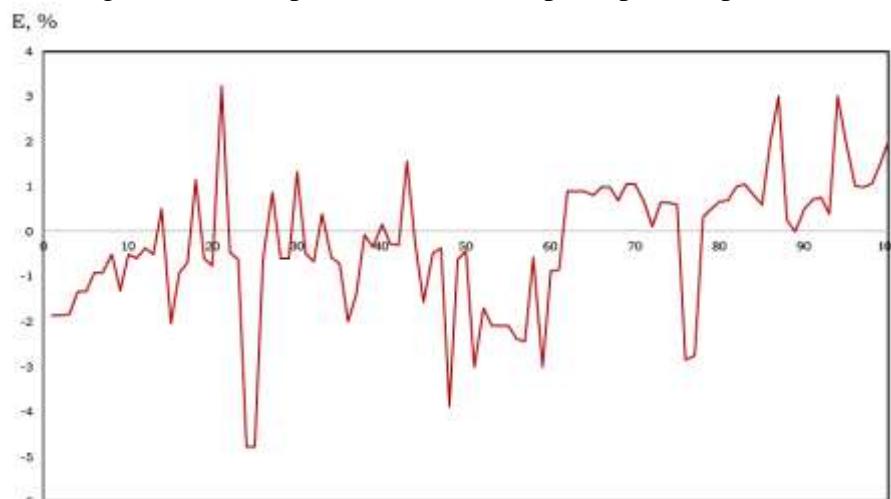


Fig.3. Error curve difference between actual and predicted values of electricity consumption based on the developed model using the principal component method

Conclusion. From Fig.2, it can be seen that the actual and predicted values of electricity consumption coincide at several time intervals. For example,

at points 2-15, 18-20, 26-27, 33-34 they agree but at other points there are significant decreases which affect the adequacy of the developed prediction model. The average error value of the model is (Fig.3) within the limits of +3 - -5%, which means that the developed model can be used as a forecasting model in determining the predicted values of electricity consumption.

References

1. A.V. Kabyshev, A.I. Muravlev, G.A. Nizkodubov. Electrical supply of industrial enterprises / doi.org/10.1051/e3sconf/201912402006.
2. Кирпичникова И.М., Соломохо К.Л. Исследование методов прогнозирования электропотребления сбытового предприятия // ЭСиК - №3 (24) - С. 39-43.
3. Rakhmonov I.U. Existing Methods and Approaches to Forecasting Electric Consumption at Industrial Enterprises // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India, 2019. – Vol. 6, Issue 2, February 2019. ISSN: 2350-0328. PP. 8183-8185.
4. Аборцов Ю. и др. Использование современных подходов и методов для прогнозирования электропотребления // Электротехника. 2006. №8. - С. 30-35.
5. Кирпичникова И.М., Саплин Л.А., Саломохо К.Л. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии // Вестник ЮурГУ. Серия “Энергетика”. 2014, том 14, - №2. - С. 16-21.
6. Борцов Ю.А. и др. Использование современных подходов и методов для прогнозирования электропотребления // Электротехника. 2006. - №8. - С. 30-35.
7. Воронов И.В. и др. Определение параметров, влияющих на электропотребление промышленного предприятия с помощью метода экспертизы оценок // Вестник КузГТУ. - 2009, №5. - С.61-64
8. Ершов М.С., Голованов С.А., Григорьев Г.Я. Моделирование электропотребления в системах промышленного электроснабжения // Промышленная энергетика. 1999, №5, С.22-25.
9. Соломохо К.Л. Применение метода главных компонент для прогнозирования объемов электропотребления энергосбытового предприятия. /Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Челябинск.: ЮУГУ. -2015.
10. Раннер А.Г. Снижение размерности признакового пространства методом главных компонент в пакетах Statistica, Stata, Excel: методические указания к лабораторным работам, практическим занятиям и самостоятельной работе студентов / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 46 с.

11. Большаков А.А., Каримов Р.Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 522 с.
12. Тихонов, Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: Учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006 – 211 с.
13. Афанасьев, В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. 2-е изд., перераб. й доп. — М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 320 с.
14. Валь П.В. Концепция разработки системы прогнозирования электропотребления промышленного предприятия в условиях оптового рынка/ П.В. Валь, Ю.П. Попов// Промышленная энергетика. 2011.- №10. – С. 31-35.
15. Rakhmonov I.U., Hoshimov F.A. Development of an Algorithm for Evaluating the Dominant Factors that have the Greatest Impact on the Energy Intensity of Products // E3S Web Conf. Volume 209. Sustainable Development and Smart Management, ENERGY-21. Doi: 10.1051/e3sconf/202020907018.
16. Rakhmonov I.U., Reymov K.M., Najimova A.M., Uzakov B.T., Seytmuratov B.T. Analysis and calculation of optimum parameters of electric arc furnace//Journal of Physics: Conference Series. APITECH-2019. 1399 (2019) 055048 doi:10.1088/1742-6596/1399/5/055048.
17. Rakhmonov I.U. Regulation of energy consumption in the iron and steel mills. // Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2018. - №5-6 May-June. PP. 327-329.
18. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N. Analysis of existing methods of electric consumption. // Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2018. - №9-10 September-October. PP. 209-211.
19. Hoshimov F.A., Rasulov A.N., Taslimov A.D., Rakhmonov I.U. The current state of electrometallurgy in Uzbekistan: Monograph, “East West” Association Studies and Higher Education GmbH.– Vienna, Austria, 2017. – 84 p.
20. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Программа прогнозирования электроэнергии предприятий с непрерывным характером производства /Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №07765 21.02.2020.

*Presented by Tashkent state
technical university*

**СУТКАНИНГ “ЭРТАЛАБКИ” ВА “КЕЧКИ” ТИФИЗ ДАВЛАРИДА
ХУДУДЛАРДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕМОЛИНИНГ
ТАХЛИЛИ**

Х.М. Муратов, К.Ш. Кадиров

Мақолада Ўзбекистон Республикасида электр энергиясига бўлган талабнинг 2019 йил ёзги ва қишиги даврларида истеъмолининг минимал ва максимал юкламига графиклари таҳлил қилинган. Ўз навбатида турли мамлакатларда иқлим ва ижтимоий-иқтисодий шароитларига мос равишда, энергетика тизимининг электр юкламалар графиги ўзига хос хусусиятларга эга бўлади. Хусусан, Ўзбекистонда ҳам электр энергиясига бўлган талабнинг ортиб бориши юкламанинг турли шаклларда ўзгаришига сабаб бўлмоқда. Жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида ҳозирги кунда электр энергияси истеъмолини ҳисобга олишида вақт бўйича табақалашибирлган тарифлар тизимларини қўллаш учун юқори самарадор технологияларни яратиш, истеъмолчиларнинг электр энергия истеъмолини баҳолаши усуllibарини ишлаб чиқиши, электр энергияси сарфини меъёrlаштириши, электр энергия истеъмоли жараёнини комплекс бошқарии тизимини ишлаб чиқиши, электр энергия истеъмолини бошқарии жараёнда бошқарув ва техник омилларнинг комплекс таъсири даражасини аниқлаши, электр энергия истеъмолини ишлаб чиқарии ва технологик омилларга боғлиқлик даражасини аниқлаши усуllibарини такомиллашибирли масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Электр энергияси истеъмоли сутканинг “эрталабки” ва “кечки” тигиз даврларида ошиб кетиши бу энергетика тизимида юкламаларнинг нотекис графикини келтириб чиқаради. Бу ҳолатнинг олдини олиши учун турли мамлакатларда турлича ёндашилади. Шу билан бирга, истеъмолчиларга электр энергиясининг нотекис графикини тўғирлаши муаммосини ҳал этиши анъанавий тарзда турли йўллар билан амалга оширилади. Яъни, қайсиdir давлат тигиз даврларда белгиланган лимитларда электр энергияси истеъмолини чегараласа, қайсиdir тигиз даврлар учун электр энергияси тўловини 2-3 баравар қимматлашибирли эвазига ушибу ҳолатни бартараф этади. Ўзбекистон ягона электр энергетика тизимининг электр истеъмол графикларининг кўрсатгичлари бир хил эмас. Бу айниқса ёзги даврда анча сезиларлиди. Республиkanинг барча ҳудудлари ёзги мавсумида бир суткалик “эрталабки” ва “кечки” тигиз даврларда бошқа даврларга нисбатан электр энергияси истеъмолининг ошиб кетиши ва ушибу сутка давомида истеъмолчиларнинг электр энергиясига бўлган талаби жуда нотекис эканлиги ҳамда ушибу нотекислик даражасини табақалашибирлган

тарифларни қўллаб графикларни текислашга имконият яратиши мумкинлиги ушибу мақолада келтириб ўтилган.

В статье проанализированы минимальные и максимальные графики суточного потребления электроэнергии в Республике Узбекистан в летний и зимний периоды за 2019 год. В свою очередь, в соответствии с климатическими и социально-экономическими условиями в разных странах, графики электрических нагрузок энергосистем будут иметь свои особенности. В частности, растущий спрос на электроэнергию в Узбекистане вызывает изменения нагрузки в различных формах. Для применения дифференцированных тарифных систем при учете потребления электроэнергии в развитых странах мира особое внимание уделяется: разработке высокоэффективных технологий, разработке методов оценки потребления электроэнергии, стандартизации потребления электроэнергии, разработке интегрированной системы управления потреблением электроэнергии и совершенствованию методики определения уровня комплексного воздействия управлеченческих и технических факторов. Увеличение потребления электроэнергии в «утренний» и «вечерний» периоды дня приводит к неравномерному графику нагрузок в энергосистеме. Чтобы предотвратить эту ситуацию, в разных странах используются разные подходы. При этом решение проблемы корректировки неравномерного графика подачи электроэнергии потребителям традиционно осуществляется разными способами. Некоторые государства устанавливают лимиты на потреблению электроэнергии в периоды пиковой нагрузки, а другие решают этот вопрос, увеличив стоимость электроэнергии в 2-3 раза в периоды пиковой нагрузки. Показатели графиков электропотребления Единой энергетической системы Узбекистана в разные периоды года не совпадают. Особенно это заметно летом. В статье показано, что рост потребления электроэнергии во всех регионах страны в летний сезон в «утренние» и «вечерние» пиковые периоды, по сравнению с другими периодами, и в таком день спрос потребителей на электроэнергию очень неравномерен. Также приведены возможности выравнивания графиков с применением дифференцированных тарифов.

The article analyzes the minimum and maximum graphs of the load of electricity consumption in the Republic of Uzbekistan in the summer and winter periods for 2019. In turn, in accordance with climatic and socio-economic conditions in different countries, the schedule of electrical loads of the power system will have its own characteristics. In particular, the growing demand for electricity in Uzbekistan is causing load changes in various forms. Currently, for the application of differentiated tariff systems when accounting for

electricity consumption in developed countries of the world, special attention is paid to: the development of highly efficient technologies, the development of methods for assessing electricity consumption, the standardization of electricity consumption, the development of an integrated electricity consumption management system, and technical factors, depending on power generation and technological factors. The increase in electricity consumption in the "morning" and "evening" periods of the day leads to an uneven schedule of loads in the power system. To prevent this situation, different countries use different approaches. At the same time, the solution to the problem of correcting an uneven schedule of electricity supply to consumers is traditionally carried out in different ways. That is, some states set limits on electricity consumption during peak periods, while others solve this issue by increasing the cost of electricity 2-3 times during peak periods. The indicators of the power consumption charts of the Unified Energy System of Uzbekistan do not coincide. This is especially noticeable in the summer. The article shows that the growth of electricity consumption in all regions of the country in the summer season in the morning and evening peak periods compared to other periods, and on this day the demand for electricity from consumers is very uneven. The possibilities of aligning schedules using differentiated tariffs are also given.

Электр энергия бозорида уни ишлаб чиқариш, тақсимлаш ва истеъмол қилишдаги ўзгаришлар туфайли электр энергетика тизимининг худудий ривожланиши, маҳаллий электр энергия таъминоти барқарорлиги, электр энергия бозорларини либераллаштириш, энергетика тизимининг ишлаши учун шароитларнинг тобора кўпайиб бораётган ноаниқлиги билан бир вақтда, бозор ва давлат томонидан тартибга солиш механизмларининг мақбул комбинациясини асослаш бўйича илмий тадқиқотларга бўлган эҳтиёж янада ошмоқда [1,2].

Шунингдек, электр энергиясини етказиб бериш ва уни истеъмол қилишда тарифларни такомиллаштириш масалалари алоҳида долзарб бўлиб, янги тарифларни ишлаб чиқиш ёки мавжуд тарифлар тизимидан тўғри фойдаланиш эвазига электр энергия етказиб берувчи ва истеъмолчилар техник имкониятлари ва самарадорлигини ошириш зарур ҳисобланади [3].

Турли тариф усулларни ўрганиш ва уларни турли хил параметрларга кўра фарқлаш, электр энергиясини етказиб берувчи ва иқтисодиёт тармоқлари ташкилотлари (истеъмолчилар) мақбул тарифларни белгилашга имкон беради [14]. Буларнинг барчаси тартибга солинадиган давлат назорати ва хусусий инвестицияларнинг кўпайиши билан ҳақиқий рақобатбардош бозорни шакллантиришга ва натижада энергетика тизими тарифларининг ўзгаришига ҳам сабаб бўлади [4].

Табақалаштирилган тарифлардан фойдаланиш истеъмолчиларни нафакат ресурсни оқилона сарфлашга [18], балки истеъмол профилини тўғрилаш орқали уларнинг ҳаражатларини оптималлаштиришга ундейдиган тариф менюсини кенгайтиришни таклиф этади [5].

Турли мамлакатларда иқлим ва ижтимоий-иктисодий шароитларига мос равища, энергетика тизимининг электр юкламалар графиги ўзига хос хусусиятларга эга бўлади [12]. Хусусан, Ўзбекистонда ҳам электр энергиясига бўлган талабнинг ортиб бориши юкламанинг турли шаклларда ўзгаришига сабаб бўлмоқда.

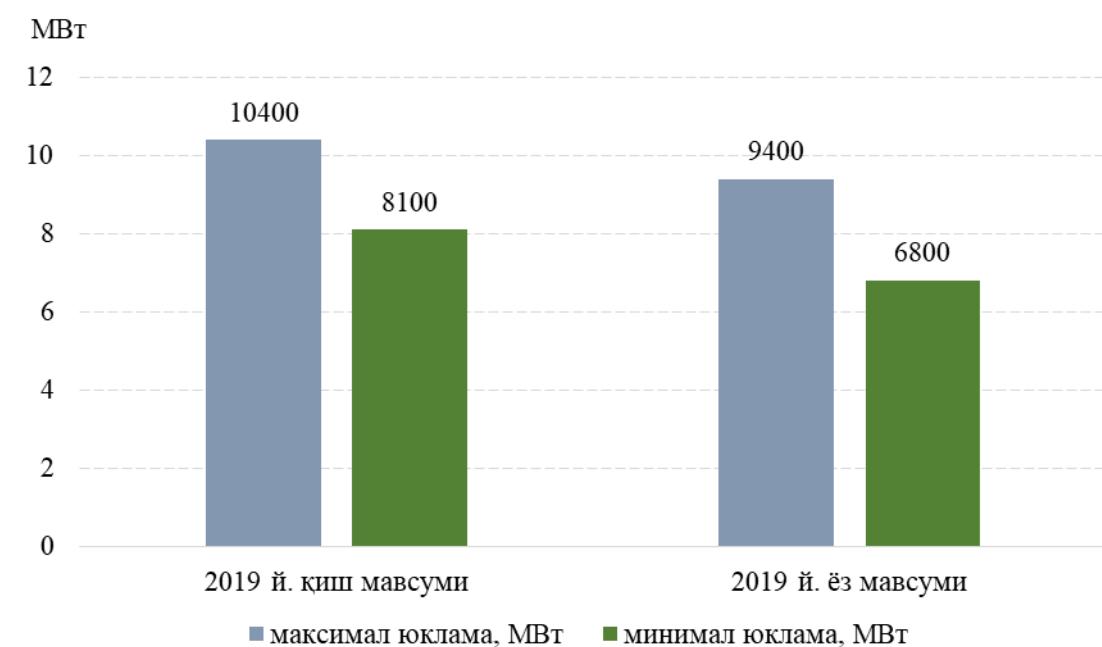
Масалан, Ўзбекистон Республикасида электр энергиясига бўлган талаб 2019 йилда ёз фаслига нисбатан қишида юқори бўлганлигини кўриш мумкин ва ўз навбатида истеъмолнинг ошиб кетиши энергетика тизимидағи юкламаларнинг ошишига сабаб бўлган [19, 20]. Яъни, 2019 йил қишида мавсумида ягона электр энергетика тизимининг максимал юкламалар соатларида юклама 10,4 минг МВтни, минимал ва максимал юклама ўртасидаги фарқ 2,3 минг МВтни ташкил етди. Ўз навбатида, 2019 йилнинг ёз мавсумида ягона электр энергетика тизимининг максимал юкламалар соатларида юклама 9,4 минг МВтга етиб, максимал ва минимал юклама ўртасидаги фарқ 2,6 минг МВт ни ташкил этган (1-расм) [6].

Шу билан бирга, мавжуд тартибга солиш қувватларини етарли эмаслиги ИЭС энергоблокларининг кунлик қўшимча қайта ишга туширилишига, мос равища, ортиқча ёқилғи сарфлашга ва технологик ускуналарнинг қўшимча эскиришига олиб келади [7].

Ушбу ҳолатни бартараф этиш учун эса вакт бўйича табақалаштирилган тарифларни қўллаб, айнан “эрталабки” ва “кечки” тифиз даврлардаги истеъмолни сутканинг бошқа даврларида, яъни “кундузги” ёки “тунги” даврларида ўтказиш мақсадга мувофик хисобланади [17]. Натижада электр энергетика тизимидағи мавжуд ускуналарнинг ишлаш ишончлиги оширилиб, бир текис ишлаши таъминланади.

Ўзбекистон ягона электр энергетика тизимининг электр истеъмол графикларининг кўрсатгичлари бир хил эмас. Бу айниқса ёзги даврда анча сезиларли эканлигини 1-расмдан кўриш мумкин. Республикада сутка давомида истеъмолчиларнинг электр энергиясига бўлган талаби жуда нотекис эканлиги ва ушбу нотекислик даражаси ёзги ва қишики даврларда тахминан бир хил эканлигини кўриш мумкин [8].

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ



1-расм. 2019 йил қыш ва ёз мавсумларида минимал ва максимал юклама графилари

Сутканинг тифиз даврларидаги истеъмол қилинган электр энергия бу бевосита энергетика тизимидағи ускуналар ишлаш ишончлилигини пасайтириб юборади, бу эса ўз навбатида авария ҳолатларининг келиб чиқишига олиб келиши мумкин [13]. Вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар тизимини жорий этиш энергетика тизимининг юкламалар даврини камайтиришда қўл келади [9].

Ўзбекистонда электр энергияси истеъмоли ҳудудлар кесимида турли хил бўлиб рухсат этилган ва истеъмол қилинган электр энергиялари миқдорлари мавжуд. Ушбу ҳолатни ёз фаслининг бир сутка давомидаги “эрталабки” ва “кечки” тифиз даврлари мисолида таҳлил қилинганда (1-жадвал) қўйидагилар аниқланди [11, 16]:

- республика электр энергияси истеъмолчиларининг эрталабки тифиз даврдаги рухсат этилган электр энергия қуввати истеъмоли 6705 МВт бўлса (3.07.2021 й.), ушбу кўрсаткич 7347 МВт ни ташкил этиб, 642 МВт ортиб кетиш ҳолати кузатилмоқда;

- ҳудудлар бўйича “эрталабки” тифиз даврдаги рухсат этилган истеъмолдан фақатгина Сурхондарё вилояти (рухсат этилган 365 МВт, истеъмол қилинган 352 МВт, 13 МВт кам) ва Сирдарё вилояти (рухсат этилган 180 МВт, истеъмол қилинган 130 МВт, 50 МВт кам) вилоятлари камроқ истеъмол қилаётганлигини кузатиш мумкин;

1-жадвал
Республика электр энергияси истеъмолчиларининг “эрталабки” тифиз даврдаги электр энергияси истеъмол кўрсатгичлари (3.07.2021 й.)

№	Худудлар	Рухсат этилган қувват микдори (МВт)	Истеъмол қуввати (МВт) факт	Истеъмол фарқи (МВт)
1	Қорақалпоғистон Республикаси	200	212	+12
2	Андижон вилояти	430	465	+35
3	Бухоро вилояти	470	488	+18
4	Жиззах вилояти	290	297	+7
5	Қашқадарё вилояти	750	865	+115
6	Навоий вилояти	970	978	+8
7	Наманган вилояти	450	507	+57
8	Самарқанд вилояти	490	567	+77
9	Сурхондарё вилояти	365	352	-13
10	Сирдарё вилояти	180	130	-50
11	Тошкент вилояти	640	800	+160
12	Фарғона вилояти	600	621	+21
13	Хоразм вилояти	220	260	+40
14	Тошкент шаҳар	650	805	+155
Жами:		6705	7347	+642

Бундан ташқари, республика электр энергияси истеъмолчиларининг “кечки” тифиз даврдаги рухсат этилган электр энергия қувват истеъмоли 7780 МВт бўлса (3.07.2021 й.), ушбу кўрсаткич 8388 МВт ни ташкил этиб, 608 МВт ортиб кетиш ҳолати кузатилмоқда (2-жадвал).

Худудлар бўйича “кечки” тифиз даврдаги рухсат этилганидан фақатгина Қорақалпоғистон Республикаси (рухсат этилган 260 МВт, истеъмол қилинган 256 МВт, 4 МВт кам) ва Сирдарё вилояти (рухсат этилган 220 МВт, истеъмол қилинган 180 МВт, 40 МВт кам) камроқ қувват истеъмол қилаётганлигини кузатиш мумкин (2-жадвал).

Тифиз даврларда истеъмолчиларни сутканинг бошқа даврларига ўтказиш зарурати мавжуд ва бу юкламалар давридаги истеъмолни камайтиришда вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар тизимини

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

жорий этиш орқали юкламалар давридаги истеъмолни камайтириш мумкин.

2-жадвал.

Республика электр энергияси истеъмолчиларининг “кечки” тифиз даврдаги электр энергияси истеъмол кўрсатгичлари (3.07.2021 й.)

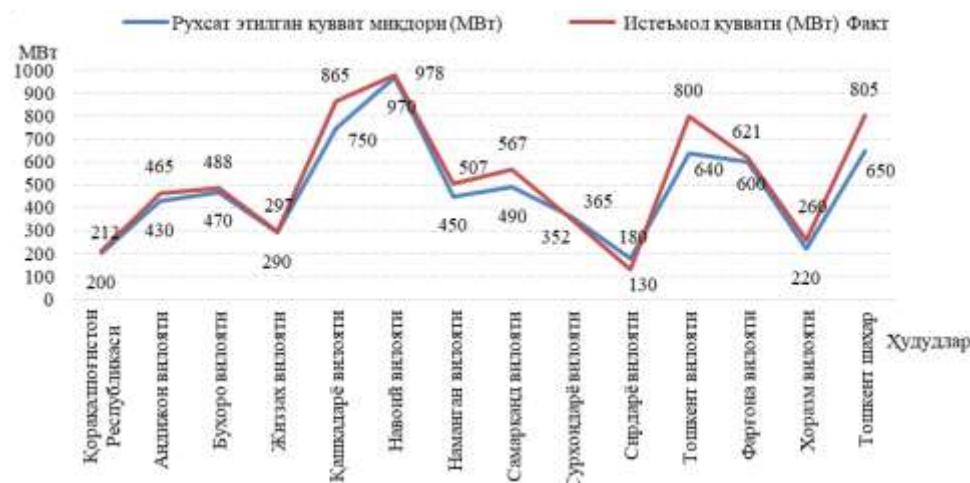
№	Худудлар	Рухсат этилган кувват миқдори (МВт)	Истеъмол куввати (МВт) Факт	Истеъмол фарқи (МВт)
1	Қорақалпоғистон Республикаси	260	256	4
2	Андижон вилояти	520	526	+6
3	Бухоро вилояти	520	522	+2
4	Жиззах вилояти	320	330	+10
5	Қашқадарё вилояти	800	960	+160
6	Навоий вилояти	990	1007	+17
7	Наманган вилояти	520	531	+11
8	Самарқанд вилояти	620	663	+43
9	Сурхондарё вилояти	420	428	+8
10	Сирдарё вилояти	220	180	40
11	Тошкент вилояти	770	915	+145
12	Фарғона вилояти	700	706	+6
13	Хоразм вилояти	270	290	+20
14	Тошкент шаҳар	850	1074	+224
Жами:		7780	8388	+608

1 ва 2-жадваллардан кўриш мумкинки, истеъмолчиларнинг электр энергиясига бўлган талаби “эрталабки” ва “кечки” тифиз даврларда юқори ва бу республика электр энергетика тизимидағи муаммоли холат хисобланади.

2 ва 3-расмларда Ўзбекистон Республикаси вилоятлари ҳамда Қорақалпоғистон автоном Республикасининг сутканинг эрталабки ва кечки тифиз даврларида рухсат этилган ва истеъмол қилинган электр энергиясининг юклама графиклари келтириб ўтилган (3.07.2021 й.) [11].

Маълумки, сутка давомидаги электр энергия истеъмоли юклама графикини аниқлаш учун анъанавий равишда хисобланган кўрсатгичлар тизимидан фойдаланилади:

- юклама графикининг нотекислиги коэффиценти (K_n) – минимал кувватнинг максимал даражага нисбати;
- максимал электр энергия истеъмол соатлари (T_{max}) энергия сарфининг максимал кувватга нисбатлари.



2-расм. Худудларнинг сутканинг “эрталабки” тифиз даврида рухсат этилган ва истеъмол қилган электр энергиясининг юклами графиғи



3-расм. Худудларнинг сутканинг “кечки” тифиз даврида рухсат этилган ва истеъмол қилинган электр энергиясининг юклами графиғи

Юкламанинг ортиб кетиши бу энергетика тизимиға бир қанча нокулайликлар хусусан, тизимдаги ускуналарнинг ишдан чиқиш ҳолатларини келтириб чиқаради, бу эса ўз навбатида қўшимча харажатларнинг ортишига сабаб бўлади.

Бу ҳолатни бартараф этишда вақт бўйича табақалаштирилган тарифлар тизимидан тўғри фойдаланиб энергетика тизими режимларини такомиллаштириш мумкин. Бунда истеъмолчиларнинг электр энергиясига бўлган талабини сутканинг “тиғиз” бўлмаган даврларига ўтказиш

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

натижасида республика энергетика тизимининг юкламалар даврини бир текис бўлишига олиб келиш имконияти яратилади.

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Махкамасининг “Электр энергияси истеъмолини ҳисобга олиш ва назорат қилиш тизимини такомиллаштиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”. Тошкент ш., 2009 йил 5 июнь, 150-сон қарори.
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Энергия ресурсларидан оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида” ги Тошкент ш., 2017 йил 8 ноябрь, ПҚ-3379-сон қарори.
3. Kadirov K.Sh., Yusupov D.T. Analysis of the modes of the power consumption the enterprises for the purpose of detection of advantages of use of the differentiated tariff for the electric power // European science review (Scientifc journal), Австрия (Вена), 2016, №3-4, 286-288 page.
4. Х.М.Муратов, К.Ш.Кадиров, К.Нурматов Дифференцированный тариф на электрическую энергию - способ снижения нагрузки на электроэнергетическую систему // Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси, Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги, Информатика ва Энергетика муаммолари, 2019-йил, №5, 54-57 бет.
5. Горкин, П. Баланс экономических интересов как принцип тарифной политики. Москва. 2003. № 1. с 9-11.
6. <https://t.me/uzbekenergo>.
7. <http://www.uzbekenergo.uz>.
8. Тарифы на электроэнергию на 2016 год [Электронный ресурс] <http://www.energo-consultant.ru>.
9. Kolcun M., Griger V., Muhlbacher J. Electric power system operation control. Bratislava, Mercury-Smecal. 2004. 299-page.
10. Л.С. Беляев Проблемы электроэнергетического рынка. Новосибирск. 2009. -296 с.
11. <https://het.uz/oz>.
12. ENTSO-E Overview of Transmission Tariffs in Europe: Synthesis 2016 - официальный сайт Европейского сообщества операторов магистральных сетей в области электроэнергетики (ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity) [www.entsoe.eu].
13. Паздерин А.А. Совершенствование системы тарификации услуг на передачу электрической энергии // Научное обозрение. – 2016. – № 20. – С. 207-213.
14. Паздерин А.В. Надбавки и скидки к тарифам на передачу электроэнергии / А.В. Паздерин, И.В. Шевелев, А.А. Паздерин, Н.А.

Морозенко // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – № 5 (50). – С. 46-51.

15. Бартоломей П.И. Направления совершенствования системы оплаты услуг на передачу электроэнергии с учетом международного опыта / П.И. Бартоломей, А.А. Паздерин, А.В. Паздерин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 5 (56). – С. 66-70.

16. Гутюм, Т.Г., Постолатий, В. М. Тарифы на энергоресурсы как инструмент влияния на макроэкономические показатели и конкурентоспособность // 2019 Международная конференция по электромеханическим и энергетическим системам (SIELMEN). – 2019. – С. 433-437. = Gutium, T. G., Postolaty, V. M. Energy Resource Tariffs as a Tool for Comparing and Influencing Macroeconomic Indicators and Competitiveness // 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN). – 2019. – Р. 433-437.

17. Зорина, Т.Г., Прусов, С.Г. Формирование комплексной тарифной политики на энергоресурсы в Беларуси / Т.Г. Зорина, С.Г. Прусов // Белорусский экономический журнал. – 2019. - № 4. - С. 86-99.

18. Родин А.В. Факторы, влияющие на формирование тарифной политики в электроэнергетике, и социально-экономические последствия ее реализации // Вестник МГТУ, том 14, №1, 2011., - С. 210-213.

19. Kh.Muratov, K.Kadirov and D.Kodirov Mechanisms of electrical energy management on different tariffs of industrial enterprises // doi:10.1088/1757-899X/883/1/012163 (2020).

20. Kh. Muratov, K.Sh. Kadirov and A.P. Kushev Changes in tariff prices for electricity consumption and its impact on the energy system // E3S Web of Conferences 216, 01176 (2020).

Энергетика мұаммолари
институты томонидан тақдым этилған

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 658.012.011.56

ЁҚИЛГИ-ЭНЕРГЕТИКА РЕСУРСЛАРИНИ ТЕЖАШНИ БОШҚАРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ЯГОНА МЕЪЁРИЙ МАЪЛУМОТЛАР БАЗАСИНИ ЛОЙИХАЛАШНИНГ МОДЕЛЬ ВА АЛГОРИТМЛАРИ

Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов

Мақолада бугунги кунда иқтисодиётнинг барқарор ўсиши учун юқори сифатли ёқилғи-энергетика ресурсларига бўлган ички талабни барқарор тарзда қондириши, табии ёқилғи-энергетика ресурслари ва энергетика тармоги имкониятидан максимал самарали фойдаланиши ва ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқарши, тежаш ва улардан самарали фойдаланиши жараёнлари тизимили таҳлил қилиниб, мавжуд муаммолари аниқланди. Ушбу тизимили таҳлил натижасида ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашини бошқарши соҳасида олиб борилган тизимили таҳлил натижсаларига асосланган ҳолда «меъёрлаштириши-режалаштириши-тезкор қайд этиши-тизимили таҳлил қилиши-қарор қабул қилиши» жараёнларни ўз ичига олган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашини бошқаршини, ҳамда унинг ҳар бир жараёнидаги модел ва алгоритмларини такомиллаштириши таклиф этилди. Меъёрлаштириши мураккаб жараён бўлиб, корхонанинг тўғри фаолият юритиши айнан унга боғлиқлиги, ҳамда меъёрлаштириши масаласини ечишида аниқ, долзарб ва ишончли маълумотларга эга бўлиш, юқори малакали мутахассислар ёрдамида амалга ошириши, ҳамда замонавий усул ва моделлардан фойдаланиши кераклиги кўрсатилган. Юқорида келтирилган муаммоларни бартараф этишини ҳозирги вақтда ахборот-коммуникация технологиялари ёрдамида амалга ошириб, меъёрлаштириши кўрсаткичларини долзарб ҳолатда ушлаб туриши имконини берадиган ягона маълумотлар базасини яратишнинг замонавий модели кўриб чиқилган. Ушбу ягона маълумотлар базасини нефть ва газ қазиб чиқарши корхонаси мисолида ишлаб чиқиши ёқилғи-энергетика ресурслари, ҳомашё, материал-бутловчи қисм, молиявий ресурс ва бошқа ҳаражатлар сарфларини, сармоя киритишни, қудуқ, ускуна, қурилма, технологик линия ва бошқаларни жорий ва капитал таъмирлашини режалаштириши жараёнини самарадорлигини оширади, бошқарши ва назорат қилиши тизими масалаларини тезкор ва самарали ечиш учун керак бўладиган ишончли маълумотларни тайёрлашга сарф бўладиган вақт ва молиявий ҳаражатларни камайтиши имконини беради.

В статье осуществлен системный анализ процессов управления энергосбережением для устойчивого удовлетворения внутреннего спроса на топливно-энергетические ресурсы высокого качества, максимального

эффективного использования природных топливно-энергетических ресурсов энергетического сектора, а также эффективного управления потреблением, сбережения и контроля расходов топливно-энергетических ресурсов, выявлены существующие проблемы. В результате системного анализа сферы управления сбережением топливно-энергетических ресурсов предлагается усовершенствование моделей и алгоритмов каждого процесса управления сбережением топливно-энергетических ресурсов, которая включает процессы: нормирование - планирование - учет - системный анализ - принятие решений. Нормирование топливно-энергетических ресурсов является сложным процессом, от которого зависит правильное функционирование предприятия, а также необходимость иметь точную, актуальную и достоверную информацию, высококвалифицированных специалистов, использовать современные методы и модели. В работе предлагается решение вышеперечисленных проблем использованием информационных и коммуникационных технологий, созданием современными методами и моделями единой базы данных, позволяющей поддерживать показатели норм и нормативов в актуальном состоянии. Создание единой базы данных, на примере нефтегазодобывающих компаний, обеспечит повышение эффективности процессов планирования текущих и капитальных ремонтов скважин, оборудования, приборов, технологических линий, расходов топливно-энергетических ресурсов, сырья, комплектующих, финансовых ресурсов, а также позволит сократить временные и финансовые затраты на подготовку достоверных нормативных данных, необходимых для оперативного и эффективного решения задач управления энергосбережением.

The article provides a systematic analysis of energy conservation management processes for sustainable satisfaction of domestic demand for high quality fuel and energy resources, maximum efficient use of natural fuel and energy resources and the potential of the energy sector, as well as effective management of consumption, saving and control of expenditures of fuel and energy resources for a stable economic growth and identified existing problems. As a result of this system analysis, in the field of fuel and energy resources conservation management, it is proposed to improve models and algorithms for each process of fuel and energy resources conservation management, which includes such processes as "regulation - planning - accounting - system analysis - decision making". Rationing of fuel and energy resources is a complex process on which the correct functioning of the enterprise depends, as well as the need to have accurate, up-to-date and reliable information, the involvement of highly qualified specialists, as well as the use of modern methods and models. The paper proposes a solution to the above problems with the use of information and communication technologies,

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

creating modern methods and models of unified databases that allow maintaining the indicators of norms and standards up to date. The creation of unified databases, using the example of oil and gas producing companies, will ensure an increase in the efficiency of planning processes for current and capital repairs of wells, equipment, instruments, technological lines and the costs of fuel and energy resources, raw materials, components, financial resources, and also allows you to reduce time and financial costs on the preparation of reliable regulatory data necessary for the prompt and effective solution of the problems of the control system.

Кириш. Жаҳонда бугунги кунда ички энергия бозорларини ривожлантириш сиёсатининг стратегик мақсади иқтисодиётнинг барқарор ўсиши учун юқори сифатли ёқилғи-энергетика ресурсларига бўлган ички талабни барқарор тарзда қондириш, табиий ёқилғи-энергетика ресурслари ва энергетика тармоғи имкониятидан максимал самарали фойдаланишдан иборат. Ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқариш, тежаш ва улардан самарали фойдаланиш муаммоси ишлаб чиқариш соҳасида фаолият юритаётган нефть ва газ қазиб чиқариш корхона ва компаниялар ривожланишининг устивор йўналишларидан бири бўлиб келмоқда [1,2].

Сўнгти йилларда жаҳон миқёсида барқарор ривожланиш концепциясини амалга ошириш тушунчаси аҳамиятининг ортиб бориши, ғоя ва асосий тамойилларининг оммалашши, жаҳон иқтисодиётида ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқариш соҳасида янада чуқур тадқиқотлар ўтказиш зарурлигини кўрсатмоқда. Кўриниб турибдик, у кўп йўналишли илмий билимларни қўллашни талаб этадиган масалалар мажмуи бўлганлиги сабабли ушбу йўналишда кўп томонлама тадқиқот олиб бориш керак. Бозор муносабатларида нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналари бошқарув тизимининг ҳар қандай даражасида ноаниқ қарор қабул қилиш, улар учун оғир салбий оқибатларга олиб келиши мумкин. Шунинг учун, ишлаб чиқариш ва хўжалик операцияларни амалга ошириш жараёнидаги вақтни камайтириш ва ишончли қарор қабул қилиш учун ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш лозимdir [3-5].

Бугунги кунга келиб ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқариш ва ёқилғи-энергетика ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш масалаларини ечиш нефть ва газ қазиб чиқариш соҳасида фаолият юритувчи корхоналар ривожланишининг устивор вазифаларидан бири бўлиб ҳисобланади. Ишлаб чиқариш корхоналарининг муваффақиятли фаолият юритишининг энг муҳим жиҳатларидан бири ишлаб чиқаришни бошқаришда тизимли ёндашиш ҳисобланади [6].

Нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарида ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш унинг даромадига

сезиларли даражада таъсир кўрсатади. Бу ўз навбатида рақобатбардош маҳсулот ишлаб чиқаришни таъминлайди. Ушбу асосларнинг аниқлигига қарамасдан, ҳозирги вактда кўпгина нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарининг бошқарув инфратузилмаси ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали назорат қилиш, ҳисобга олиш ва таҳлил қилиш воситаларини ўз ичига олмайди. Юқоридаги муаммоларни бартараф этиш учун нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналари бошқарув тизимиға ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларини жорий қилган ҳолда ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш имконига эга бўладилар.

Ҳозирги кунда ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш соҳасида Е. Пинеро, Г. Ламберт, Т. Франк, Т. Х. Гулбрэндсен, Н. Нилл, Р. Н. Андерсон, Ш. Хенсен, Д. Вейсман, А. Бриден ва бошқа ҳорижий олимлар фаол изланишлар олиб бормоқда. Уларнинг илмий ишлари ҳозирги замон талабларига жавоб берадиган ишлаб чиқаришни бошқариш тизимларида ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг самарали ишлашининг назарий асосларини ўрганишга қаратилган. Бундан ташқари К.Н. Савин, В.В. Харченко, А.В. Тихомиров, В.А. Бегалов, Н.В. Зайцев, Ю.Ю. Кудрявцева, Т.Ю. Анисимова, С.П. Коваля ва Д.Г. Трофимов каби россиялик олимларнинг илмий-тадқиқот ишлари эса ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг назарий жиҳатларига бағишланган. Ишлаб чиқариш корхоналарида ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқариш, тежаш ва энергия самарадорлигини ошириш, ҳамда уни ривожлантириш каби масалалар Д.Б. Понаровкин, А.Г. Бебешев, И.О. Волкова, М.С. Бернер, В.И. Колибабы, А.В. Лоскутов, А.Н. Тарасов, С. Бучин, М.М. Бродач, А.В. Зверев, А.П. Хаустов, Н.С. Яблонский ва М.М. Редина каби олимларнинг илмий ишларида ўрганиб чиқилган [7-13].

Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш соҳасида Халқаро стандарт талабларини изоҳлаш, уларни мослаштириш ва ишлаб чиқариш амалиётида тадбиқ қилиш учун зарур шароитларни яратиш муаммолари С.А. Хохлявин, Ю.Ю. Кудрявцев, Я.М. Щелоков, С.В. Хоробрых, А.А. Воробьев, Д.В. Скляров, Г.Н. Марченко, И.Г. Ахметова, В.М. Макаров, М.Д. Марченко, Р.Р. Фархутдинов, А.А. Осадчиев, Е.В. Фадеева, И. Л. Пичугин, В.А. Лукинов, В.А. Сыщиков, В. Г. Тарасовский, А.И. Сюсюкин, Г.И. Еремеева, Н.Ф. Шишкина, А.Ф. Кузнецов каби олимларнинг ишларида кўриб чиқилган [14-17].

И.А. Башмаков, А.В. Бабкин, М.П. Мельникова, А.А. Макаров, В.Е. Фортов, И.К. Хузмиев ва бошқалар ўзларининг илмий ишларида миллий ва минтақавий давлат дастурларини ишлаб чиқиш ва амалга ошириш доирасида ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини бошқариш ва

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

тежаш даражасини ошириш, ҳамда энергия самарадорлигини таъминлаш каби муаммоларни очиб берганлар [18-20].

Мақоланинг кириш қисмида нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарида ёқилғи-энергетика истеъмолини самарали бошқаришнинг асосий воситаси сифатида ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг аҳамияти тадкиқ қилинган. Юқорида келтирилган нефть ва газ қазиб чиқариш соҳасидаги ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришни тизимли таҳлил қилиш асосида аниқланган бир қатор илмий муаммоларни ифодалаш мумкин.

Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш соҳасида олиб борилган тизимли таҳлил натижаларига асосланган ҳолда «меъёрлаштириш-режалаштириш-тезкор қайд этиш-тизимли таҳлил қилиш-қарор қабул қилиш» жараёнларни ўз ичига олган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришни, ҳамда унинг ҳар бир жараёнидаги модель ва алгоритмларини такомиллаштириш таклиф этилади.

Такомиллашган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг ишлаш самарадорлиги кўрсаткичи бевосита меъёрлаштириш жараёнига боғлиқдир. Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг қолган бошқа жараёнларнинг тӯғри ишлаши меъёрлаштириш жараёнининг илмий усулларга асосланган ҳолда тӯғри ташкил этилишидан келиб чиқиб амалга оширилади. Меъёрлаштириш масаласи кўплаб ҳорижий олимлар В.И. Вейц, И.В. Гофман, А.А. Тайц, Г.Я. Вагина, Б.А. Константинов, Г.Л. Багиев, В.Т. Мелехин томонидан кўриб чиқилган [21-23].

Меъёрлаштириш мураккаб жараён бўлиб, корхонанинг тӯғри фаолият юритиши айнан унга боғлиқдир. Меъёрлаштириш масаласини ечишда аниқ, долзарб ва ишончли маълумотларга эга бўлиш, юқори малакали мутахассислар ёрдамида амалга ошириш, ҳамда замонавий усул ва моделлардан фойдаланиш керак.

Асосий қисм. Ёқилғи-энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи ишлаб чиқариш корхонасидаги курилма, ускуна, технологик линия ва ҳ.к.ларнинг иш юкламасини йил давомида ўзгариши каби бир қатор омилларга боғлиқ. Одатда меъёрларни йил фаслларига қараб табақалаштириш керак бўлади. Иш юкламасининг пасайишига кўпинча ишлаб чиқариш корхонасининг турғун ҳолда ишламаслиги, ишлаб чиқараётган маҳсулотга талабнинг пасайиши каби омиллар ҳам таъсир этади. Шунинг учун ёқилғи-энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи кўрсаткичларини унга таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш талаб этади. Бугунги кунда ёқилғи-энергетика ресурслари сарфини меъёрлаштириш масалаласининг таҳлилий-ҳисоблаш, тажрибали ва статистик-ҳисоблаш усуллари мавжуд.

Таҳлилий-ҳисоблаш усули ёқилғи-энергетика ресурслари сарфини меъёрлаштириш масалаласининг асосий усули ҳисобланиб, бунда ёқилғи-

энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи қурилма, технологик ускуна ва ҳоказоларнинг энергия паспорти, ҳамда бирон бир ҳужжатларидағи кўрсатилган меъёрий кўрсаткичлар асосида хисобланади.

Тажрибали усулда ёқилғи-энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи қурилма, технологик линия, ускуна ва ҳоказоларнинг тажриба сифатида ишга туширилган ҳолатда олинган ёқилғи-энергетика ресурслари сарфи кўрсаткичлари асосида хисобланади. Бунда қурилма, технологик линия, ускуна ва ҳоказолар техник жиҳатдан соз яъни ишга туширишга тайёр ҳолатда бўлиши керак.

Статистик-хисоблаш усулда ёқилғи-энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи қурилма, технологик линия, ускуна ва ҳоказоларнинг маълум бир вақт оралиғидаги сарф бўлган ёқилғи-энергетика ресурсларининг статистик кўрсаткичлари асосида аниқланади. Ёқилғи-энергетика ресурсларининг меъёрий сарфи статистик-хисоблаш усули ёрдамида хисобланётганда қурилма, технологик линия, ускуна ва ҳоказоларнинг маълум бир вақт оралиғида ишлаш жараённида унга таъсир этувчи омиллар ҳам ҳисобга олиниб хисобланади [21-24].

Бироқ ҳозирги вақтда жаҳон иқтисодиётининг жадал равища ривожланиши, тез-тез ўзгариб туриши, ишлаб чиқариш фаолиятига замонавий технологияларнинг тадбиқ қилиниши ва шунга ўхшаш омилларнинг таъсир этиш оқибатида, меъёрлаштириш кўрсаткичларини долзарб ҳолатда ушлаб туриш талаб этилади.

Юқорида келтирилган муаммоларни бартараф этишни ҳозирги вақтда ахборот-коммуникация технологиялари ёрдамида амалга ошириш мумкин. Чунки, айни вақтда ахборот-коммуникация технологиялари исталган соҳада тезкорлик, самаралилик ва долзарблиликни амалга оширишдаги асосий воситалардан бири бўлиб қолмоқда. Мақолада юқоридагиларни инобатга олган ҳолда, меъёрлаштириш кўрсаткичларини долзарб ҳолатда ушлаб туриш имконини берадиган ягона маълумотлар базасини яратишнинг замонавий модели кўриб чиқилган.

Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг ягона маълумотлар базаси бу маълумотларни аниқ, долзарб ва ишончли ҳолатда сақлаш ҳамда улар устида амалларни тезкор бажарилишини ва ортиқча такрорий маълумотларни ортиб кетишини олдини олиш имконини берувчи ахборот тизими хисобланади.

Ягона маълумотлар базасини яратишнинг асосий мақсади кўйидагилар хисобланади: - автоматлаштирилган ягона маълумотлар база-сидан фойдаланган ҳолда ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришда ишлаб чиқариш, иқтисодий ва молиявий масалаларни ечишини таъминлаш; - ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришда ишлаб чиқариш, иқтисодий ва молиявий жараёнларни бошқаришни режалаштириш ва назорат қилиш масалаларини тезкор ва самарали ечиш

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

учун долзарб ва ишончли маълумотлар билан тезкор таъминлаш; - стандартлаш, сертификатлаш ва сифатли маҳсулот билан таъминлаш ишларини олиб бориш учун меъёрий-ахборот муҳитини яратиш.

Ушбу ягона маълумотлар базасини нефт ва газ қазиб чиқариш корхонаси мисолида ишлаб чиқиши ёқилғи-энергетика ресурслари, ҳомашё, материал-бутловчи қисм, молиявий ресурс ва бошқаларнинг харажатларини, сармоя киритишни, кудук, ускуна, қурилма, технологик линия ва бошқаларни жорий ва капитал таъмирлашни режалаштириш жараёнини самарадорлигини оширади, бошқариш ва назорат қилиш тизими масалаларини тезкор ва самарали ечиш учун керак бўладиган ишончли маълумотларни тайёрлашга сарф бўладиган вақт ва молиявий харажатларни камайтириш имконини беради [5].

Ягона маълумотлар базасини яратиш маълумотлар базасини бошқариш тизими воситалари ёрдамида бажарилади. Предмет соҳасининг бирон-бир моделига мос равища маълумотларни сақлашда, маълумотлар базасининг тузилиши ушбу предмет соҳасининг моделига имкон қадар мос келиши керак. Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришнинг ягона маълумотлар базасини яратиш ва юритишида ҳозирги вақтда кенг тарқалган ва маълумотлар базасида маълумотлар устида самарали амалларни бажариш имконини берадиган реляцион модел қўлланилган.

Реляцион моделининг асосий моҳияти D_1, D_2, \dots, D_k кўринишидаги майдонларнинг кўпайтмаси ўзида намоён қилган муносабатлар тушунилади:

$$D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k, \quad (1)$$

бу ерда, $D_1 = (d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1i}, \dots, d_{1m1})$; $D_2 = (d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2i}, \dots, d_{2m2})$;
 $D_k = (d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{ki}, \dots, d_{kmn})$.

Муносабат $R: R \subseteq D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k$.

Муносабатга яқин ўхшаш нарса бу жадвал ҳисобланади. Муносабатнинг атрибутлари мос равища жадвал устунларининг номлари, мунсабатнинг танаси эса жадвал ичидаги ёзувларни англаади.

Муносабат (жадвал)нинг асосий хусусиятлари қуйидагилардан иборат: - ҳар бир қатор k қийматдан иборат кортежни ташкил этади; - ҳар бир атрибут аниқ бир маълумот турига қараб қийматга эга бўлади; - жадвал устунлари аниқ ($1, 2, \dots, k$) кетма-кетликда аниқланади; - жадвал қаторлари ихтиёрий кетма-кетликда аниқланади; - ихтиёрий иккита қатор камидан битта элемент билан фарқланади.

Реляцион моделни қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$J = (J_1, J_2, \dots, J_i, \dots, J_k), \quad (2)$$

бу ерда, J_i - i -маълумотлар базасини меъёrlашган реляцион жадвали; k – маълумотлар базасидаги жадваллар сони.

$$J_i = (K_i, U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}, \dots, U_{in}), \quad (3)$$

(K_i - i -жадвалнинг калит майдони; U_{ij} - i -жадвалнинг j -майдони; n - калит бўлмаган майдонлар сони).

Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқаришни меъёрлаштириш жараёнининг ягона меъёрий маълумотлар базасини яратиш реляцион модел ёрдамида амалга оширилган.

Ягона меъёрий маълумотлар базасини реляцион модел ёрдамида лойиҳалаш алгоритми қуидагича бўлади:

1-қадам: $R = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_k), i = \overline{1, k}$, бу ерда k - R муносабатнинг даражаси; A_i - муносабатнинг атрибути. $A_i = \{e_{i_1}, \dots, e_{i_j}, \dots, e_{i_n}\}, j = \overline{1, n}$, n - муносабатнинг қуввати; e_{i_j} - A_i атрибутнинг j -элементи ва у ўз навбатида қуидаги шартни бажариши керак:

$$\left(|e_{i_j}| = 0 \right) \vee \left(|e_{i_j}| = 1 \right). \quad (4)$$

2-қадам: Барча атрибутлар учун қуидаги шартни бижаришини таъминлаш керак: $J(e_{i_1}) = \dots = J(e_{i_j}) = \dots = J(e_{i_n}), j = \overline{1, n}$; $J(e_{i_j})$ - A_i - атрибутни j -элементининг маълумот тури.

3-қадам: Ҳар бир майдон такрорланмас номга эга бўлиши керак:

$$A_1 \neq \dots \neq A_i \neq \dots \neq A_k, i = \overline{1, k}, \quad (5)$$

бу ерда, k - муносабат даражаси.

4-қадам: Бир хил ёзувларни бартараф этиш лозим:

$$S_1 \neq \dots \neq S_i \neq \dots \neq S_n, i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

бу ерда, S_i - i -ёзув;

$$S_i = (e_{i_1}, \dots, e_{i_j}, \dots, e_{i_k}), j = \overline{1, k}. \quad (7)$$

5-қадам: Жадвалларни меъёрлаштириш керак:

$$R = (K_1, \dots, K_m, \dots, K_n, A_1, \dots, A_j, \dots, A_k), m = \overline{1, n}, i = \overline{1, k}, \quad (8)$$

бу ерда, K_m - мураккаб калитга эга атрибут; A_i - калитга эга бўлмаган атрибут.

Қуидаги шартларни таъминлаш керак:

$$\begin{aligned} & (|A_{i_j}| = \emptyset) \wedge (|A_{i_j}| = \emptyset), \neg ((K_m \rightarrow A_i) \vee \dots \vee (K_m \rightarrow A_j)), \\ & \neg ((A_i \rightarrow A_j) \vee \dots \vee (A_n \rightarrow A_m)), \neg ((A_i \rightarrow A_j) \wedge (A_n \rightarrow A_m)). \end{aligned}$$

6-қадам: Жадвалдаги калит майдонларни эълон қилиш керак:

$$R = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_k), i = \overline{1, k},$$

бу ерда, A_i - муносабатнинг атрибутлар тўплами:

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

$$A_i = (e_{i_1}, \dots, e_{i_j}, \dots, e_{i_n}), j = \overline{1, n}.$$

Шундай A_i атрибутни топиш керакки, қуйидаги ифоданинг ҳақиқийлигини таъминлаши лозим: $e_{i_1} \neq \dots \neq e_{i_j} \neq \dots \neq e_{i_n}$.

7-қадам: Жадваллар ўртасидаги алоқалар. A ва B муносабатлар ўртасидаги мавжуд алоқаларга қўйиладиган шартлар:

$(\forall b_{pj})(b_{pj} \in Z(B_j))(Ea_{ri})(a_{ri} \in Z(A_i)(b_{pj} = a_{ri}), p = \overline{1, q}, j = \overline{1, k}, r = \overline{1, m}, i = \overline{1, n})$
бу ерда, q - B муносабатнинг даражаси; k - B муносабатнинг қуввати; m - A муносабатнинг даражаси; n - A муносабатнинг қуввати; $Z(B_j)$ - B_j атрибутнинг қиймати; $Z(A_i)$ - A_i атрибутнинг қиймати [25-29].

Хуроса. Юқорида келтирилган реляцион модел асосида ягона маълумотлар базасини лойиҳалаштириш алгоритми ишлаб чиқилган. Ушбу алгоритм ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг ягона маълумотлар базасини яратиш имконини беради. Яратилган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг ягона маълумотлар базаси ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмоли тўғрисидаги маълумотларни яхлитлигини, улар устида амалларни тезкор бажарилишини ва ортиқча такрорий маълумотларни ортиб кетишини олдини олиш имконини беради.

Адабиёт

1. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Разработка информационной системы энергетического менеджмента на предприятиях топливно-энергетического комплекса // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. -№ 1-2. -Ташкент,. -С.159-164.
2. Султанов М.Б. Задачи создания информационной системы энергетического менеджмента на предприятиях нефтегазовой отрасли. /Сборник материалов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику». -Кемерово, 2016. -С.1-4.
3. Ишанходжаев Г.К., Султанов М.Б. Разработка алгоритма постоянного улучшения процессов управления энергосбережением в электроэнергетических системах «Smart grid» // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. -№ 3-4. -С.45-50.
4. Ишанходжаев Г.К., Султанов М.Б. Модифицированный алгоритм постоянного улучшения процессов управления энергосбережением /Сборник материалов, Международной научно-технической конференции: Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в аграрном секторе. -Ташкент, 2018. -С. 111-118.
5. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Модифицированный алгоритм постоянного улучшения процессов энергетического менеджмента //Вестник ТУИТ. 2019. -№1. -Ташкент, -С.105-116.

6. Султанов М.Б., Мирзаахмедов Д.М. Решение задач оптимизации потребности энергетических ресурсов в предприятиях нефтегазовой отрасли /Сборник материалов, Международной научно-технической конференции. Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в аграрном секторе. -Ташкент, 2018. -С. 378-380.
7. Федоськина Л.А. Абрамов Е.И. Повышение энергоэффективности промышленных предприятий на основе формирования системы энергоменеджмента. -М: Инфра-м, 2018. - С. 192.
8. Абрамов Е.И. Терминологические особенности энергетического менеджмента //Экономический анализ: теория и практика. – 2014. - № 22. - С. 16-22.
9. Харченко В.В., Тихомиров А.В. Энергетический менеджмент как средство интенсификации работ по энергосбережению на объектах АПК /Труды международной научно-технической конференции «Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве». – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – Т 1. - С. 117-123.
10. Бегалов В.А. Энергетический менеджмент основа для реализации энергосервисных контрактов/[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/400>.
11. Зайцев Н.В., Альшевби Ф.С. Энергоменеджмент как инструмент обеспечения экологической безопасности предприятий водохозяйственного комплекса./Культура народов Причерноморья. 2006. -№85. -С.38-40.
12. Коваль С.П. Энергоменеджмент. Программа энергосбережения на предприятии /[Электронный ресурс]. –Режим доступа: http://academdpo.ru/_energomenedzhment-programma-energosberezheniya-na-predpriyatiu/.
13. Трофимов Д.Г., Подвигин К.А. Энергетический менеджмент / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://moekproekt.com/vidy-uslug/energosberezheniye-i-energoeffektivnost/energetichesky-menedzhment>.
14. Савинов К.Н. Энергоменеджмент как инструмент управления качеством ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве //Фундаментальные исследования. - 2011. - № 12. - С.428-431.
15. Хохлявин С.А. Особенности стандарта ISO 50001 на энергоменеджмент. /[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.finexcons.ru/publikatsii/Energoaudit%202011-4.pdf>.
16. Хохлявин С.А., Хоробрых С.В., Воробьев А.А., Скляров Д.В. Энергоменеджмент. Стандарт ISO 50001. Внедрение / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/533>.
17. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». -М.: Стандартинформ, 2012. -52 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

18. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности и экономический рост. //Вопросы экономики. 2019, (10):32-63. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-10-32-63>.
19. Башмаков И.А. Основные рекомендации: повышение энергоэффективности в российской промышленности / И.А. Башмаков. - М.: ЦЭНЭФ, 2013. – 23 с.
20. Башмаков И.А. Российский ресурс энергоэффективности: масштабы, затраты и выгоды. // Вопросы экономики. 2009. - № 2. - С.71-89.
21. Вагин Г.Я., Петрицкий С.А. Методы нормирования расходов электроэнергии на машиностроительных предприятиях // Промышленная энергетика. 2007. -№ 12. - С. 39-53.
22. Гринев А.В. Анализ существующих и перспективных методов нормирования потребления топливно-энергетических ресурсов на промышленном предприятии. //Промышленная энергетика. 2012. -№ 3. -С. 45-56.
23. Карелин А.Н. Нормирование электропотребления и автоматизированный комплекс контроля и учета электропотребления в системе водоснабжения городского хозяйства. //Промышленная энергетика. 2007. -№ 8. - С. 22-30.
24. Петрицкий С.А. Расчет нормативного электропотребления. /Теория и практика энергосбережения. Справочно-методическое пособие. -Нижний Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2006. - разд. 3.1. - С. 67-80.
25. Карпова Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация. - Санкт-Петербург: Питер, 2001, -304 с.
26. Брешенков А.В., Балдин А.В. Анализ проблемы проектирования реляционных баз данных на основе использования информации табличного вида и разработка модели методики проектирования. –Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. -150 с.
27. Брешенков А.В. Методы решения задач проектирования реляционных баз данных на основе использования существующей информации табличного вида. –Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, -154 с.
28. Брешенков А.В. Проектирование баз данных на основе информации табличного вида: учебн. пособие для вузов. –Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. -200 с.
29. Брешенков А.В. Методика проектирования реляционных баз данных. //Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. -Вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1065.html>.

Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси
Энергетика муаммолари институти томонидан тақдим этилган

УДК 621.314**АСИНХРОН МОТОРЛАРНИНГ РЕАКТИВ ҚУВВАТИНИ НАЗОРАТ
ВА БОШҚАРУВИ УЧУН ТОК ЎЗГАРТКИЧЛАРИНИНГ
ДИНАМИК ТАВСИФЛАРИ ТАДҚИҚИ****М.Т. Махсудов, Д.Д. Каримжонов**

Уибұ мақолада асинхрон моторларнинг ишига тушиш даврида статор пазларига жойланған ток ўзгарткичини чиқиши катталикларининг динамик тавсифларини Матлаб базасыда асосида ишилаб чиқылған тадқиқот модели ва натижалари көлтирилген. Асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарыш тизимлари учун уч фазали статор токини күчланишига ўзгаркичининг тадқиқотида динамик тавсифларининг ўрни мухим бўлиб, бу тавсифлар статор токининг қиймати, ўлчов элементлари параметрлари, ташки таъсирлар, асинхрон мотор параметрлари ва бошқа таъсирларга күчланиши кўринишидаги чиқиши сигналларининг вақт бўйича ўзгариши ва боғлиқликларини акс эттиради. Турли ҳусусиятли катталикларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда ўлчов чулгамидан олинаётган сигналнинг динамик ҳусусиятларини ўрганиши ўзгарткичнинг бирламчи ва иккиласмачи сигнал ўзгартириши бўлакларида, сигнал узатиш элеменитларида ҳамда ўтиши жараёнларини тавсифловчи дифференциал тенгламаларини шакллантиришида юзага келадиган қийинчиликлар туфайли тадқиқотлар кенг имкониятли имитация модели ва унинг аналитик ифодалари асосида олиб борилади. Ток ўзгарткичининг чиқиши катталикларини динамик тавсифларини тадқиқ қилишида Матлаб базасыда ишилаб чиқылған тадқиқот моделидан фойдаланиши тадқиқот натижаларини амалий натижалар билан солиштиришини осонлаштиради. Шунингдек уибұ тадқиқот модели токни күчланишига ўзгарткичнинг динамик холатларида ишилди тавсифлари, физик – техник эффектлари, шунингдек асинхрон моторнинг иши холатларини ҳисобга олган ҳолда назарий холосалар ва тавсиялар ишилаб чиқиши имконини беради. Ток ўзгарткичининг динамик тавсифларини тадқиқ қилишида бирламчи токларнинг статор чўлгамидан оқиб ўтиши вақт бўйича ўзгариши кузатилади ва уларнинг ўзаро боғлиқлиги асосан статор магнит ўзагининг магнитланиши эргилгини эътиборга олган ҳолда электромагнит ўзгартириши занжисирига алоқадор бўлган статор чўлгами уланган күчланишининг синусоидал ўзгаришида синусоидал сигнал бўлиб қолади. Бу билан ток ўзгарткичининг ўзгартириши занжисиридаги ўзгариши жараёнлари ва тавсифларини аниқлайдиган асосий катталиклар устида синусоидал катталиклар сифатида амалларни бажарши мумкин бўлади.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В статье представлены модель и результаты исследования, разработанных на базе Matlab динамических характеристик выходных величин преобразователя тока, размещенного на пазах статора, и в момент пуска асинхронного двигателя. Для системы контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя важна роль динамических характеристик трехфазного тока статора при изменении напряжения. Эти характеристики отражают изменения во времени и зависимости выходных сигналов в виде напряжения от величин тока статора, параметров измерительных элементов, внешних воздействий, параметров асинхронного двигателя и других. Изучены динамические свойства измеряемого сигнала с учетом взаимодействия различных характеристических величин в условиях с трудностями, возникающими при формировании дифференциальных уравнений преобразователя, описывающих процессы перехода в первичных и вторичных участках преобразования сигнала, а также элементах передачи сигнала. Исследования проводятся на основе широкомасштабной имитационной модели и ее аналитических выражений. Использование модели, разработанной на базе Matlab для исследования динамических характеристик выходных величин преобразователя тока, облегчает сравнение результатов исследования с практическими результатами. Также данная модель позволяет разработать теоретические выводы и рекомендации с учетом характеристик работы, физико – технических воздействий в динамических состояниях преобразователя тока в напряжение, а также рабочих состояний асинхронного двигателя. При исследовании динамических характеристик преобразователя тока наблюдается изменение во времени протекания первичных токов через обмотку статора, причем их взаимозависимость остается синусоидальным при синусоидальном изменении напряжения, к которому подключена обмотка статора, относящаяся к электромагнитной цепи преобразования с учетом кривизны намагниченности магнитопровода статора. Таким образом, становится возможным выполнять операции синусоидальных величин совместно с основными величинами, определяющими процессы и характеристики изменений в цепи преобразователя тока.

This article presents a model and research results, developed on the basis of Matlab, that the dynamic characteristics of the output values of a current converter located on the stator slots at the time of starting asynchronous motors. For control systems and regulation of reactive power of an induction motor, the role is important in research that the dynamic characteristics of the three-phase alternating current of the stator to voltage, these characteristics reflects change and the dependence in time, value of the stator current, parameters of measuring elements, external influences,

parameters of an asynchronous motor and other influences that output signals in the form of voltage. The study of the dynamic properties of the signal received from the measuring medium, taking into account the interaction of various characteristic quantities in connection with the difficulties arising in the formation of differential equations of the transducer describing the transition processes in the primary and secondary sections of signal conversion, signal transmission elements, studies are carried out on the basis of a large-scale simulation model and its analytical expressions. The use from the research model developed on the basis of Matlab in the study of the dynamic characteristics of the output values of the current converter makes it easier to compare the research results with practical results. Also, this research model makes it possible to develop theoretical conclusions and recommendations taking into account the characteristics of the work, physical-technical effects in the dynamic states of the current to voltage converter, as well as the operating states of the induction motor. When researching the dynamic characteristics of the current converter, a change in time of the flow of primary currents through the stator winding is observed, and their interdependence remains a sinusoidal signal with a sinusoidal change in voltage to which the stator winding is connected, which is mainly related to the electromagnetic conversion circuit, taking into account the curvature of the magnetization of the stator magnetic circuit. This, it becomes possible to perform operations in the form of sinusoidal quantities over the basic quantities that determine the processes and characteristics of changes in the current converter circuit.

Кириш. Уч фазали асинхрон мотор статор чулғамларидан i_1, i_2, i_3 бирламчи токлар үтиши натижасида ҳосил бўлган магнит оқимлар таъсирида ток ўзгарткичи ўлчов чулғамлари чиқишлиарида $u_{\text{щк.1}}(t), u_{\text{щк.2}}(t), u_{\text{щк.3}}(t)$ кучланишлар олинади. Ток ўзгарткичи чиқишидаги кучланишлар ўлчов чулғамларини статор пазида жойлашиши, ўрамлар сони ва параметрларига боғлиқ ҳолда чиқиш кучланишлари қуидагича [1-2]:

$$\begin{aligned} u_{\text{щк.1}}(t) &= -R_{\ddot{y},1} \cdot i_{\text{щк.1}}(t) - L_{\ddot{y},1} \frac{di_{\text{щк.1}}(t)}{dt} + w_5 \frac{d\Phi_2(t)}{dt} + w_6 \frac{d\Phi_3(t)}{dt}; \\ u_{\text{щк.2}}(t) &= -R_{\ddot{y},2} \cdot i_{\text{щк.2}}(t) - L_{\ddot{y},2} \frac{di_{\text{щк.2}}(t)}{dt} + w_4 \frac{d\Phi_1(t)}{dt} + w_6 \frac{d\Phi_3(t)}{dt}; \\ u_{\text{щк.3}}(t) &= -R_{\ddot{y},3} \cdot i_{\text{щк.3}}(t) - L_{\ddot{y},3} \frac{di_{\text{щк.3}}(t)}{dt} + w_4 \frac{d\Phi_1(t)}{dt} + w_5 \frac{d\Phi_2(t)}{dt}; \end{aligned} \quad (1)$$

бу ерда $R_{\ddot{y},1}, R_{\ddot{y},2}, R_{\ddot{y},3}, L_{\ddot{y},1}, L_{\ddot{y},2}, L_{\ddot{y},3}$ – мос равища уч фазали ток ўзгарткичининг актив қаршиликлари ва индуктивликлари; $w_{\ddot{y},4}, w_{\ddot{y},5}, w_6$ –

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ўлчов элементларининг ўрамлар сони; $i_{\text{щк.1}}(t), i_{\text{щк.2}}(t), i_{\text{щк.3}}(t)$ – ўлчов чулғами токлари.

Асинхрон моторнинг статор чулғамлари индуктивликларини L_1, L_2, L_3 ҳисобига ишга тушиш пайтидаги уч фазали бирламчи статор токларининг ошиши содир бўлади ва секин аста магнит оқимларининг статор ўзагида илашashi оқибатида токлар турғун синусоидал қўринишга келади [1,3-5].

Ток ўзгарткичининг динамик тавсифларини тадқиқ қилишда асинхрон моторнинг параметрларига магнит оқимларни боғлиқлиги кўйидагича[6]:

$$\begin{aligned} \frac{U_{m1} \sin(\omega t + \alpha_1)}{w_1} &= \frac{d\Phi_1}{dt} + \frac{R_1}{L_1} \Phi_1; \\ \frac{U_{m2} \sin(\omega t + \alpha_2 + 120^\circ)}{w_2} &= \frac{d\Phi_2}{dt} + \frac{R_2}{L_2} \Phi_2; \\ \frac{U_{m3} \sin(\omega t + \alpha_3 - 120^\circ)}{w_3} &= \frac{d\Phi_3}{dt} + \frac{R_3}{L_3} \Phi_3; \end{aligned} \quad (2)$$

бу ерда $\omega = 2\pi f$ – тармоқнинг бурчак частотаси; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – фаза бурчаклари, $t=0$ даги; w_1, w_2, w_3 – асинхрон мотор статор чулғамлари ўрамлар сони; R_1, R_2, R_3 – асинхрон мотор статор чулғамларининг актив қаршиликлари; L_1, L_2, L_3 – асинхрон мотор статор чулғамларининг индуктивликлари.

Методлар. Динамик жараённи тўла тасвирилаш учун асинхрон мотор статор чулғамларига берадётган энергия оқимлари ва токлари асосида ўзгарткичдаги ўтиш жараёнини таҳлил этилиши лозим [1,7-13]:

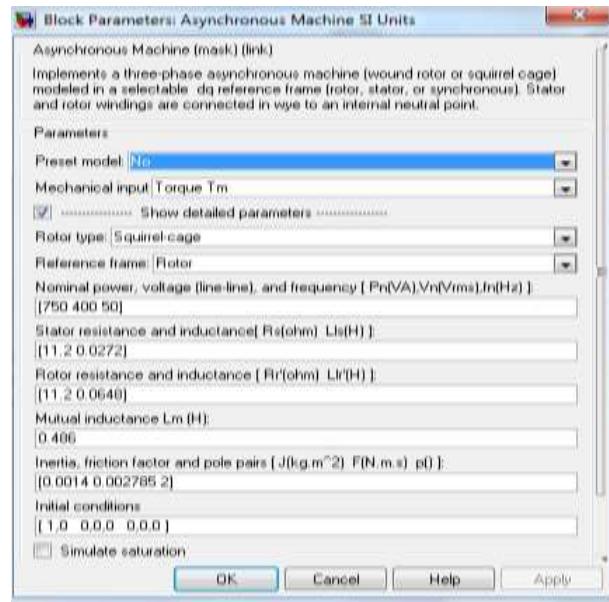
$$\begin{aligned} U_{\text{щк.1}} &= K_{\Phi_1 U_{\text{щк.1}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_1} \cdot W(F_{111}, F_{121}) \cdot K_{U_1 F_1} \cdot U_1 \sin \omega t - \\ - \Pi_{\sigma_1} \cdot W(F_{\sigma 111}, F_{\sigma 121}) K_{I_1 F_{\sigma 1}} \cdot (I_{1np} \sin \omega t + I_{1anp} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{щк.2}} &= K_{\Phi_2 U_{\text{щк.2}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_2} \cdot W(F_{213}, F_{223}) \cdot K_{U_2 F_2} \cdot U_2 \sin(\omega t + 120^\circ) - \\ - \Pi_{\sigma_2} \cdot W(F_{\sigma 213}, F_{\sigma 223}) K_{I_2 F_{\sigma 2}} \cdot (I_{2np} \sin(\omega t + 120^\circ) + I_{2anp} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{щк.3}} &= K_{\Phi_3 U_{\text{щк.3}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_3} \cdot W(F_{313}, F_{323}) \cdot K_{U_3 F_3} \cdot U_3 \sin(\omega t - 120^\circ) - \\ - \Pi_{\sigma_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) K_{I_3 F_{\sigma 3}} \cdot (I_{3np} \sin(\omega t - 120^\circ) + I_{3anp} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

бу ерда $K_{\Phi_1 U_{\text{щк.1}}}, K_{\Phi_2 U_{\text{щк.2}}}, K_{\Phi_3 U_{\text{щк.3}}}, K_{U_1 F_1}, K_{U_2 F_2}, K_{U_3 F_3}, K_{I_1 F_{\sigma 1}}, K_{I_2 F_{\sigma 2}}, K_{I_3 F_{\sigma 3}}$ – мос равища да хар бир фазага тегишли магнит ва электр занжири катталикларини боғланиш коэффициентилари; $\Pi_{\mu_1}, \Pi_{\mu_2}, \Pi_{\mu_3}, \Pi_{\sigma_1}, \Pi_{\sigma_2}, \Pi_{\sigma_3}$ – асинхрон мотор магнит тизими ва статор пазининг магнит параметрлари; $I_{1np}, I_{2np}, I_{3np}, I_{1anp}, I_{2anp}, I_{3anp}$ – статор токининг даврий ва нодаврий ташкил

этүвчилари; U_1, U_2, U_3 – асинхрон моторнинг статор чулғамларига берилаётган кучланишлар; $W(F_{111}, F_{121}), W(F_{213}, F_{223}), W(F_{313}, F_{323}), W(F_{\sigma 111}, F_{\sigma 121}), W(F_{\sigma 213}, F_{\sigma 223}), W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323})$ – магнит ўзгартириш бўлагининг узатиш функциялари.

Асинхрон моторнинг статор пазларига жойланган сезиш элементини (ўлчов чулғами) статор қисмидаги асосий ва сочилиш магнит оқимлари кесиб ўтиши натижасида чиқишида кучланиш кўринишидаги сигнал ҳосил бўлади. Бу чиқиши кучланишини қиймати асинхрон моторнинг статор чулғами ўрамлар сони w_1 , қаршилиги Z_1 , тармоқ кучланиши U_1 , .статор чулғамидан ўтувчи ток кучи I_1 ва сезиш элементи ўрамлари сони w_2 (одатда $w_2=1$ ёки 2) га боғлиқ [14-17]:

$$\begin{aligned} U_{\text{чиқ.1}} &= \frac{w_4}{w_1} \cdot (U_1 - Z_1 \cdot I_1); \\ U_{\text{чиқ.2}} &= \frac{w_5}{w_2} \cdot (U_2 - Z_2 \cdot I_2); \\ U_{\text{чиқ.3}} &= \frac{w_6}{w_3} \cdot (U_3 - Z_3 \cdot I_3). \end{aligned} \quad (4)$$



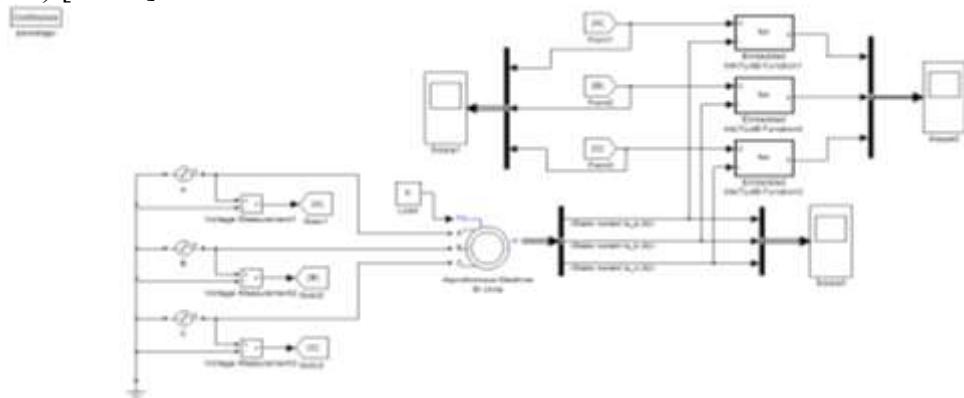
1–расм. Кучланиш кўринишидаги чиқувчи сигнални ҳосил қилувчи ток ўзгарткичли уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг кўрсаткичлари

(4) ифода бўйича уч фазали ток ўзгарткичининг чиқишиларидан қиймати тенг ва фаза жихатдан 120° градусга фарқ қилувчи кучланишлар олинади.

Ток ўзгарткичининг динамик тавсифларини тадқиқ қилишда Матлаб дастурида уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон мотор (1–расм) ва

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

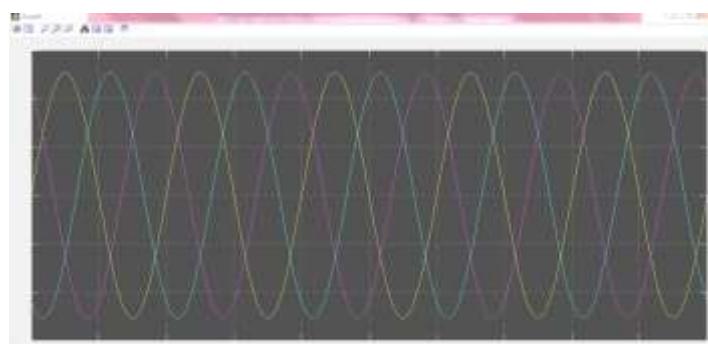
статор пазларига жойланган сезиш элементи чиқишидаги кучланишн берувчи (1) аналитик ифоданинг функционал блоги ишлаб чиқилди (2-расм) [18-19].



2-расм. Matlab дастури базасида ишлаб чиқилган асинхрон моторнинг реактив күвватини назорат ва бошқарувининг ток ўзгарткичини динамик тавсифларини тадқиқ қилиш модели

Асинхрон мотор А, В, С уч фазали 50 Гц ли электр энергия манбаига уланиб ишга тушгандан то сезиш элементидан чиқувчи кучланиш қиймати турғун холатга келгунча бўлган ўтиш жараёнини кўриб чиқамиз. 1-расмдаги схемани ишга тушириб, 0,2 сек ўтгандан сўнг осциллограф(Scope) лардан олинган натижалар тахлил қилинди.

Натижалар. Scope 1 асинхрон мотор статор чулғамларига тушаётган А, В, С фаза кучланишини вақт бўйича ўзгариш графикларини кўрсатяпти (3-расм).



3-расм. Асинхрон моторнинг статор чулғамларига берилаётган кучланишларнинг вақт бўйича ўзгариш графиклари

Асинхрон моторларда ишга тушишнинг дастлабки онларида статор чулғамларидан ўтаётган ток кучининг номинал қийматидан бир неча баробар ошиши кузатилади (4-расм).

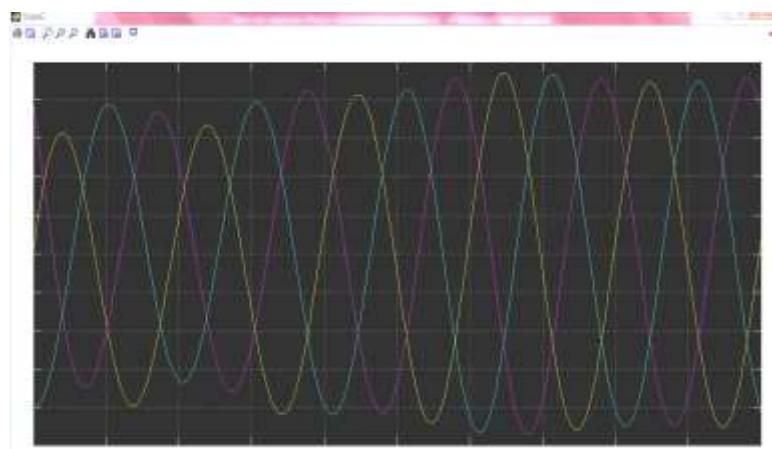


4-расм.
Асинхрон
моторнинг
ишга тушиш
даврида статор
чулғамларидан
ўтаётган ток
кучларининг
вақт бўйича
ўзгариш
графиклари

4 –расмдан шуни кўришимиз мумкинки, асинхрон моторнинг ишга тушгандан сўнг ток кучи дастлабки юқори қийматидан аста секин ўзининг турғун қийматига ета бошлади. Ишга тушириш токи турғун қийматга 0,08–0,1 сек орасида эришди. Ишга тушиш токининг турғун қийматга эришиш вақти асинхрон моторнинг параметрларига боғлиқ холда турлича бўлиши мумкин.

Асинхрон моторнинг ишга тушиш вақтида ўткинчи жараённи давомийтига қараб реактив қувватни истеъмоли хам нотурғун холатда бўлади. Асинхрон моторларнинг ишга тушиш даврида ўткинчи жараённи баҳолашда статор пазларига жойлаштирилган сезиши элементини чиқиш катталикларини динамик тавсифини тахлил қилиш орқали ўрганиб чиқамиз.

2-расмдаги scope 2 ток ўзгарткичининг чиқиш кучланишини дастлабки 0,2 сек давомидаги ўзгаришини кўрсатади(4-расм).



5-расм. Сезиши
элементларининг
чишиш
кучланишларини
вақт бўйича
ўзгариш
графиклари

Мухокамалар. Юқоридаги (3) – (4) ифодалар ва 3 –, 4 – расмларда келтирилган натижаларни тахлил қилсак, ток ўзгарткичини чиқиш

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

кучланиши қиймати манба кучланиши ва статор чулғами қаршиликлари ўзгармаган холда статор чулғамидан ўтаётган ток кучини функцияси эканлигини кўрамиз. Ишга тушиш даврида асинхрон моторнинг статор чулғамидаги ток кучини максималдан турғун қийматгача ўзгаришини эътиборга олсак, сезиш элементининг чиқишидаги кучланиш кичик қийматдан турғун қийматгача ўзгариши мумкин.

Хулосалар. 4—расмдаги графиклардан кўринадики, асинхрон мотор ишга тушганидан сўнг дастлаб статор пазларига жойланган сезиш элементини чишиш кучланиши қиймати кичик ва аста секин ишга тушиш токи камайиб турғун қийматга етгунча чиқиш кучланиши оша бошлади ва 0,07–0,08 сек ўтгандан сўнг чиқиш кучланиши ўзининг турғун ҳолатига эришди.

Олиб борилган тадқиқотлардан шуни хулоса қиласизки, асинхрон моторнинг пазларига жойланган ток ўзгаркичининг сезиш элементлари чиқишидаги иккиласми кучланишлар ўтиш даврида ўзининг турғун қийматига сониянинг ўндан бир улушкинча вақт оралиғида эришади ва бу ток ўзгарткичидан асинхрон моторнинг реактив қувватини назорат ва бошқариш тизими элементи сифати фойдаланиш ўз самарасини беради [20-22].

Адабиёт

1. I. Kh. Siddikov, A. A. Abdumalikov, M. T. Makhsudov. The Dynamic Characteristics of Sensors of Primary Currents of Energy Sources to Secondary Voltages // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). India, Volume-9 Issue-4, February 2020, p 2529-2534 (DOI: 10.35940/ijitee.D1906.029420).
2. Сиддиков И.Х., Махсудов М.Т., Маликов А., Нуриддинов Н.А., Боихонов З.У., Комилжонов М. «Программное обеспечение для исследования динамических характеристик трехфазного преобразователя тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя » // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, № DGU 10640. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 30.03.2021 г.
3. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие / А.В. Кабышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.
4. O.O. Hoshimov, A.T. Imomnazarov. Elektr mesanik tizimlarda energiya tejamkorligi. Darslik. -T.: Fan va texnologiya, 2015. -128 b.
5. Имомназаров А.Т., Аъзамова Г.А. Асинхрон моторларнинг энергия тежамкор иш режимлари. Монография. — Т: ТошДТУ, 2014. - 140 б.

6. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин : учеб. для вузов / И.П. Копылов. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
7. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода: - М.: ИНФРА – М, 2007. – 208 с.
8. Махсудов М.Т. Модель и алгоритм физико – технических эффектов преобразователя трехфазного тока асинхронного двигателя // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Москва, 2021. 4(85). DOI:10.32743/UniTech.2021.85.4-1.33-36.
9. Галиев А.Л., Галиева Р.Г, Элементы и устройства автоматизированных систем управления: Учеб. пособие. - Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. акад., 2008. - 220 с. ISBN 978-5-86111-314-4
10. В.В.Курганов. Элементы и устройства систем управления: учебное пособие. - Томск: 2011. – 191 с.
11. I.Siddikov, A.Abdumalikov, A.Abubakirov, M.Maxsudov M.Anarbaev, I.Khonturaev. Modelling of transducers of nonsymmetrical signals of electrical nets // 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-6.doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011981. URL:<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9011981&isnumber=9011814>.
12. Trankler H. und Reindl I. (Hrsg.), Sensortechnik. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2014.
13. Махсудов М.Т., Бойхонов З.У. Исследование электромагнитных преобразователей тока в напряжение. // Бюллетень науки и практики. Научный журнал. Россия, г.Нижневартовск, 2018. Т.4. №3. С. 150–154.
14. Махсудов М.Т., Анарбаев М.А., Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // Universum: Технические науки: электрон.научн. журн. 2019. № 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>.
15. М.Т.Махсудов. Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичларини динамик тавсифларини тадқики «Инновацион ғоялар, ишланмалар амалиётга: муаммолар, тадқиқотлар ва ечимлар» мавзусида онлайн Халқаро илмий – амалий анжуман, Андижон 2021 йил 21 апрел, 284–286 бетлар.
16. Сиддиков И.Х. Исследование основных характеристик и принципов построения электромеханических преобразователей электроавтоматики на основе графовой модели // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2001. - № 1. – С. 11-17.
17. Сиддиков И.Х., Насритдинов Ф.Ж. Исследование принципов построения электромагнитных элементов электроавтоматики и защиты систем электроснабжения на основе графовой модели // Беруний юлдузлари.– Ташкент, 2001. - № 1. – С. 87-89.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

18. В.Б. Терёхин. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1):учебное пособие / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: 2010. – 292 с.
19. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Ахмедов Т.Б. Моделирование и исследование электромагнитны преобразователей тока систем автоматического регулирования источников реактивной мощности // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари Тошкент 2011. №3-4-сон 36 б.
20. Сиддиков И.Х., Азимов А.Р., Ахмедов Т. Моделирование и исследование устройств контроля электромеханических систем на основе информационно-энергетической модели // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2002. - №2. – С. 47-54.
21. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. – 2004. – № 1.
22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750664004500021>.

*Андижон машинасозлик институти
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.313.3.045**ЮК КҮТАРИШ МЕХАНИЗМ МОТОРЛАРИ УЧУН ҚҰТБЛАР СОНИ
ҮЗГАРУВЧАН ЧУЛҒАМНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**М.Қ. Бобожанов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тұйчиев,
Х.Ф. Шамсұтдинов, Х.Ғ. Магдиев**

Мақолада электр энергияси ва табиий ресурслардан оқилюна фойдаланыш нүктаи назаридан юк күтариши-транспорт механизмларининг ишләши режимларини таҳлил қилиши асосида құтблари нисбати 1:5 бўлган якка чулғамили икки тезликли мотор яратиш ва уни қўллаши орқали мавжуд электр юритма тизимларини такомиллаштириши мақсаддага мувофиқлиги асослаб берилган. Құтблар сони үзгарувчан чулғам қуриши тартиби дискрет берилган фазовий функция қўринишида тақдим этилган иккита оддий чулғамнинг токлар тақсимотини биргаликда кўриб чиқши принципига асосланади. Турли базавий схемалар асосида құтблар нисбати катта бўлган құтблар сони үзгарувчан чулғам схемаларини ишлаб чиқши ўзига хос бўлиб, масалан «Y/YY» базавий схема бўйича олинган құтблар сони үзгарувчан чулғамдан оғир режимларда ишловчи асинхрон моторларда фойдаланиши мақсаддага мувофиқ.

Янги ишлаб чиқилган чулғам ҳар иккала құтб томондан ҳам таъминлаши манбасига нисбатан мутлақо симметрик, ҳар бир фазанинг бир хил номдаги шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бiri билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича менг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган, чулғам қадами $y=15$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ құтб томонда чулғам коэффициентлари мос равишида $k_{чул1}=0,633$ ва $k_{чул2}=0,866$ га менг.

В статье обоснована целесообразность создания двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой на соотношение полюсов 1:5 и усовершенствования существующих систем электроприводов, а также их применения на основе анализа режимов работы подъемно-транспортных механизмов с точки зрения рационального использования электроэнергии и природных ресурсов. Порядок построения полюсопереключаемой обмотки основан на принципе совместного рассмотрения токораспределений двух обычных обмоток, выраженных в виде дискретно-заданной пространственной функции. Разработка схем полюсопереключаемой обмотки с большим соотношением полюсов на основе различных базовых схем имеет свои особенности, например, полюсопереключаемая обмотка по базовой схеме «Y/YY» целесообразна при использовании в двигателях с напряженным режимом работы, в частности, в электроприводах подъемно-транспортных механизмов.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Разработанная обмотка совершенно симметрична по отношению к источнику питания со стороны обеих полюсностей, векторы электродвигущих сил 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 $y=15$ обмоточные коэффициенты с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны, соответственно, равны $k_{обм1}=0,633$ и $k_{обм2}=0,866$.

The article substantiates the feasibility of creating a two-speed motor with pole-changing winding for a pole ratio of 1: 5 and improving existing electric drive systems, as well as their application based on an analysis of the operating modes of hoisting-and-transport mechanisms from the point of view of rational use of electricity and natural resources. The order of construction of pole-changing winding is based on the principle of joint consideration of the current distribution of two conventional windings, expressed as a discretely specified spatial function. The development of pole-changing winding circuits with a large pole ratio based on various basic circuits has its own characteristics, for example, pole-changing winding according to the basic "Y / YY" circuit is appropriate for use in motors with heavy duty operation, in particular, for electric hoist drives. transport mechanisms.

The developed winding is completely symmetrical with respect to the power source from the side of both poles; equal in amplitude and phase-shifted by an angle of $2\pi/3$ el. rad. at $y = 15$, the winding coefficients from $2p_1$ and $2p_2$ of the pole side are respectively equal to $k_{win1}=0.633$ and $k_{win2}=0.866$.

Кириш. Жаҳонда ишлаб чиқарилаётган умумий электр энергиясининг 53% гача электр юритмалар томонидан истемол қилинади [1]. Электр энергиясидан самарали фойдаланиш ва исрофларни камайтириш мақсадида асинхрон электр моторлар тезлигини ростлаш зарурати пайдо бўлди. Электр моторлар айланиш тезлигини ростлашнинг кенг тарқалган усусларидан бири, бу қутблар сонини ўзгартириш орқали тезликни поғонали ростлаш ҳисобланади [2].

Электр моторлар қутблар сонини ўзгартиришнинг энг кўп ишлатиладиган иккита асосий усули мавжуд [3]. Биринчи усул статорда иккита мустақил чулғамни ҳосил қилиш ҳисобланиб, у моҳияттан битта моторда иккита моторни ўз ичига олади: иккала чулғам ҳам ўз тезлиги учун идеал тарзда ишлаб чиқилиши мумкин, яъни ҳар бир паздаги ўрамлар сонини қутблар сонига мос равишда танланиши мумкин. Бироқ, бир вақтнинг ўзида чулғамларнинг фақат биттаси ишлаганлиги сабабли, бундай моторларнинг ҳажми унга мос келадиган бир тезликли моторнинг ўлчамидан анча катта бўлади. Ушбу усул одатда яқин ва катта нисбатли моторлар учун ишлатилади ва деярли ҳар қандай қутб комбинацияси учун амалга ошириш мумкин.

Иккинчи усул қутб амплитуда модуляцияси (РАМ) деб номланган чулғам қисмларининг уланишини ўзгартиришга асосланган: чулғамни бир қисми түғри ва кейинчалик тескари йўналишида уланиб асосий ва модуляция килинган қутб сонига эришилади [4, 5]. Бошқа бир усул бу - қутбларни фаза модуляцияси (РРФ) деб аталади. Ушбу усул ёрдамида чулғамнинг бўлинадиган қисмлари битта қутб рақами учун бир фазага тегишли бўлиб, уларнинг баъзилари бошқа қутб сонини хосил қилиш учун бошқа фазага ўтказилади. РРФ методи ёрдамида кўп фазали қутблар сони ўзгарувчан чулғам олинган. Ушбу усуллар орқали катта нисбатли ва яқин нисбатли қутблари ўзгарувчан чулғам олиш учун қўлланилади [6, 7].

Гарчи бутун чулғам ҳар қандай вақтда ҳар иккала тезликда ҳам ишлатётган бўлсада, иккита ўзига хос камчиликлари мавжуд: бир неча қўшимча чиқишилар талаб этилади ва ҳаво оралиғидаги магнит майдон модуляция килинган тезликда ҳар доим сезиларли даражада бузилади.

Метод. Қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини яратишнинг энг сўнгги метод бу- дискрет берилган фазовий функция усули деб номланади, чулғам схемасини қуриш жараёнини соддалаштириш учун токлар тақсимланишини ўз ичига олган дискрет берилган фазовий функция (ДБФФ) кўринишидаги тақсимланиш киритилган, метод қисқача ДБФФ [8, 9].

Маълумки, қутблари нисбати катта бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғам учун m - $2m$ -зонали ва $2m$ - $2m$ -зонали «Y/YY» ва «қўшимча шахобчали Y/YY» базавий схемалари ишлатилади.

Тегишли базавий схемалари қабул қилингандан сўнг қутблар сони ўзгарувчан чулғамни қуриш қўйидаги тартибда амалга оширилади [10, 11]:

1. Чулғам катта қутбини (дастлабки чулғам) бир қатламининг ДБФФ ёзилади;
2. Чулғам кичик қутбини (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 қутблари ўзгарувчан чулғам кичик қутби $2r_1$ ёзилади.

Мисол тариқасида, статор пазлари 30, қутблари нисбати 1:5 бўлган қутблари сони ўзгарувчан чулғам қуриш жараёнини кўриб чиқамиз. Шу мақсадда икки қатламли халқасимон статор чулғамда токлар тақсимланиш жадвали олинади. Бунинг учун жуфт қутб сони $2r_1=2$ бўлган томон учун битта қутб ва фазага тўғри келадиган статор пазлар

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

сони $q_1=5$ бўлган 2m-зонали чулғам ДБФФни оламиз, $2p_2=10$ қутб томон учун эса $q_2=2$ бўлган m-зонали чулғамни ДБФФ оламиз [12]. Шундан сўнг ушбу иккита ДБФФ қатламлари ўзаро бирлаштирилади, 1-жадвалда иккита чулғамни қуий қатламларининг ДБФФ бирикмаси кўрсатилган.

1-жадвал

2 ва 10 қутбли чулғамлар қуий 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	25	26	27	28	29	30	Пазлар
a	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	p ₁ =1				
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	p ₂ =5		

2-жадвалда $2p=2$ қутбли чулғамни синтезлаш жараёни кўрсатилган, бу ерда учинчи қаторда синтезланган чулғам бир қатламини ДБФФ, яъни қуий $p_1=1$ қутбга тегишли қутблари ўзгарувчан чулғам ДБФФ ёзилган. Унга бошланғич чулғам ДБФФларини намунавий чулғам ДБФФлари ёрдами билан модуляция қилиш натижасида эришилади.

Ушбу жараён асоси сифатида қутблари ўзгарувчан чулғам $2p_1$ қутб томони токлар тақсимланиши ва МЮК чизмасини намунавий чулғам токлар тақсимланиши ва МЮК чизмасига яқинлаштириш принципи қўлланилган, гарчи ушбу яқинлашув даражаси фаза зоналари тақсимланиши ўзгармас бошланғич чулғам ДБФФ ўтказгичлар ҳолати ишорасини ўзгартириш имконияти билан чегараланган.

2-жадвал

2 қутбли чулғамни синтезлаш

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	Пазлар
a	a	b	b	c	c	s	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	r ₂ =5 бошл.					
a	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	b	a	a	a	a	c	c	c	c	c	b	b	b	b	r ₁ =1 намун.			
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	r ₁ =1 син.		

Ўтказгичлар ҳолатини “яқинлаштириш” деган тушунчанинг маъноси, ҳар бир пазда синтезланадиган чулғам ўтказгичи ҳолатини типик чулғам ўтказгичи ҳолати ва уч фазали системанинг фаза токлари (ёки ЭЮК) га боғлиқ ҳолда аниқлашдан иборат [13].

Масалан, агар бошланғич чулғам ДБФФ ўтказгичининг ҳолати «b» (3-рақамли пазда) бўлса, ва намунавий ДБФФ учун худди шу пазда «a» бўлса, уч фазали система токлар жойлашишидан маълумки, «a» га «b» эмас, «-b» яқин (оний токлар йўналиши мос келади), шунинг учун синтезлаш чулғам ДБФФ учун «-b» ёзилади; агар бошланғич чулғам ДБФФ «c» (6-рақамли паз) бўлса, намунавий ДБФФ «-c» бўлса, у ҳолда синтезлаш чулғам ДБФФ га «-c» ва x.k. ёзилади [11, 13].

Шундай қилиб, қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг $2p_1$ қутбли қисмини куриш тартиби юқорида келтирилган қоидалардан келиб чиқкан ҳолда, ҳар бир паздаги ток ҳолатларини кетма-кет кўриб чиқиш ва синтезланувчи чулғам ДБФНИ ёзишдан иборат [14, 15]:

- 1) агар фаза ва ишоралар кетма-кетлиги ҳолати бўйича мос келса, уларнинг ишоралари ўзгартирмасдан ёзилади (1-, 2- пазлар);
- 2) агар фазалар ҳолати мос келмаса ва ишоралари эса мос келса, у ҳолда бошланғич чулғамнинг ҳолатини ишораси қарама-қарши ёзилади (3-, 4-, 5 -пазлар);
- 3) агар фазаларнинг ҳолати мос бўлиб, лекин ишоралари мос келмаса, у ҳолда бошланғич чулғам ҳолатининг ишораси қарама-қарши ёзилади (6 -паз);
- 4) агар фазалар ва ишоралар ҳолати бўйича мос келмаса, у ҳолда бошланғич чулғам ҳолатини ишораси ўзгартирмасдан ёзилади (7-, 8- пазлар).

Шуни таъкидлаш керакки, юқорида келтирилган қоидага мувофиқ, қутблар сонининг нисбати жуфт сонга teng бўлганда (2, 4 ва бошқалар) $m-2m$ -зонали чулғам олиш мумкин. Агар, қутблар сонининг нисбати тоқ сонга teng бўлса (3, 5 ва хоказо), қуйи қутбдаги иккита юлдуз ЭЮК векторлари орасида фазовий силжиш пайдо бўлади ва бу ҳолат чулғамнинг асосий кўрсаткичларини ёмонлашишига олиб келади. Ушбу қоида ҳар бир юлдузи ЭЮК учун ғалтаклар сонини teng равища тақсимлаш учун ўзгартирилди.

Модуляция қилиш орқали $2p_1=2$ жуфт қутблар учун $2m$ -зонали чулғамни оламиз, чунки шахобчадаги ўрамлар сони teng бўлиши учун, ёнма-ён жойлашган ғалтаклар - 3 ва 4, 13 ва 14, 23 ва 24 ҳолати бўйича турли хил ишораларга эга бўлади (3-жадвал).

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	25	26	27	28	29	30	Пазлар
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	$p_2=5$	
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	$p_1=1$	

Сўнгра ушбу икки қатламни ДБФФ бирлаштирилади, 3-жадвалда иккита чулғамни қуйи қатламларининг ДБФФ бирикмаси кўрсатилган.

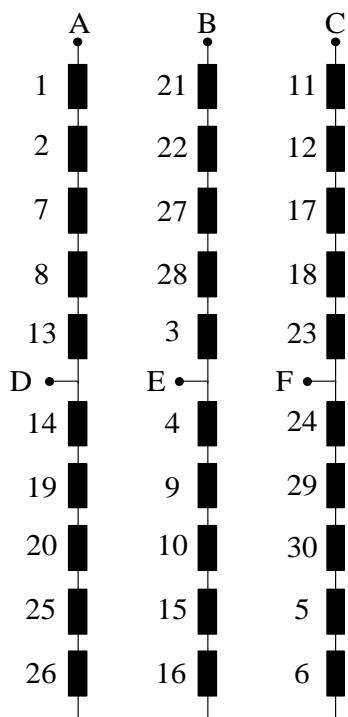
4-жадвал

“Юлдуз – икки юлдуз” схемасида чулғам шахобчалари жадвали

Шахобча номи	Ғалтак раками	Шахобча номи	Ғалтак раками	Шахобча номи	Ғалтак раками
A-D	1, 2, 7, 8, 13	B-E	21, 22, 27, 28, 3	C-F	11, 12, 17, 18, 23
D-0	14, 19, 20, 25, 26	E-0	4, 9, 10, 15, 16	F-0	24, 29, 30, 5, 6

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Натижалар. Олинган ДБФФ га мувофиқ фазаларни бирлаштириш жадвали ёрдамида (4-жадвал) ғалтакларни шахобча бўйлаб тақсимланиш



1-расм. Кутблари нисбати 1:5 ва пазлари сони 30 бўлган кутблар сони ўзгарувчан чулғам базавий схемаси

ғалтаклардан, В-Е қисмда мос равишида кетма-кет уланган тартиб рақами 21, 22, 27, 28, 3 бўлган ғалтаклардан, Е-0 қисмда мос равишида кетма-кет уланган тартиб рақами 4, 9, 10, 15, 16 бўлган ғалтаклардан, С-Ф қисмда мос равишида кетма-кет уланган тартиб рақами 11, 12, 17, 18, 23 бўлган ғалтаклардан, F-0 қисмда мос равишида кетма-кет уланган тартиб рақами 24, 29, 30, 5, 6 бўлган ғалтаклардан иборат.

5-жадвал

$p_1=1$ томон учун чулғам маълумотлари

	Y/Y' базавий схема шахобчаси					
	A-D	D-*	B-E	E-*	C-F	F-*
A	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33
$k_{чул}$	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633
φ	240	240	120	120	0	0

Олинган чулғам иккала кутб томони учун ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик (5- ва 6-жадвалга қаранг), 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, чулғам қадами $y=15$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ кутбли томон

учун чулғам коэффициенти мос равища $k_{o\delta m1}=0,633$ ва $k_{o\delta m2}=0,866$ тенг бўлади.

6-жадвал

$p_2=5$ томон учун чулғам маълумотлари

	Y/YY базавий схема шахобчаси		
	A-*	B-*	C-*
A	17,32	17,32	17,32
$k_{чул}$	0,866	0,866	0,866
φ	30	150	270

Ишлаб чиқилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг асосий кўрсаткичларидан бири бу чулғам коэффициенти ҳисобланади. Чулғам коэффициентини умумлашган усул [15] ва матрицали усулидан [16] фойдаланган ҳолда ҳар бир гармоника учун алоҳида ҳисоблаб чиқиш мумкин.

ЭЮК геометрик йигиндиши:

$$E_{i\nu} = E \cdot e^{j\pi i\nu} - E \cdot e^{j\gamma(i+y)\nu}; \quad (1)$$

бу ерда, E – ЭЮК амплитудаси, шартли равища бирга тенг деб олинади, i – ғалтак рақами, γ – пазлар орасидаги фазовий бурилиш бурчак, $\gamma = 360p/Z$, Z – статордаги пазлар сони, y – чулғам қадами, ν – гармоника рақами.

Агар N та ғалтак кетма-кет уланган бўлса, натижавий ЭЮК амплитудаси куйидагича аниқланади:

$$E_{ham.\nu} = \sum_{i=1}^N E_{i\nu}; \quad (2)$$

бу ерда, N – фаза ёки шахобчадаги ғалтаклар сони.

Юқорида келтирилганларни ҳисобга олиб, ν -гармониканинг чулғам коэффициенти:

$$k_{чул.\nu} = \frac{E_{ham.\nu}}{2N}. \quad (3)$$

7-жадвалда 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	14	15	16	17
2	14	0,630	0,02	0,19	0,19	0,75	0,36	0,24	0,18	0,11	0,45	0,17	0,13	0,04	0,13	0,00	0,13	0,04
	15	0,633	0,00	0,20	0,00	0,87	0,00	0,41	0,00	0,20	0,00	0,43	0,00	0,22	0,00	0,20	0,00	0,22
	16	0,630	0,02	0,19	0,19	0,75	0,36	0,24	0,18	0,11	0,45	0,17	0,13	0,04	0,13	0,00	0,13	0,04
10	14	0,750	0,43	0,00	0,43	0,75	0,00	0,75	0,43	0,00	0,43	0,75	0,00	0,75	0,43	0,00	0,43	0,75
	15	0,866	0,00	0,00	0,00	0,866	0,20	0,43	0,20	0,10	0,20	0,43	0,20	0,43	0,20	0,10	0,20	0,43
	16	0,750	0,43	0,00	0,43	0,75	0,00	0,75	0,43	0,00	0,43	0,75	0,00	0,75	0,43	0,00	0,43	0,75

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Хар қандай электр машина учун дифференциал сочилиш коэффициенти унинг геометрик ўлчамларига ва пазларнинг қиялигига боғлиқ бўлмайди. Дифференциал сочилиш коэффициенти Гёргес диаграммаси орқали қуидагича аниқланади [17, 18]:

$$\sigma_0 = \left(\frac{R_g}{R_l} \right)^2 - 1; \quad (4)$$

бу ерда, R_g – инерция радиуси, R_l – асосий гармониканинг радиуси.

Агар σ_0 қанча кичик бўлса, юқори гармоникаларни таркиби шунча кам, демак, чулғам шунча яхши параметрларга эга бўлади. (4) формуладаги инерция радиуси ва асосий гармониканинг радиуси қуидагича аниқланади [19, 20]

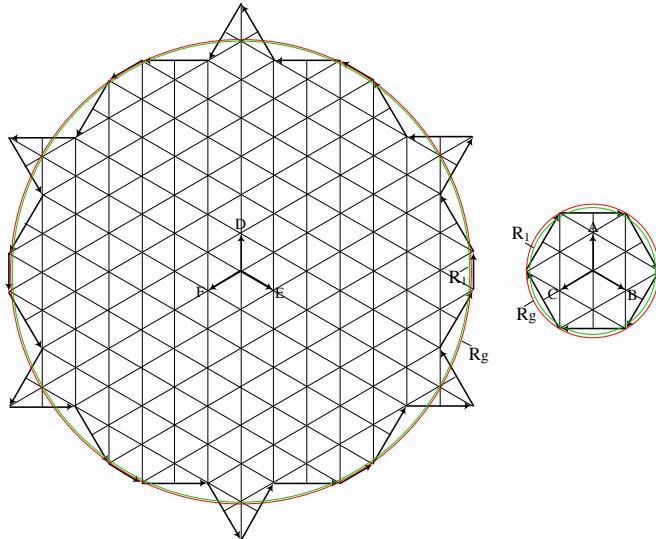
$$R_g = \left(\frac{J_p}{Z_N} \right)^{\frac{1}{2}}, R_l = \frac{Z \cdot k_{qyl}}{p \cdot \pi}; \quad (5)$$

бу ерда, J_p – қутб инерция моменти, k_{qyl} – асосий гармониканинг чулғам коэффициенти.

8-жадвал

Дифференциал сочилиш коэффициентини

Пазлар сони	БС	Чулғам қадами	$\sigma_0, \%$	
			2p=2	2p=10
30	Y/YY	14	1,53	21,8
		15	1,3	9,7
		16	1,53	21,8



2-расм. $Z = 30$ ва $y = 15$ бўлган «Y/YY» схема бўйича Гёргес диаграммаси:
а) $2p_1=2$ томон учун, $\sigma_0 = 1,3 \%$; б) $2p_2=10$ томон учун $\sigma_0 = 9,7 \%$

Қутблари ўзгарувчан чулғам электромагнит таркибини турли чулғам қадамлари асосида таҳлил қилиш билан, яни ҳисоблаш натижалари бўйича маълумотлар, бир вақтнинг ўзида иккала қутб томони учун олиб борилади. Ҳисоблаш натижалари асосида олинган маълумотларни таҳлил қилиш, ҳар иккала қутблар талабини қондирадиган оптимал қадамни аниқлаш, яни электромагнит ва технологик нуқтаи назардан кўрсаткичлар энг юқори бўлиши керак.

Статор пазлари 30 тенг ва қутблари 1:5 нисбатли «Y/YY» базавий схема асосидаги қутблари сони ўзгарувчан чулғамда $2p=2$ қутб томони учун қадам $y=14$ бўлганда МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари юқори гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равища $v_2=1,42\%$, $v_5=2,34\%$, $v_7=0,37\%$, $v_8=3,09\%$, $v_{10}=2,03\%$, $v_{11}=2,17\%$, $v_{13}=0,48\%$, $v_{14}=1,29\%$, $v_{16}=1,14\%$, $v_{17}=0,37\%$, чулғам коэффициенти (7-жадвал) ҳисобга олинганда эса $v_2=0,05\%$, $v_5=3,07\%$, $v_7=0,15\%$, $v_8=0,98\%$, $v_{10}=1,62\%$, $v_{11}=0,66\%$, $v_{13}=0,05\%$, $v_{14}=0,29\%$, $v_{16}=0,27\%$, $v_{17}=0,02\%$ ни ташкил этади (9-жадвал). Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma=1,53\%$ га тенг.

9-жадвал

Қутблари 1:5 нисбатли «Y/YY» қутблари ўзгарувчан чулғамни турли қадамлар учун гармоник таркиби

v	$F_{vm}/F_{\Sigma} (\%)$						$F_{vm}/F_{\Sigma} (\%), k_{чул}$ ҳисобга олинганда					
	p=1			p=5			p=1			p=5		
	y=14	y=15	y=16	y=14	y=15	y=16	y=14	y=15	y=16	y=14	y=15	y=16
1	85,30	87,10	85,30	48,43	63,74	48,43	92,84	90,32	92,84	53,86	72,18	53,86
2	1,42	0,00	1,42	13,97	0,00	13,97	0,05	0,00	0,05	8,98	0,00	8,98
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,34	2,75	2,34	9,67	12,76	9,67	3,07	3,92	3,07	10,78	14,42	10,78
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,37	0,50	0,37	6,93	9,09	6,93	0,15	0,35	0,15	7,67	5,19	7,67
8	3,09	0,00	3,09	3,48	0,00	3,48	0,98	0,00	0,98	2,26	0,00	2,26
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	2,03	0,00	2,03	2,81	0,00	2,81	1,62	0,00	1,62	1,81	0,00	1,81
11	2,17	5,41	2,17	4,40	5,78	4,40	0,66	3,85	0,66	4,91	3,33	4,91
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,48	2,39	0,48	3,72	4,89	3,72	0,05	0,87	0,05	4,16	2,77	4,16
14	1,29	0,00	1,29	2,00	0,00	2,00	0,29	0,00	0,29	1,30	0,00	1,30
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1,14	0,00	1,14	1,76	0,00	1,76	0,27	0,00	0,27	1,10	0,00	1,10
17	0,37	1,83	0,37	2,84	3,74	2,84	0,02	0,68	0,02	3,16	2,12	3,16

Чулғам қадами $y=15$ бўлганда юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равища $v_5=2,75\%$, $v_7=0,50\%$, $v_{11}=5,42\%$, $v_{13}=2,39\%$, $v_{17}=1,83\%$, чулғам коэффициенти ҳисобга олинганда эса $v_5=3,92\%$, $v_7=0,35\%$, $v_{11}=3,85\%$,

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

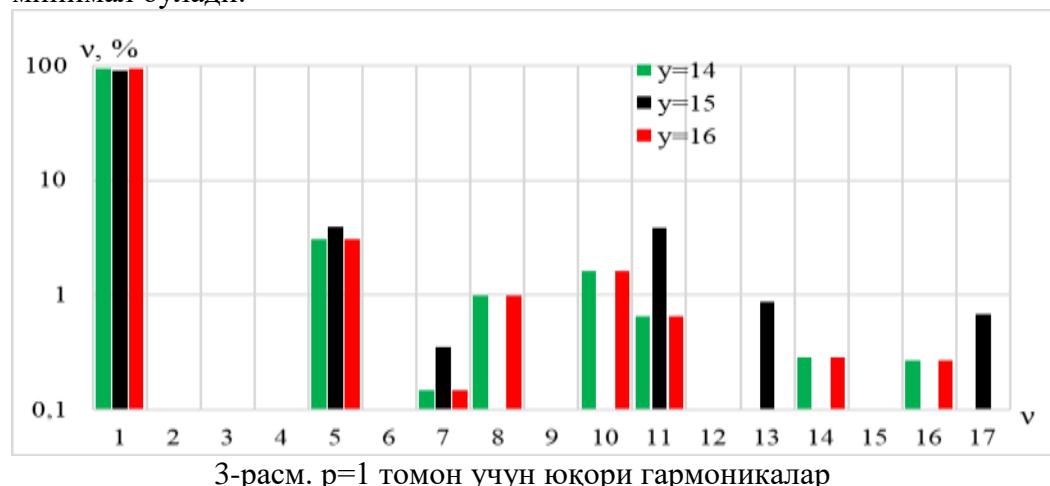
$v_{13}=0,87\%$, $v_{17}=0,68\%$ ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=1,3\%$.

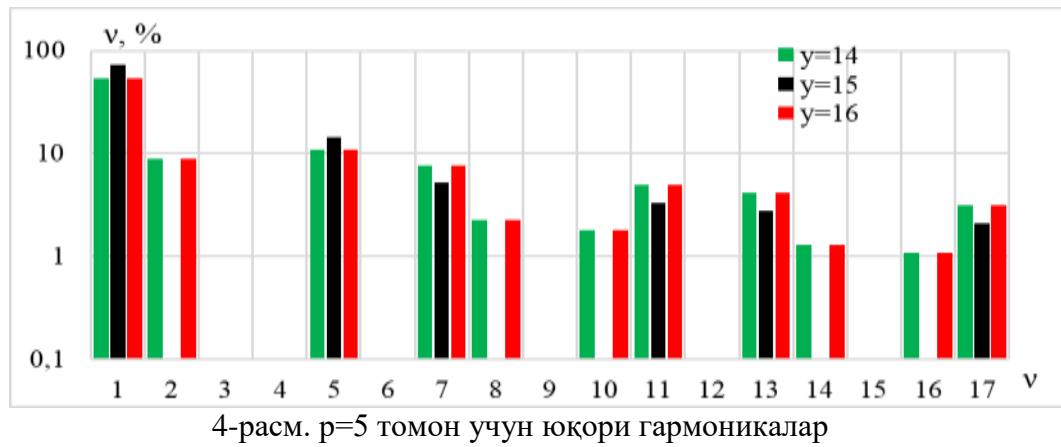
Агар чулғам қадами яна битта пазга узайтирилса, яни $y=16$ бўлганда МЮК гармоник ташкил этувчилари ва дифференциал сочилиш коэффициенти чулғам қадами $y=14$ бўлгандаги қийматга тенг. З-расмда $p=1$ томон учун юқори гармониклар диаграммаси келтирилган.

Ушбу чулғамнинг $2p=10$ қутб томони учун чулғам қадами $y=14$ бўлганда МЮК шаклида юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равища $v_2=13,97\%$, $v_5=9,67\%$, $v_7=6,93\%$, $v_8=3,48\%$, $v_{10}=2,81\%$, $v_{11}=4,4\%$, $v_{13}=3,72\%$, $v_{14}=2\%$, $v_{16}=1,76\%$, $v_{17}=2,84\%$, чулғам коэффициентини ҳисобга олинганда эса $v_2=8,98\%$, $v_5=10,78\%$, $v_7=7,67\%$, $v_8=2,26\%$, $v_{10}=1,81\%$, $v_{11}=4,91\%$, $v_{13}=4,16\%$, $v_{14}=1,3\%$, $v_{16}=1,1\%$, $v_{17}=3,16\%$ ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=21,8\%$ га тенг.

Агар чулғам қадами $y=15$ тенг бўлганда МЮК шаклида юқори гармоникаларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равища $v_5=12,76\%$, $v_7=9,09\%$, $v_{11}=5,78\%$, $v_{13}=4,89\%$, $v_{17}=3,74\%$, чулғам коэффициенти ҳисобга олинганда эса $v_5=14,42\%$, $v_7=5,19\%$, $v_{11}=3,33\%$, $v_{13}=2,77\%$, $v_{17}=2,12\%$ ни ташкил этади. Дифференциал сочилиш коэффициенти $\sigma_0=9,7\%$ га тенг. 4-расмда $p=5$ томон учун юқори гармониклар диаграммаси келтирилган.

Юқоридаги тахлиллардан кўриниб турибдики, статор пазлар сони 30 ва қутблари нисбати 1:5 бўлган «Y/Y δ » базавий схема асосидаги қутблари сони ўзгарувчан чулғамда $2p=2$ қутб томони учун чулғам қадами $y=15$ бўлганда юқори гармоник ташкил этувчилар минимал (жуфт гармоникалар мавжуд бўлмайди), Гергес диаграммасининг шакли айланага яқин ва дифференциал сочилиш коэффициентининг қиймати энг минимал бўлади.





Ушбу икки тезликли электр моторнинг иккала тезлиги ҳам бир хил аҳамиятга эга, қутблари ўзгарувчан чулғамни иккала томон электромагнит таркиби оптимал бўлиши керак, шунинг учун энг оптимал қадам сифатида $y=15$ ни қабул қиласиз.

Хулоса. 1. ДБФФ усули орқали қутблар сони ўзгарувчан чулғамни қуришда бошқа усуллардан фарқли иккита нормал чулғам олиниб ва бир вақтнинг ўзида токлар тақсимланишини биргаликда кўриб чиқиш принципи бўйича қурилади

2. Янги ишлаб чиқилган ҚСЎЧ МЮК гармоник таркиби таҳлили шуни кўрсатдики, $2p_1=2$ ва $2p_2=10$ қутб томонлар учун биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равиша 2,75%, 0,50%, 5,42%, 2,39%, 1,83% ни ташкил этади.

3. Ишлаб чиқилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг электромагнит таркибларини ҳар иккала қутб томонидан ҳар хил қадамлар учун таҳлили шуни кўрсатадики, статор пазлари 30 тенг бўлган ҚСЎЧ оптимал қадами 1:5 нисбатан учун базавий схема «Y/YY» бўлса $y=15$ ($1 \rightarrow 16$) тенг бўлади.

Адабиёт

1. 4E Electric Motor Systems Annex (EMSA). Policy Guidelines for Motor Driven Units – Part 2, 2018.
2. 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.
3. Bobojanov M., Rismuxamedov D., Tuychiev F., Shamsutdinov Kh. and Magdiev Kh. Pole-changing motor for lift installation // E3S Web of

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Conferences 216, 01164 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.

4. Reeves E.A., Heathcote M. Newnes Electrical Pocket Book, the 23rd edition, Great Britain, 2003. - 498 p. ISBN 0-7506-4758-2.
5. 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.
6. Broadway A.R.W. and Ismail K.S., Phase modulated 3-phase pole changing windings/ in ibid., 1986. -vol. 133, P.61–70.
7. Alwash J.H.H., Ismail K.S., Eastham J.F. A Novel 16/6 Phase Modulated Winding // IEEE transactions on energy conversion, 2000. -vol. 15. -No. 2. -P.188-190.
8. Каримов. Х.Г., Тупогуз Ю.А. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока // Электричество. – Москва, 1987. - №9. – С. 29-38.
9. Каримов. Х.Г. Основы теории и разработка регулируемых бесконтактных электроприводов переменного тока широкой области применения: /Дисс. . докт. техн.наук. – Ташкент, 1992. – 353с.
10. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для многоскоростных электрических машин. Ташкент, Издательство «Fan va texnologiya», 2010, - 170 с.
11. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. / Дис. ... д-ра. техн. наук.- Ташкент, 2006,- 243 с.
12. Рисмухамедов Д.А., Каримов Х.Г., Мавлонов Ж.М., Тўйчиев Ф.Н. Полюсопереключаемая обмотка для двухскоростной электрической машины Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение IAP 05385, 23.03.2017.
13. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключающими обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. / Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. «Фан ва технологиялар марказининг босмахонааси». - Ташкент, 2012. - 179 с.
14. Тўйчиев Ф.Н. Катта нисбатли қутблари ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиш ва тадқиқ килиш.: Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси. – Тошкент, 2021, - 98 с.
15. Рисмухамедов Д.А. Полюсопереключаемые асинхронные двигатели для турбомеханизмов./ Дисс. канд.техн. наук. -Ташкент, 2006. -225 с.
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. Caruso M., Tommaso A., Marignetti F., Miceli R., G. Ricco Galluzzo. «A general procedure for the construction of Gorges polygons for multi-phase windings of electrical machines», in 2018 Thirteenth International

Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies EVER, pp. 1-7, April 2018. <https://www.researchgate.net/publication/325350240>.

18. Seinsch Hans-Otto: Oberfelderscheinungen in Drehfeldmaschinen: Grundlagen zur analytischen und numerischen Berechnung// von Hans Otto Seinsch. - Stuttgart: Teubner, 1992 -139 p. ISBN 3-519-06137-6.

19. Tommaso A., Genduso F., Miceli R., Galluzzo G. An Exact Method for the Determination of Differential LeakageFactors in Electrical Machines with Non-Symmetrical Windings. // IEEE Transactions on Magnetics, 2016. - vol. 52 (9). -P. 1–10. <https://www.researchgate.net/publication/301916104>.

20. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Магдиев Х.Ф. Юк кўтариш транспорт механизмлари учун икки тезликли қутблар сони ўзгарувчан чулгам ишлаб чиқиш. Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари мавзусида республика илмий-техникавий анжумани. Тошкент, 2020. - Б.105-108.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

**КОНЧИЛИК КОРХОНАЛАРИДАГИ ЭЛЕКТР
УСКУНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСТЕ'МОЛИ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

А.И. Қаршибаев, Б.Ш. Нарзуллаев

Hozirgi kunda respublikamizda elektr energiyani barcha bosqichlarda, jumladan ishlab chiqarish, uzatish, tarqatish va iste'mol qilishda, elektr energiya va resurs tejalishiga erishiladigan elektr tizimlar, texnik vositalar va ilg'or texnologiyalarni ishlab chiqishga alohida etibor qaratilmoqda. Ushbu yo'naliishda, katta quvvatli elektr energiya iste'mol qiluvchi konchilik korxonalaridagi elektr uskunalarining elektr energiya iste'moli rejimlarini zamonaviy ilg'or texnologiyalar, elektr tizimlar, boshqaruv dasturlar, matematik model va algoritmlar orqali boshqarishni takomillashtirish, hamda ishlab chiqarishga joriy qilish muhim ahamiyatga ega bo'lmoqda. Shunday ekan, ushbu maqolada konchilik korxonalaridagi elektr uskunalarining ishchi mexanizimlarini harakatga keltiruvchi elektr motorlarining elektr parametrlar yordamida salt va yuklama rejimidagi xaraktristikalarini aniqlash, ishlash jarayonlarida sodir bo'ladigan turli avariyalarni oldini oluvchi mavjud qurilmalardan farqli ravishda qurilma yaratilganligi hamda ushbu qurilma Navoiy mashinasozlik zavodining "Dastgohsuzlik" bo'limidagi NT-250 dastgohiga joriy etilganligi haqida yozilgan. Natijada, elektr motorga berilayotgan yuklamaga mos holda elektr energiya iste'mol qilinyotganligi, elektr motor statoriga fazalardan kelayotgan kuchlanishni to'g'ri taqsimlanishiga, faza yo'qolishlarini vaqtida aniqlashga, elektr motorlarining qo'zg'aluvchi qismidagi podshipniklarning ishdan chiqish holatlarini hamda elektr motorlarning ishdan to'xtab qolishiga sababchi bo'lgan barcha avariyalarni o'z vaqtida oldi olinishiga, ishchi xodimning ish unumdoorligini hamda elektr texnologik uskunalarining soat, kun, oy va yil kesimida iste'mol qilgan elektr energiya miqdorini o'z vaqtida aniqlash, ularning salt ishlash vaqtlarini qisqartirish evaziga elektr energiyani tejash bilan bir qatorda elektr uskunalarining elektr energiya iste'moli samaradorligini oshirishga erishilgan.

В настоящее время в стране уделяется особое внимание развитию электрических систем, оборудования и передовых технологий, позволяющих экономить электрическую энергию и ресурсы на всех этапах, включая производство, передачу, распределение и потребление электроэнергии. В связи с этим важно совершенствование управления режимами энергопотребления электрооборудования на мощных горнодобывающих предприятиях за счет передовых технологий, электрических систем, математических моделей и алгоритмов,

управляющих программ, а также внедрение их в производство. В данной статье описаны характеристики электродвигателей, управляющих рабочими механизмами электрооборудования горных предприятий с использованием электрических параметров для определения характеристик холостого хода и нагрузочного режима, предотвращающих различные аварии при эксплуатации станка NT-250 Навоийского машиностроительного завода. Как следствие, расход электроэнергии осуществляется в соответствии с нагрузкой на электродвигатель, получено правильное распределение напряжений фаз в статоре электродвигателя, достигнуто своевременное обнаружение обрыва фаз, выхода из строя подшипников подвижной части электродвигателей и т.д. Достигнуто повышение энергоэффективности электрооборудования за счет своевременного предотвращения аварий, вызывающих простои, определения производительности и количества потребляемой электроэнергии электрооборудованием в часах, днях, месяцах и годах, их стоимости помимо экономии электроэнергии за счет сокращения времени.

Currently, the country pays special attention to the development of electrical systems, equipment and advanced technologies that allow saving electricity and resources at all stages, including the production, transmission, distribution and consumption of electricity. In this regard, it is important to improve the management of power consumption modes of electrical equipment at powerful mining enterprises through modern advanced technologies, electrical systems, control programs, mathematical models and algorithms, as well as their introduction into production. Therefore, this article describes the characteristics of electric motors that control the working mechanisms of electrical equipment of mining enterprises using electrical parameters to determine the characteristics of idle and load conditions, in contrast to existing devices that prevent various accidents during the operation of the NT-250 machine of the Machine Tool Department of the Navoi Machine Building Plant. As a result, power consumption in accordance with the load on the electric motor, the correct distribution of voltage from phases to the stator of the electric motor, timely detection of phase failure, failure of bearings of the moving part of electric motors, etc. Timely prevention of all accidents causing downtime, timely determination of the worker's productivity and the amount of electricity consumed by electrical equipment in hours, days, months and years, their salinity, in addition to saving electricity by reducing time, an increase in the energy efficiency of electrical equipment has been achieved.

Кириш. Ҳозирги кунда кончилик корхоналарида электр ускуналарининг қисман эскирганлиги, уларнинг электр энергия

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

истеъмоли режимларини бошқаришда автоматик бошқарув тизимларига ўтилмаганлиги сабабли уларда ортиқча электр энергия истеъмоли юзага келмоқда [1;2]. Шундай экан, биз электр ускуналарининг электр энергия истеъмоли режимларини автоматик равишида бошқарсак, электр моторларининг электр ва техник параметрларини мунтазам равишида назорат қилиб турсак электр ускуналарнинг электр энергия истеъмоли самарадорлигини оширишга шу билан бир қаторда энергия ресурс тежалишига эришган бўлардик. Юқорида айтиб ўтилган вазифаларни бажариш ва электр технологик қурилмаларнинг электр энергия истеъмоли самарадорлигини ошириш бўйича келиб чиқадиган муоммоларнинг ечими хозирги вақтда Республикаиздаги кончилик корхоналари ҳамда қишлоқ хўжалигининг турли соҳаларидаги, жумладан Навоий машинасозлик заводидаги дастгоҳлар учун долзарбdir.

Асосий қисм. Кончилик корхоналаридаги электр ускуналарининг электр энергия истеъмоли самарадорлигини ошириш учун уларни ишчи механизимларини харакатга келтирувчи электр моторларини электр энергия истеъмоли ва иш режимларини (салт ва юклама) назорат қилишда ва уларнинг хизмат даврини кескин узайтиришда фойдаланиладиган қуввати 10-4000 кВт гача бўлган электр моторларининг ишчи ҳолатларини (соз ва носоз) доимий равишида маниторинг қила оладиган ZM307A (ZM-интеграл микросхема, 3-уч фаза, 0-ҳимоя, 7А- ўзгарувчан ток) қурилмасини яратиш ҳамда амалиётга жорий этиш мақсадга мувофиқдир. ZM307A қурилмасининг умумий кўриниши 1-расмда келтирилган.

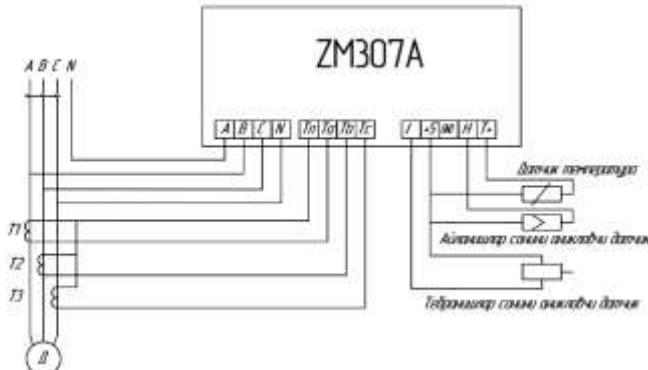


1 - расм. ZM307A қурилмасининг умумий кўриниши

ZM307A назорат қурилмасининг асосий вазифалари қуйидагилардан иборат:

- электр технологик қурилмаларнинг мавжуд электр параметрларини аниқлаш;
- аниқланган электр энергия параметрларини бошқарув пункитига узатиш;
- олинган маълумотларни қайта ишлаш ва назорат қилиш.

ZM307A назорат қурилмаси бир фазали электр энергия билан таъминланади. Назорат қиласидаги электр технологик қурилманинг кувват манбай билан параллел уланади. Электр моторларига уланиш схемаси 2-расмда кўрсатилган.



2 - расм. ZM307A назорат қурилмасини электр моторларига уланиш схемаси

ZM307A назорат қурилмаси электр технологик ускуналарининг қўйидаги асосий электр ва техник параметрларини аниқлаш имконини беради:

- фаза кучланишларнинг чегаравий (максимал ва минимал) қийматини аниқлайди (1000 В гача);
- фаза токларини чегаравий (максимал ва минимал) қийматини аниқлайди (истеъмолчининг кувватидан келиб чиқсан холда);
 - фаза йўқолишини назорат қиласди (айнан қайси фаза йўқолиши);
 - электр моторнинг умумий қизиш хароратини аниқлайди (135°C);
 - электр моторнинг айланышлар сонини аниқлайди (3000 айл/мин);
 - электр моторнинг ротор титраш коэффициентини аниқлайди (10000 марта);
 - истеъмол қиласидаги актив ва реактив қувватларнинг чегаравий (максимал ва минимал) қийматларини аниқлайди;
 - электр моторнинг иш режимларини (салт ва юклама) аниқлайди;
 - юқорида аниқланган маълумотларни бош компьютерга масофавий узатади;
 - бош компьютер олинган маълумотларни визуал кўринишида тасвирлаб беради.

ZM307A назорат қурилмаси хозирги кунда Навоий машинасозлик заводидаги “Дастгоҳсозлик” бўлимидағи дастгоҳларнинг электр энергия истеъмоли самарадорлигини оширишда, мавжуд электр параметрларини аниқлашда, суткалик истеъмол қилинган электр энергия қийматини ҳамда электр моторнинг ишчи холати (соз ва носоз), дастгоҳларни турли хил иш

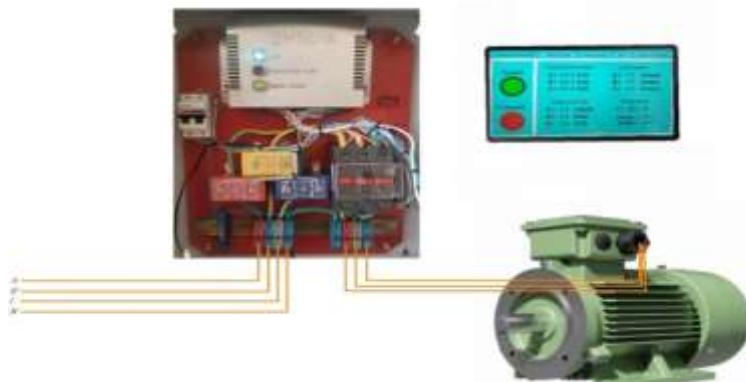
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

режимларида (салт ва юклама) ишлаш холатини доимий равища аниқлаш ва назорат килиб туриш учун жорий этилмоқда.

Хозирги кунда Навоий машинасозлик заводидаги дастгоҳлардан НТ-250 дастгоҳи заводнинг ўзида ишлаб чиқарилади. НТ-250 дастгоҳини заводда ишлатиш билан бир қаторда, чет эл мамлакатларига ҳам экспорт қилинади. Шу боис ZM307A қурилмасини НТ-250 дастгоҳининг электр энергия истеъмоли режимларини тезкор бошқариш моделлари ва усулларини ишлаб чиқиша фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

НТ-250 дастгоҳининг асосий ишчи механизми шпенделини харакатга келтиришда 15 кВт ли қисқа туташтирилган асинхрон моторлардан фойдаланилади. Шу боисдан ZM307A назорат қурилмасини НТ-250 дастгоҳининг 15 кВт ли қисқа туташтирилган асинхрон моторларига ўрнатиб уларнинг техник ва электр параметрларини ҳамда иш режимларини мунтазам равища назорат қилиб турамиз.

ZM307A назорат қурилмасини НТ-250 дастгоҳининг асосий ишчи механизмини харакатга келтирувчи 15 кВт ли қиқа туташтирилган асинхрон электр моторига ўрнатилишини умумий кўринишнинг структуравий схемаси 3-расмда келтирилган.



3-расм. НТ-250 дастгоҳининг асосий ишчи механизмини харакатга келтирувчи электр моторининг кўриниши

ZM307A назорат қурилмасининг замонавий дастурлаш тиллари Visual Studio ва C# дастурлаш тилларидан фойдаланган ҳолда 3 та асосий дастурий таъминоти яратилди [3 - 7].

1. Қабул қилувчи дастурий таъминот. Ушбу дастурий таъминотда ZM307A қурилмасидан келайотган маълумотлар сигнал тариқасида ушбу дастурий қисмда қабул қилинади ва қайта ишланади ҳамда қайта ишланган маълумотларни компьютерга узатилишини таъминлаб беради [8;9].

2. Узатувчи дастурий таъминот. Узатувчи дастурий таъминоти ZM307A қурилмасининг асосий дастурий қисми ҳисобланади. Узатувчи дастурий таъминотда назорат қилинайотган қурилманинг барча

параметрлари аниқланади ва маълумотларни қабул қилувчи қурилмага симсиз узатиб беради. Бунда электр мотордан олинадиган маълумотлар қўйидагича аниқланади [10; 11].

Фаза кучланишини аниқлаш. Фаза кучланишлари бўйича қабул қилинган сигнал узатувчи дастурий таъминот асосида қайта ишланиб фаза кучланишларини қўйидаги формулалар орқали аниқлайди.

$$U_A = i_a \cdot \beta; \quad (1)$$

$$U_B = i_b \cdot \beta; \quad (2)$$

$$U_C = i_c \cdot \beta; \quad (3)$$

бу ерда: U_A ; U_B ; U_C – фаза кучланишлари; i_a ; i_b ; i_c – фазалардан келаётган сигнал; β – пропарционаллик коиффициенти. (1-3) формулалар ёрдамида учта фазадаги кучланишлар аниқланади ва кучланишларнинг қийматлари чоп этувчи дастурий таъминотга узатилади [12 - 14].

Фаза токларини аниқлаш. Фаза токлари бўйича қабул қилинган сигнал узатувчи дастурий таъминот асосида қайта ишланиб фаза токларини қўйидаги формулалар ёрдамида учта фазадаги токлар аниқланади ва фаза токларнинг қийматлари чоп этувчи дастурий таъминотга узатилади.

$$I_A = j_a \cdot \eta; \quad (4)$$

$$I_B = j_b \cdot \eta; \quad (5)$$

$$I_C = j_c \cdot \eta; \quad (6)$$

бу ерда: I_A ; I_B ; I_C – фаза токлари; j_ϕ – ток трансформаторидан келадиган сигнал; η – ток трансформаторининг трансформация коеффициенти [15].

Хароратни аниқлаш. Электр моторнинг ҳарорати бўйича қабул қилинган сигнал узатувчи дастурий таъминот асосида қайта ишланиб чоп этувчи дастурий таъминотга узатилади [16].

Ротор титраш коэффициентини аниқлаш. Электр моторнинг ротор титраши ҳақидаги маълумотлар сигнал тариқасида узатувчи дастурний таъминот асосида қайта ишланиб чоп этувчи дастурий таъминотга узатилади [17].

Электр моторнинг салт ва юклама режимида ишлаш холатини аниқлаш. Электр моторнинг тўла механик қуввати ҳақиқатдан фойдали ёки фойдасиз ишга сарфланганлигини электр мотор истеъмол қилган ток орқали аниқланади, бу бўйича олинган маълумотлар узатувчи дастурий таъминотда қайта ишланиб маълумотларни чоп этувчи дастурий таъминотга узатилади [18; 19; 20].

3. Чоп этувчи дастурий таъминот. Чоп этувчи дастурий қисмда узатувчи дастурий таъминотдан олинган маълумотлар тартибланган ҳолда компьютер интерфейисида ўзгарувчилар ва график кўринишда тасвирлаб беради.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

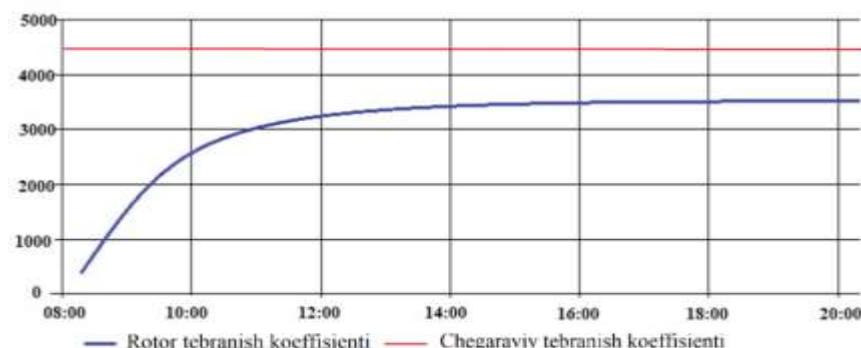


4-расм. Электр технологик қурилмадан олинган техник ва электр параметрларни бош комъюнитер экранида тасвирланиши



5-расм. Электр моторларларнинг қизиш ҳароратини бош комъюнитер экранида график шаклида тасвирланиши

Ушбу графикда яшил чизик электр моторнинг нормал ишчи ҳароратини билдиради, қизил чизик эса электр моторнинг максимал қизиш ҳолатдаги ҳароратини билдиради. Электр моторларнинг максимал қизиш ҳарорати кувватига қараб уларнинг изоляция синфидан аниқланади.



6-расм. Электр мотор роторининг титраш коэффициентининг график шаклида комъюнитер экранида кўриниши

Хулоса. Олиб борилган илмий-тадқиқот натижалари асосида ишлаб чиқилган ZM307A назорат қурилмаси амалиётта жорий қилинса, электр технологик қурилмаларининг электр энергия истеъмоли самарадорлигини оширишда, энергия ресурсларни тежашда, иш жараёнида келиб чиқадиган аварияларни олдини олишда ва бошқа омиллар оқибатида келиб чиқадиган заарларни камайтиришда янги қурилма бўлиб хизмат қиласи ҳамда электр технологик ускуналар учун сарфланадиган маблағларни тежаш имконини беради.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р., Хошимов Ф.А. Энергосбережение на промышленных предприятиях. - Т.: Фан, 2011: -207 с.
2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. Т. Аналитический обзор. - Т.: Издательство “Молия”. 2007 - 388 с.
3. Анчарова Т.В., Пищур А.П. Анализ временных рядов и выделение тренда электропотребления предприятий малой мощности. // Новые технологии. 2002. - №3. - С.42-43.
4. Анчарова Т.В., Пищур А.П. Анализ и нормирование электропотребления предприятий средней и малой мощности с многономенклатурным производством. // Вестник МЭИ. 2003. - №2.
5. Банци.М. Arduino для начинающих волшебников. - М.: Рид Групп, 2012. — 128 с.
6. Белан А.В., Гордеев В.И. Прогнозирование электропотребления на основе многофакторного, регрессионного и корреляционного анализов. // Проблемы энергосбережения. 1991. - №7. - С. 54-59.
7. Богатырев Л.Л. Алгоритмы принятия решений в экспертных системах управления аварийными режимами энергосистем // Изв. АН Энергетика и транспорт. 1998. - №1. - С. 14-17.
8. Боровиков В. STATISTIKA. Искусство анализа данных на компьютере. Питер, 2003: - 698 с.
9. Белан А.В., Гордеев В.И. Прогнозирование электропотребления на основе многофакторного, регрессионного и корреляционного анализов. // Проблемы энергосбережения. 1991. - №7. - С. 54-59.
10. Вагин Г.Я., Дудников Л.В., Зенютич Е.А. и др. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях. Справочно-методическое пособие. 2001: - 296 с.
11. Қаршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Муродов Х.Ш. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises // APITECH II Journal of Physics: Conference Series 2020.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

12. Каршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Расурова Б.И. Саноат корхоналаридаги электр энергия истеъмолчиларининг иш режимларини ахборот-мантиқий схема ёрдамида бошқариш. // Кончилик хабарномаси журнали. 2020 й. 2-сони.
13. Каршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Суяров О.Т., Расурова Б.И. Саноат корхоналарининг энергия самарадорлигини баҳолаш. // Журнал: Специальный выпуск проблемы энерго и ресурсосбережения. - Тошкент: 2019.
14. Karshibaev A.I, Narzullaev B.Sh. Saving Energy and Resources through Electric Power Consumers Management. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 6 , June 2019 .
15. Karshibaev A.I, Narzullaev B.Sh. Improving planning, operational management and accountability for energy consumption in Uzbekistan's industrial plants. // International journal of advanced research in science engineering and technology. – Индия, 2019. - №6. – С. 11086-11088.
16. Каршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Расурова Б.И. Саноат корхоналари электротехнологик курилмаларининг электр энергия истеъмолини кўп омилли математик модели //Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021.- С. 120-121
17. Каршибаев А.И. Basic principles of power consumption at mining enterprises. // Europaische Fachhochschule. -Германия, 2016. - №4. - С. 29
18. Каршибаев А.И. Повышение эффективности электропотребления в условиях горных предприятий Узбекистана. Монография. -Навои. 2015: -160 с.
19. Каршибаев А.И. Повышение эффективности электропотребления в условиях горных предприятий Узбекистана. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. -Москва. 2011: -124 с.
20. Иброхимов У. Электр машиналари. Дарслик. – Ташкент: Ўқитувчи. 2001.

*Навоий давлат кончилик институти
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.313.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ И УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ РУДЫ

Ж.А. Мавлонов

Бутун дунёда рудани майдалаши жараёнида шар тегирмонларининг электр юритмасининг самарадорлигини ошириши, шунингдек, руданинг сифатига қараб шар барабанларининг айланиси тезлигини ўзгартириши бўйича тадқиқотлар олиб борилмоқда. Рудани майдалашида назорат қилиши - автоматик бошқарии ривожланишидаги янги босқич ҳисобланади. Мамлакатда иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири бўлган энергетика тармогининг ривожланишининг технологик даражасини ошириши, саноатнинг энергия самарадорлигини комплекс ривожлантириши бўйича илмий тадқиқотларни жорий этиши чоралари кўрилмоқда. Маълумки, тоз -кон саноати қайта ишилаш секторининг асосий тармоқларидан бири бўлиб, Ўзбекистон иқтисодиётининг экспорт қисмини оширишига ҳисса қўшади. Ўзбекистонда замонавий технологияларни жорий этиши, ишилаб чиқарии корхоналарини модернизация қилиши, инновацион фаолиятни ривожлантиришига қаратилаётган эътибор саноат салоҳиятини оширишида муҳим омил ҳисобланади. Руда тайёрлашишилари, физик ва кимёвий хилма -хиллигига кўра, уларни ажратиш учун, кейинчалик бойитиш жараёнини ва қайта ишилаш чуқурлигини аниқлайдиган технологиянинг ажralmas қисми ҳисобланади. Бироқ, рудани майдалаши жараёnlари қайта ишилаш учун сарфланадиган асосий энергиядан энг кўп энергия талаб қиласди ва қимматга тушади. Ҳозирги вақтда инновацион қурилмаларни қўллаш ва тадқиқ қилиши кўп соҳаларда ривожланмоқда. Шу билан бирга, унинг ривожланиши электр юритма тизимини бошқарии стратегияси учун янги гоялар ва янги усулларни келтириб чиқаради. Кон корхоналарининг гидрометаллургия корхоналарида шар тегирмонини бошқарии тизимининг параметрларини ўрганиши тегирмон радиуси, тегирмон узунлиги, шар массаси, тўлдириши коеффициенти, тегирмон барабанинг ички диаметри ва барабаннинг ички фойдали ҳажмини ҳисобга олиш муҳим ҳисобланади. Шу билан бирга, қўйидаги масалалар етарлича ўрганилмаган: ишилаб чиқарии ва технологик омилларнинг энергия сарфи ва шар тегирмонининг иши режисмига таъсири; "Синхрон двигателли - шар тегирмони" тизимининг иши режисмларини тартибга солиши. Ушибу мақолада юқоридаги муаммоларни таҳлил қилиши ва ҳал қилиши усулларини

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

такомиллаштирилган, шунингдек уларни ҳал қилиши йўллари тақлиф қилинган.

Во всем мире проводятся исследования по повышению эффективности электропривода шаровых мельниц в процессе измельчение руды, а также по изменению скорости вращения шаровых барабанов, в зависимости от качества руды. Управление измельчения руды является новым этапом развития науки об автоматическом управлении. В стране принимаются меры повышения технологического уровня развития энергетического сектора, который является одним из важнейших секторов экономики, и внедрению научных исследования комплексному развитию энергоэффективности в промышленности. Как известно, горнодобывающая отрасль является одной из ключевых отраслей перерабатывающего сектора и вносит свой вклад в увеличения экспортной части экономики Узбекистана. Уделаемое в Узбекистане внимание внедрению современных технологий, модернизации производственных предприятий, развитию инновационной деятельности служит важным фактором повышения промышленного потенциала. Измельчение, является неотъемлемой частью технологии, которая определяет дальнейший процесс обогащения и глубину переработки руды, чтобы разделить их в соответствии с их физическим и химическим разнообразием. Однако процессы измельчения руды являются энергоемкими и дорогостоящими основной энергией, расходуемой на переработку. В настоящее время исследования и применение контроля развиваются для управления системой электропривода. Параметры системы управления шаровой мельницей на гидрометаллургических предприятиях горнодобывающих предприятий, зависят от радиуса мельницы, длины мельницы, массы шаров, коэффициента заполнения, внутреннего диаметра барабана, а также внутреннего полезного объема барабана. Недостаточно исследованы следующие вопросы: влияние производственно-технологических факторов на электропотребление и режим работы шаровой мельницы; регулирование режимов работы системы «синхронный двигатель – шаровая мельница». В данной работе рассматриваются вопросы совершенствования методов анализа вышеперечисленных проблем, а также предлагаются пути их решения.

All over the world, research is being carried out to improve the efficiency of the electric drive of ball mills in the process of grinding ore, as well as to change the speed of rotation of ball drums depending on the quality of the ore. Control in grinding ore is a new stage in the development of the science of automatic control. Measures are being taken in the country to improve the technological level of development of the energy sector, which is one of the most important sectors of the economy, and to introduce scientific research on the integrated development of energy efficiency in industry. As you know, the mining industry is one of the key sectors of the processing sector and contributes to

increasing the export part of the economy of Uzbekistan. The attention paid in Uzbekistan to the introduction of modern technologies, the modernization of manufacturing enterprises, the development of innovative activities is an important factor in increasing industrial potential. Ore preparation work, such as grinding, is an integral part of the technology that determines the further beneficiation process and the depth of ore processing in order to separate them according to their physical and chemical diversity. However, ore grinding processes are the most energy intensive and costly of the main energy consumed in processing. Currently, research and application of control is developing in many areas. At the same time, its development brings new ideas and new methods for the control strategy of the electric drive system. Investigation of the parameters of the control system of a ball mill in hydrometallurgical enterprises of mining enterprises, depends on the radius of the mill, the length of the mill, the mass of the ball, the filling factor, the inner diameter of the drum and the inner useful volume of the drum. However, the following issues have not been sufficiently studied: the influence of production and technological factors on power consumption and the operating mode of a ball mill; regulation of the operating modes of the "synchronous motor - ball mill" system. This paper discusses the issues of improving the methods of analysis and solution of the above problems, and also suggests ways to solve them.

Введение. В настоящее время особое внимание уделяется управлению технологическими процессами в горнодобывающей промышленности, улучшению их технических свойств, повышению энергоэффективности процессов измельчения руд [1-5]. В развитых странах основываются на «... различных подходах к повышению эффективности использования электроэнергии в процессе измельчения руды в шаровых мельницах и управления режимом работы электродвигателей». В связи с этим особое внимание уделяется использованию современных технологий, в том числе снижению энергозатрат в процессе измельчения руды. Вопросах повышения эффективности использования электроэнергии в процессов измельчения руды уделяется недостаточное внимание [6-11].

Необходимо повышение энергоэффективности гидрометаллургических заводов за счет систематического управления с использованием программного обеспечения и аналитических инструментов энергопотребление повышают способность управлять источниками энергии на протяжении всей организационно-технологической цепочки предприятия и повышает конкурентоспособность. В связи с этим надо усилить работы по расширению использования энергосберегающих технологических средств недостаточно эффективны из-за низкого уровня использования энергоменеджмента как сложного человеко-машинного процесса [12]. В связи с этим выявление влияния технологических факторов на энергопотреб-

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

ление гидрометаллургические заводы, определение моделей энергопотребления, разработка программно-аналитических систем и рекомендаций по повышению энергоэффективности предприятий относятся к числу актуальных научных проблем.

Основная часть. Анализ работ, посвященных исследованию и совершенствованию режимов работы электрических приводных систем, обеспечивающих измельчение руды, показывает, что разными авторами разработаны конкретные методы исследования режимов работы и выполнены важные теоретические экспериментальные исследования. Однако следует отметить, что известные экспериментальные и теоретические материалы не учитывают электромеханическую конструкцию мельницы - характеристики двигателя, в частности, динамическое перемещение груза. Кроме того, невозможно применить традиционные методы исследования режимов работы системы электропривода, связанные с изменением технико-экономических требований процесса измельчения руды [13-16]. Поэтому целесообразно глубоко изучить проблему совершенствования режимов работы системы электропривода, обеспечивающей измельчение руды. Особенность электропривода рудной мельницы связана с тем, что существует связь между электромеханическими явлениями привода и технологическим процессом измельчение руды.

Независимо от формы используемого электропривода качественные и количественные характеристики готового продукта (измельченной руды), характеризующие работу системы, обусловлены рабочими состояниями двигателя, управляющих устройств и механизмов передачи. Это также подтверждается полной активной мощностью, сформированной на оси вращения барабана мельницы [17].

$$P = \frac{P_o + P_{\Pi}}{\eta_D \eta_M}; \quad (1)$$

где η_D - КПД двигателя; η_M - КПД механизма привода трансмиссии, позволяющий учесть потери механизма привода в коронной шестерне, в сцеплении; P_o -полезная сила; P_{Π} -потери мощности.

Учитывая (1) и формулу определения мощности двигателя, получим:

$$mIU \cos \phi = \frac{P_o + P_{\Pi}}{\eta_D \eta_M}; \quad (2)$$

где m - количество фаз; I - ток статора; U - напряжение питания сети; $\cos \phi$ -коэффициент мощности.

Принимая во внимание (2) и используя круговую диаграмму синхронного двигателя, можем подтвердить графические зависимости между электрическими параметрами двигателя и степенью наполнения основного материала (K_h) (рис.1). Зависимости $\cos \phi = f(K_h)$, $\sin \phi = f(K_h)$, $I = f(K_h)$ были получены путем измерения электрических параметров двигателя.

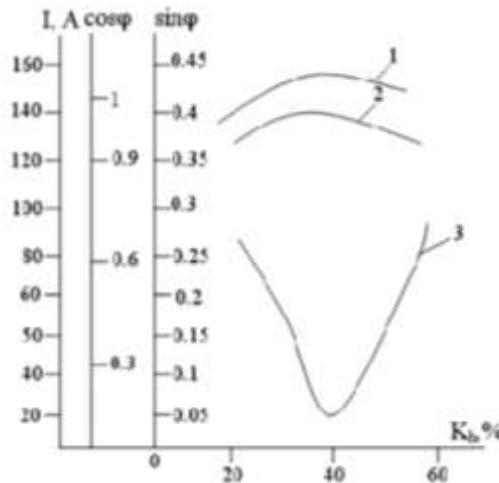


Рис.1. Зависимости электрических параметров электродвигателя привода мельницы от степени заполнения внутрифрезерной нагрузки:

1 - зависимость тока статора от степени заполнения нагрузки
 $2 - \cos \phi = f(K_h), 3 - \sin \phi = f(K_h)$

Из рис.1 следует, что наиболее чувствительной является кривая $\sin \phi$. Учитывая зависимость $\cos \phi = f(K_h)$ и зависимость, полученную для угла, θ определяется:

$$\theta = \arctg \frac{I \cos \phi}{U_{x_q} + I \cos \phi}; \quad (3)$$

изменение угла θ обусловленные изменением степени заполнения мельницы можно оценить.

Многие работы, исследующие зависимость синхронного двигателя от $\theta = f(t)$, известны [18], но они ограничивают себя, только подтверждая зависимость $\theta = f(t)$ синхронной машины для изучения изменение угла θ на $\Delta\theta$ рассматривается относительно его постоянного значения θ_0 : $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$. Соответственно, для электромагнитного момента M_E используется следующая зависимость, которая является функцией от угла θ

$$M_E = M_{E0} + \Delta M_E$$

Такие исследования не позволяют оценить динамику режима работы двигателя, обеспечивающего электропривод мельницы в условиях качественных и количественных характеристик подаваемой руды и изменения напряжения. Для разработки моделей исследования режимов работы электродвигателя системы электропривода рудника используется соотношение, характеризующее зависимость механических характеристик двигателя и мельницы:

$$M_D = M - M_c; \quad (4)$$

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

где M момент синхронного двигателя; M_c - момент сопротивления руды; M_D - динамический момент системы привода.

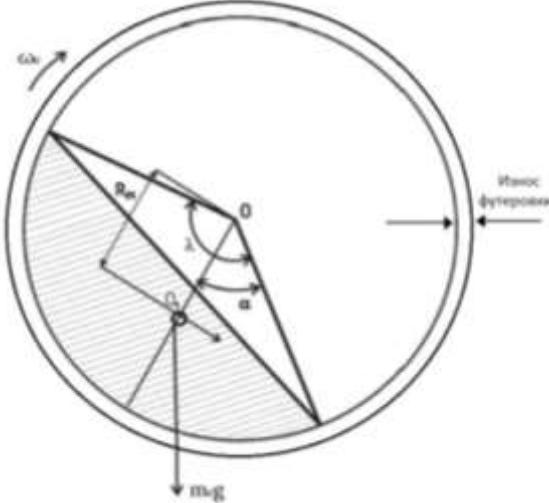


Рис. 2. Схема определения момента сопротивления руды.

λ -центральный угол сектора, соответствующий степени наполнения материала в мельнице; R -радиус мельничного барабана. α - угол обхода материала в мельнице; m_c - масса материала молотого в мельнице. ω_c - угловая скорость вращения мельницы

Для исследования состояния системы в различных режимах работы по использовал по следующему формулами. Для построения модели выражение вводится основными единицами:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{T_{m\mu}B} \cdot \left[\left(\left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right) \frac{d\theta}{dt} + \left(\frac{mUE_f \sin \theta}{x_d} + \frac{mU^2}{2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \right) \frac{1}{\omega} - m_c g R_{01} \frac{\omega_c}{\eta_M \omega} \sin \alpha \right]; \quad (5)$$

где:

$$T_{m\mu} = \frac{GD^2 n^3 p}{3450 \sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot UI}, \quad B = \frac{\sqrt{3} UI p}{\omega},$$

здесь GD^2 - ускоряющий момент ротора; n - частота синхронного вращения; p - число пар полюсов синхронного двигателя; I - ток статора.

Независимо от формы используемого электропривода качественные и количественные характеристики готового продукта (измельченной руды), характеризующие работу системы, обусловлены рабочими состояниями завода, двигателя, управляющих устройств и механизмов

передачи. Это также подтверждается полной активной мощностью, сформированной на оси вращения барабана мельницы [19,20].

Обобщение экспериментальных данных. Оценить влияние степени износа футеровки шаровых мельницы на потребляемую электроэнергию целесообразно проводит по энергетическим характеристикам $P=f(A)$ что соответствует эффективности. Нами проводилось экспериментальное выявление влияния степени износа футеровки шаровых мельниц МШЦ (мельница шаровая с центральной разгрузкой) на уровень потребляемой ими мощности по энергетическим характеристикам $P=f(A)$. Для вывода указанных энергетических характеристик использовались сменные замеры Q_i и W_i , полученные в течение первых 11-17 дней после установки (новая футеровка) и последние 12-16 дней работы.

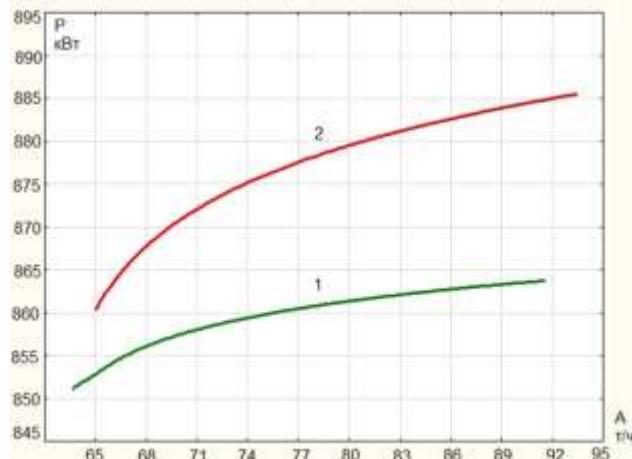


Рис.3. Энергетические характеристики $P=f(A)$ мельницы МШЦ (шаровая мельница с центральной разгрузкой) с новой (1) и изношенной (2) футеровкой

Анализ энергетических свойств испытываемых шаровых мельниц показывает, что среднее значение мощности $P_{из}$, потребляемой шаровой мельницей с устаревшей футеровкой, составляет примерно 100-120 кВт или 5-6% от соответствующего значения мощности $P_{нов}$, потребляемой новой футеровкой. увеличивается. На основе значений Q_i , W_i , - вычислялись средние часовые величины R_i и A_i , у которых в дальнейшем применялись методом математической статистики и теории вероятностей. Расчетные и оптимальные показатели статистической связи $P=f(A)$ мельниц, МШЦ с новой и изношенной футеровкой и соответствующие уравнения энергетических характеристик приведены в табл.1.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Таблица 1

Обобщение экспериментальных данных

Наименование показателей, обозначение	Размерность	Изношенная футеровка	Новая футеровка
Диапазон изменения производительности	т/ч	65-86	64-80
Диапазон изменения потребляемой мощности	кВт	780-920	680-760
Частота (скорость) вращения мельницы	об/мин	18	18
Шаровая загрузка	%	43	43
Средняя производительность	т/ч	77	73
Средняя потребляемая мощность	кВт	863	731

Графики, построенные по таблицам, показаны на рис.3.

Заключение. На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Износ футеровок шаровых мельниц приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии и мощность потребления на 5-6% (относительно тех же значений новой футеровки шаровых мельниц).
2. Влияние износа футеровки мельниц на электроэнергетические показатели следует учитывать при определении норм расхода электроэнергии на измельчение руды.

Литература

1. Мейта А.В., канд. техн. наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» Исследование факторного поля шаровой мельницы. 2003 – 212 с.
2. Михельсон, Н.Г. Требование к материалу футеровки барабана мельницы / Н.Г. Михельсон // Цветные металлы. 1972. – 92 с.
3. Мавлонов Ж.А. Вращение, производительность и потребляемая мощность шаровых мельниц. /Proceedings of the international conference on integrated innovative development of zarafshan region achievements, challenges and prospects, 2019.27-28.11. Navoi, Uzbekistan.
4. Maryuta A.N. Model of friction vibrations of the central part of the drum mills//Proceedings of HEE. Mining Journal. 1985.
5. Chilikin M.G., A.S. Sandler. Guidelines of electric drive. – M.: Energoizdat. 1981. – P.576.
6. Fomin D.V. Investigation of the automated system of synchronous motor stimulation in the function of load angle. // Electromechanics. 2004. – №2. – P. 79–81.
7. Kopilov I. P. Electrical machines. – M.: Vissnaya shkola. 2006. – P.607.
8. Kuvaev Ya. G. Automated expert energy-saving control system with exclusive cycle of wet ball grinding.//Naukovo, Practical journal. – 2006.

9. Pending patent 2304438 (RF). Automated control device for the ore crushing process./B.B. Bunin, V. M. Kurkin, V.A. Borovkov, A.G. Marodadki, V. M. Leushin. – Publ. in Proceedings. – 2003.
10. Rozen V.P. Application of models based on the neural networks for solving of the multi-criteria management task of crushing-grinding complex / Rozen V.P., Kalinchik V.P., Meita A.V // Visnyk NTUU "KPI", 2003.
11. Schnatz R., Int. J. Miner. Optimization of continuous ball mills used for finish-grinding of cement by varying the L/D ratio, ball charge filling ratio, ball size and residence time. //Process. – 2004.
12. Авилов-Карнаухов Б.Н., Зюбровский Л.Г. Оптимизация работы механизма с электроприводом по производительности агрегата. - Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Рациональные режимы энергопотребления". ч.П. 1977.
13. Андреев С.Е. Полезная мощность, потребляемая шаровой мельницей при каскадном режиме. - Обогащение руд, 1969.
14. Андреев Е.Е. и др. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. – СПб:СПГГИ (ТУ), 2007.
15. Бажанова О.И. Технологическая аспирация шаровых барабанных мельниц. /Дисс. Белгород. 2013.
16. Богатиков В.Н., Туз А.А. Управление технологическими процессами измельчения и основные направления их автоматизации. //Интернет-журнал «Науковедение».
17. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы (с поперечно-продольным движением загрузки).—Белгород: 2002. -С. 258.
18. Бочков В.С. Повышение износостойкости наклепом футеровок шаровых мельниц при проведении их технического обслуживания. - Санкт-петербург-2014.
19. Гржибовский А. М. Корреляционный анализ. Национальный институт общественного здоровья, - Осло, Норвегия. 2008.
20. Данилова М.Г. Гамбург К.С, Чернышов С.Ю. Моделирование системы регулирования шаровой барабанной мельницы /Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС".

Представлено Навоийским
государственным горным институтом

КАЛИБРОВКА ФОТОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ЛУЧИСТОГО ПОТОКА

А.А. Абдурахманов, Ю.Б. Собиров, С.Ш. Махмудов, Ш.М. Ахмадов

Уибу мақолада Ўзбекистондаги иссиқлик қуввати 1000 кВт бўлган Катта Қуёш Печи фокал майдонида мужассамлаширилган Қуёш нурлари оқими зичлигини ўлчаши учун мўлжассамлаширилган фотометр ёритилган. Икки қўзгули қуёш печи концентратори фокал текислигидаги қуёш нур оқими зичлиги тақсимотини ўлчаши схемаси келтирилган. Сезгири қабул қилувчи сифатида кремний асосидаги қуёш фотоэлементлари ишлатилган. Фотоэлементлар фотометр корпуси ичида қалинлиги 2 мм бўлган изоляция материали - гетинахдан ясалган думалоқ дискга жойлаширилган. Қабул қилувчи диск юзаси фотометр охирида жойлашган диффуз нур қайтарувчи экранга йўналтирилган ва экрандан акс этган нурлар билан ёритилади. Уибу ишда фотометрда ҳосил бўладиган электр токининг қиймати фотометрниң кириши тешиги - диафрагмаси орқали тушадиган ёруғлик оқими зичлигига тўғри пропорционал эканлиги тажриба орқали кўрсатилган. Мужассамлаширилган қуёш нури оқими зичлиги тақсимотини бир зумда (инерциясиз) ўлчаши учун мўлжассамлаширилган фотометр нисбий ўлчаши услуги ҳисобланади. Нур оқими зичлигининг мутлоқ қийматларини аниқлаши учун фотометрни этalon қуёш датчикларига нисбатан калибрровка қилиши керак. Калибрровка пайтида, биз биринчи синфга мансуб қуёш датчиклари СНР 1 турдаги тиргелиометрдан фойдаландик, бу датчиклар стандарт ISO 9060 бўйича иккиласми эталон датчиклари ҳисобланади ва иш жараённида эксплуатация қилинадиган қуёш датчикларини уларга нисбатан калибрровка қилишига тавсия этилади. Мақолада иш жараённида эксплуатация қилинадиган қуёш датчикларини СНР 1 типидаги қуёш датчикларига нисбатан калибрровка қилиши услуги ва натижаси келтирилган. Уибу фотометрни, диаметри 20 мм бўлган катта диафрагма қўллаган ҳолад актинометр сифатида қуёшдан тўғри тушаётган ёруғлик оқими зичлигини ўлчаши учун ва нур оқими зичлигини сусайтирувчи - кичик диафрагма қўллаган ҳолда, фотометр сифатида, бир квадрат сантиметр юзага тушадиган юзлаб ваттгача бўлган мужассамлаширилган нур оқими зичлигини ўлчаши мумкин. Уибу фотометр Катта Қуёш Печини эксплуатация қилиши жараёнига тадбиқ қилинган. Фотометрдан гелиостатлар ва концентратор фацепталарини юстировка қилишида ва Катта Қуёш Печининг энергетик параметларини ўлчашида фойдаланиб келинмоқда.

В работе приведён процесс калибрровки фотометра для измерения концентрированного лучевого потока Солнца в фокальной зоне Большой Солнечной Печи Узбекистана тепловой мощностью 1000 кВт. Приведена схема измерения распределения плотности солнечного потока на фокальной плоскости концентратора бизеркальной солнечной печи. В качестве чувствительных приёмников использованы кремниевые фотоэлек-

трические элементы. Фотоэлементы расположены в корпусе фотометра на круглом диске из изоляционного материала - гетинакса толщиной 2 мм. Поверхность приёмника направлена на диффузно-отражающий экран, расположенный на торце фотометра и освещается отраженными от экрана лучами. В работе экспериментально показано, что величина электрического тока фотометра зависит прямо пропорционально зависит от плотности лучевого потока, поступающего через входное отверстие фотометра. Для определения абсолютных значений плотности потока необходима калибровка фотометра относительно эталонного прибора. При калибровке нами использован солнечный датчик - тергелиометр *CHP 1*, который по стандарту ISO 9060 считается эталонным прибором и рекомендуется для калибровки рабочих солнечных датчиков. В работе приведен метод и результат калибровки фотометра относительно пергелиометра *CHP 1*. Данный фотометр можно использовать в качестве актинометра с диафрагмой большого размера - 20 мм для измерения прямого Солнечного потока, и как фотометр, с диафрагмой меньшего размера для измерения высококонцентрированных лучевых потоков (до сотни ватт на квадрат сантиметр). Такой фотометр применяется в процессе эксплуатации Большой Солнечной Печи и используется при юстировке фасет гелиостатов и концентратора, а также для измерения энергетических параметров печи.

*The paper presents a photometer for measuring the concentrated radiant flux of the Sun in the focal zone of the Great Solar Furnace of Uzbekistan with a thermal power of 1000 kW. A scheme for measuring the distribution of the density of the solar flux on the focal plane of the concentrator of a biserial solar furnace is presented. Silicon photovoltaic cells are used as a sensitive receiver. The photocells are located in the photometer body on a round disk made of insulating material - getinax, 2 mm thick. The surface of the receiver is directed to a diffusely reflecting screen located at the end of the photometer and is illuminated by rays reflected from the screen. In this work, it is experimentally shown that the magnitude of the electric current of the photometer is directly proportional to the density of the radiant flux entering through the inlet of the photometer. This non-inertial method for measuring the density of a concentrated radiant flux is a relative method. To determine the absolute values of the flux density, it is necessary to calibrate the photometer relative to the reference device. During the calibration we used a first-class solar sensor – pyrheliometer. *CHP 1*, according to standart ISO 9060 it is considered as a secondary reference device and is recommended for calibrating working solar sensors. The paper presents the method and the result of calibrating the photometer relative to the perheliometer *CHP 1*. This photometer can be used as an actinometer using a large diaphragm - 20 mm to measure direct solar flux and as a photometer using a smaller diaphragm - attenuator to measure highly concentrated radiant fluxes up to hundreds of watts per square centimeter. This photometer is used in the operation of the Big Solar Furnace. The ph-*

tometer is used for adjusting the facets of heliostats and the concentrator, as well as for measuring the energy parameters of the Big Solar Furnace.

Начиная с 1987 года на склоне горы Тянь-Шаньского хребта в Паркентском районе Ташкентской области эксплуатируется Большая Солнечная Печь (БСП) тепловой мощностью 1000 кВт [1,2]. Такая крупногабаритная солнечная установка с автоматической системой управления гелиостатами по видимой траектории солнца является уникальной: имеются только две в мире - во Франции, в городе Одейо, и у нас в Узбекистане [3,4]. Для измерения распределения плотности высококонцентрированного лучевого потока Солнца на фокальной плоскости БСП применяются различные методы: калориметрический метод, радиометрический метод, фотометрический метод, метод измерения с помощью системы технического зрения и т.д. [5-8].

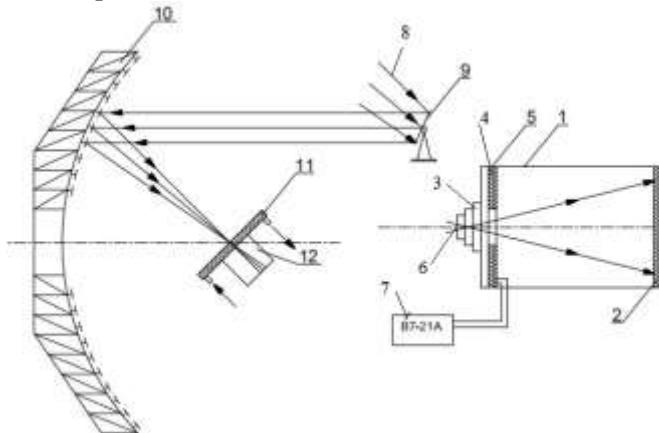


Рис.1. Общая схема измерения плотности концентрированного солнечного лучевого потока на фокальной плоскости БСП с помощью универсального фотометра: 1 - корпус фотометра, 2 - диффузноотражающий экран, 3 - съёмная диафрагма, 4 - диск - держатель, 5 - кремниевые фотоэлементы, 6 - входное отверстие, 7 - измерительный прибор, 8 - ход солнечных лучей, 9 - гелиостат, 10 - концентратор БСП, 11 - водоохлаждающий защитный экран, 12 - универсальный фотометр

Нами был разработан безинерционный метод измерения плотности лучевого потока - универсальный фотометр на базе кремниевых фотоэлементов [9]. Универсальность данного прибора в том, что этот же прибор можно использовать и для визуальной юстировки фацет многозеркального концентратора БСП [10,11]. В этом случае место диффузноотражающего экрана используется матовое стекло для визуализации изображения фацет концентратора. На рис.2 показана внутренняя часть фотометра с диском, где расположены кремниевые фотоэлементы.

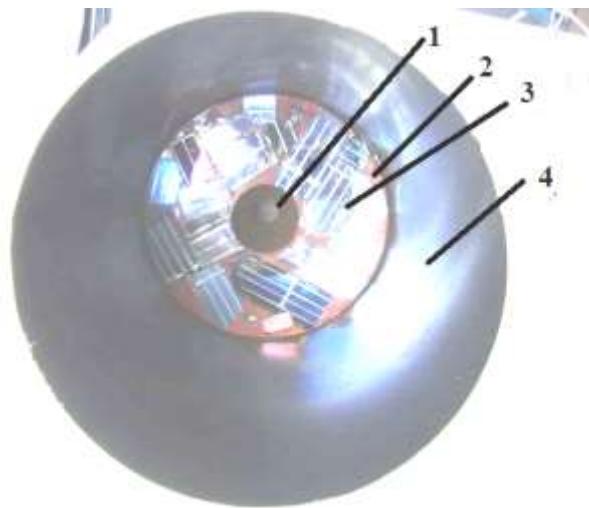


Рис.2. Внутренняя часть фотометра: 1 - внутреннее отверстие диска для входа лучей, 2 - фотоэлектрический диск из гетинакса, 3 - кремниевые фотоэлементы, 4 - внутренняя (зачернённая) поверхность фотометра

Полупроводниковые фотометры часто используются для измерения интенсивности прямого лучевого потока Солнца или для измерения коэффициентов отражения природных объектов в спектральном диапазоне излучения Солнца. Для измерения высококонцентрированных лучевых потоков необходимо принудительное охлаждение или применение ослабителей интенсивности потока [12].

В работе [13] приведен фотометр для измерения концентрированного лучевого потока высоких плотностей, состоящий из герметического корпуса с входным и выходным патрубками водяного охлаждения, а также герметичной сферы, выполненной из двух половин, которая имеет два отверстия: входное, диаметром около 1 мм и выходное, диаметром 10 мм. Измеряемый поток излучения, проходя через входное отверстие диаметром 1 мм попадает вовнутрь диффузно отражающей сферы-ослабителя, и часть его, после многократного отражения, попадает в выходное отверстие, за которым расположен фотодиод. Эти малоинерционные приёмники лучистых потоков высокой плотности требуют интенсивного водоохлаждения, так как на поверхность панели приёмника падает более 10 кВт потока лучевой энергии от каждого гелиостата БСП тепловой мощностью 1000 кВт. Из-за разности диаметров входных отверстий, из-за различной глубины нахождения фотодиодов в выходном отверстии, каждый из 63 фотодиодов необходимо откалибровать с помощью образцовых радиометров [14]. Для получения реальной картины распределения плотности лучевого потока на фокальной плоскости крупногабаритных концентраторов, таких как БСП Узбекистана и Франции, необходимо прово-

дить мгновенные измерения. Распределение плотности концентрированного лучевого потока солнца на фокальной плоскости концентраторов изменяется в течение времени из-за изменения прямого потока от солнца, изменения площади эффективных поверхностей гелиостатов и т.д. Хотя фотодиоды типа ФД-24К малоинерционные, для измерения сигналов от всех 63 фотодиодов уходит большое время.

Наиболее близким по технической сущности и назначению к данной работе является разработанный датчик плотности лучевой энергии в фокальной зоне концентратора, собранного из плоских зеркал на параболоидной основе [15]. Датчик содержит кремниевый фотоэлемент размером $1 \times 1 \text{ см}^2$, размещённый в специальной капсule и закрытый светонепроницаемой металлической пластинкой со стороны падающих лучей, находящейся на расстоянии 1 мм от поверхности фотоэлемента; в центре пластиинки имеется отверстие диаметром 1 мм, которое является диафрагмой. Плотность потока в фокальной зоне достигает 50 кВт/м^2 . Интенсивность лучей, прошедших через диафрагму, измерялась на расстоянии 1 мм с помощью кремниевого фотоэлемента, размещенного в специальной капсule. Однако проведение измерений при более высоких плотностях, порядка нескольких сот kВт на м^2 , практически очень затруднительно. Для этого требуется специальный высокотемпературный фотоприемник с равномерной чувствительностью площадью несколько мм^2 и более.

Разработанный нами универсальный фотометр позволяет проводить измерения плотности солнечной радиации за короткое время, в широком диапазоне интенсивности, начиная с минимального значения (практически с нуля), до максимально возможных значений концентрации.

Калибровка фотометра. Использование сменных диафрагм. позволяет проводить калибровку фотометра обычным актинометром типа АТ - 50 или вторичным эталонным пиргелиометром СНР 1 (прибор для измерения плотности прямого лучевого потока Солнца) при прямой неконцентрированной солнечной радиации без радиометра или калориметра (приборы для измерения плотности высококонцентрированных лучевых потоков), и измерять плотность лучевого потока солнечной радиации начиная от минимальной возможной до несколько сот киловатт на квадратный метр [16,17].

Первоначально были изучены следующие характеристики фотометра: а) зависит ли ток фотоэлектрического датчика (ФЭД) при одинаковых интенсивностях локального пятна от координаты места попадания относительно оси фотометра в пределах освещаемой одним гелиостатом площади отражателя, б) какова зависимость тока ФЭД от мощности светового потока, прошедшего через входное отверстие - диафрагмы.

Для этой цели на насадку фотометра был установлен диск из чёрного гетинакса, толщиной 1 см и диаметром 6 см с равномерно распределенными входными отверстиями, радиусом 1,25 мм в количестве 81 штук.

При прямой радиации Солнца 1000 ватт/м² мощность потока, прошедшего через все 81 отверстий, близка к измеряемой мощности в фокусе БСП при диаметре отверстия диафрагмы 0,7 мм. Были проведены измерения тока ФЭД при различных - от 1 до 81 числах открытых отверстий и при различных расстояниях: от 1,25 мм до 6 см от оси ФМ. Измерения показали, что ток ФЭД линейно зависит от количества открытых отверстий, т.е. от мощности прошедшего через них потока, и не зависит от координаты места попадания светового потока на отражателе (см. табл. 1). Разброс измеренного значения тока на одно отверстие не превышал 5 процентов от среднего значения, найденного по суммарному потоку при всех открытых отверстиях. Эта погрешность включает в себя как ошибки измерительного прибора - универсального вольтметра, так и разброс в диаметрах отверстий.

К аналогичному результату привели измерения по тока, когда использована диафрагма с одним входным отверстием диаметром 2 см расположалось на различных расстояниях: от 1 см до 6 см от оси фотометра, а световое пятно, образованное этим отверстием, находилось в пределах зоны изображения фацеты, облучаемой одним гелиостатом.

В институте Материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз в базе автоматизированной метеостанции эксплуатируются вторичные эталонные пиргелиометр СНР 1 и пиранометры СМ21 производства компании Kipp&Zonen (Голландия) [18,19].

Таблица 1.

Зависимость интенсивности фототока I от числа открытых отверстий N

N	5	10	15	20	25	30	35	40
I, mA	0,40	0,75	1,15	1,60	2,08	2,46	2,90	3,30
N	45	50	55	60	65	70	75	80
I, mA	3,70	4,10	4,45	4,92	5,25	5,75	6,22	6,51

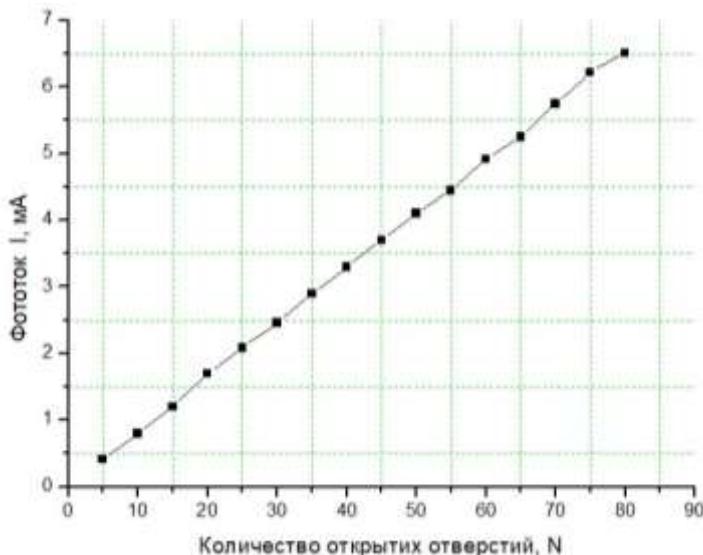


Рис.3. Зависимость интенсивности фототока фотометра I от числа открытых отверстий N (от площади входного отверстия)

Последовательность калибровочных работ универсального фотометра. Калибровка фотометра относительно заранее откалиброванного актинометра или пиргелиометра первого класса точности, которые по стандарту ISO 9060 считаются вторичными эталонными приборами, проводится в следующем порядке [20, 21].

1. На насадку фотометра устанавливаем сменную диафрагму, диаметр входного отверстия которого 12 мм.

Фотометр направляем на Солнце, установив оптическую ось фотометра параллельно оси трубы актинометра АТ 50 или пиргелиометра СНР 1. Измеряем плотность прямого лучевого потока Солнца E_c в Вт/м². (Измеренное актинометром значение плотности прямого лучевого потока Солнца $E_c=741$ Вт/м², Фототок, измеренный фотометром $I_c=1,46$ мА).

Мощность лучевого потока Солнца, проходящая через входное отверстие диафрагмы, определяется как:

$$W_c = E_c \cdot S_c \quad (1)$$

где, E_c – плотность прямого лучевого потока Солнца Вт/м², S_c – площадь входного отверстия диафрагмы м² используемой при измерении плотности прямого лучевого потока Солнца. ($S_c=\pi \cdot D^2/4=113,097$ мм²≈1,13 см²).

Вставляя полученные значения E_c и S_c в формулу (1), находим мощность лучевого потока Солнца в фотометре:

$$W_c = E_c \cdot S_c = 0,0741 \text{ ВВт/с}^2 \cdot 1,13 \text{ см}^2 = 0,083733 \text{ Вт} \approx 0,084 \text{ Вт}. \quad (2)$$

Создаваемый при этом фотометром фототок I_c равняется:

$$I_c = k \cdot W_c. \quad (3)$$

Таким образом, определяем коэффициент перехода от мощности лучевого потока Солнца внутри фотометра W_c к вырабатываемому току фотометром I_c :

$$k = \frac{I_c}{W_c} \left[\frac{\text{mA}}{\text{Вт}} \right]. \quad (4)$$

В нашем случае k равняется:

$$k = \frac{I_c}{W_c} = \frac{1,46}{0,84} = 17,38 \left[\frac{\text{mA}}{\text{Вт}} \right]. \quad (5)$$

2. При измерении плотности концентрированного потока, в фокусе концентратора БСП на насадку фотометра устанавливаем диафрагму в качестве ослабителя плотности лучевого потока, площадью отверстия 250÷300 раз, меньше чем площадь диафрагмы используемой при калибровке фотометра. Наблюдения под микроскопом показали, что отверстие сменной диафрагмы для измерения плотности концентрированного потока в фокусе концентратора БСП оказалось овальный, с большим диаметром $d_1=750,0$ мкм и малым диаметром $d_2=687,5$ мкм. В качестве средней площади отверстия взяли среднее арифметическое значение площадей S_1 и S_2 . $S_1=\pi*(d_1/2)^2=0,004418 \text{ см}^2$ и $S_2=0,003712 \text{ см}^2$, тогда $S_f=(S_1+S_2)/2=0,004065 \text{ см}^2$.

3. При измерении в фокусе концентратора БСП плотности концентрированного потока мощность, создаваемая лучевым потоком Солнца, например, от 20-го гелиостата БСП, имеет вид:

$$W_f = \frac{I_f}{k}; \quad (6)$$

где, W_f и I_f мощность и фототок при измерении плотности концентрированного лучевого потока Солнца в фокусе концентратора БСП.

Из формулы (4) имеем:

$$W_f = \frac{I_f}{k} = \frac{1,40}{17,38} = 0,08055 \text{ Вт}. \quad (7)$$

Из формулы (1) имеем:

$$E_f = \frac{W_f}{S_f} = \frac{0,08055}{0,004418} = 18,23 \text{ Вт/см}^2. \quad (8)$$

При измерении плотности лучевого потока в одинаково Вт/см^2 фокусе концентратора БСП защитный экран с фотометром был направлен на поверхность концентратора освещаемой 20^{тым} гелиостатом под углом $u=64^\circ$. С учётом косинус фактора, плотность лучевого потока Солнца на фокальной плоскости равна:

$$E_{f\text{пл}}=E_f*\cos(u)=18,23*0,438=7,98 \text{ Вт/см}^2. \quad (9)$$

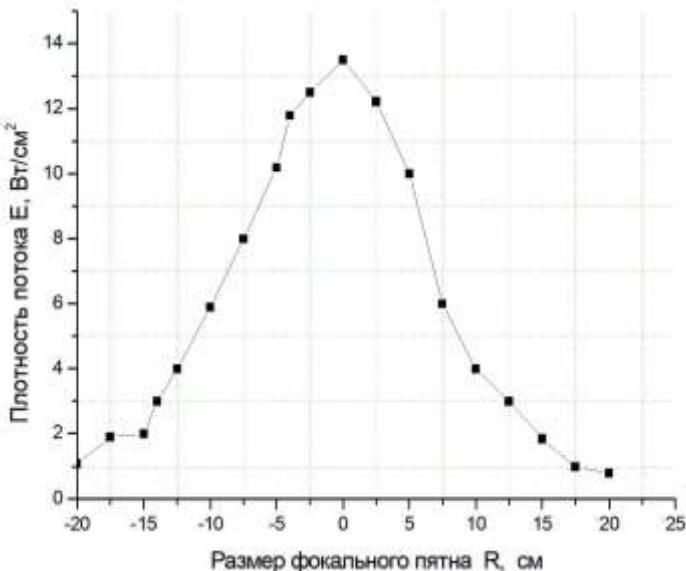


Рис.4. Распределение плотности концентрированного лучистого потока солнца на фокальной плоскости от 26 гелиостатов БСП

Выводы:

универсальный фотометр позволяет визуально наблюдать за изображением фацет концентратора и проводить их юстировку - правку их геометрического положения;

прибор легко калибруется относительно вторичных эталонных солнечных датчиков типа СНР 1, которые эксплуатируются в институте;

фотометр позволяет измерять плотности высококонцентрированных лучевых потоков в абсолютных значениях - Вт/см² с высокой точностью (суммарная погрешность измерений менее 2,5%).

Литература

1. Абдурахманов А.А., Рахимов Р.Х., Маматкосимов М.А. Основные этапы разработки, создания зеркально-концентрирующих систем на примере Большой Солнечной Печи. // Computational nanotechnology. Т.6, №2, 2019 . -С. 151-156.
2. Азимов С.А. Научно-производственный комплекс Солнце. Бизеркальная полигелиостатная Солнечная печь тепловой мощностью 1000 кВт. // Гелиотехника, 1987, № 6, -С.3-9.
3. Trombe F., Gion L., Royere C. and Robert J.F. First results obtained with the 1000 kW Solar Furnace. // Solar Energy. - 1973, Vol. 15. p. 63-66.
4. Акбаров Р.Ю., Нурматов Ш.Р. Определение требований к точностным характеристикам автоматизированной системы управления ге-

лиостатами Большой солнечной печи. // Гелиотехника, 2020, Том 56, №4. С. 368-378.

5. Zakhidov R.A. Technology and testing of solar energy concentrating systems. Gujarat Energy Development Agency, Vadodara 1996. P.186.

6. Собиров Ю.Б. Методы измерения энергетических характеристик концентраторов: монография. -Германия: Lambert Academic Publishing, 2016. 133 с. ISBN (978-3-659-84894-0).

7. Sirozhiddin Makhmudov and Yuldash Sobirov. Methods of measurement of high-concentrated solar energy flows. MOJ Solar and Photoenergy Systems. 2018; 2(2): 62-64. DOI: IO 15406/mojsp. 2018.02. 00025.

8. Murthy A.V., Tsai B.K. and Saunders R.D. Radiative Calibration of Heat-Flux Sensors at NIST: Facilities and Techniques. // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Volume 105, Number 2, 2000, pp. 293-305.

9. Abdurakhmanov A.A., Akbarov R.Yu., Sobirov Yu.B., Saribaev .S., Yuldashev A.A., Riskiev T.T. A photometer for measuring of the density of concentrated solar radiation. // 2000 Гелиотехника, №2, -С. 79-82.

10. Икрамов А.М., Собиров Ю.Б., Абдурахманов А.А. Юстировка и определение энергетического вклада формообразования фацет крупногабаритных составных концентраторов с помощью камеры обскуры. // Гелиотехника. 2006. №3. -С.57-62.

11. Собиров Ю.Б., Абдурахманов А.А. Модернизированный метод юстировки фацет концентратора камерой обскура. // Сборник докладов конференции посвященной 80-летию академика М.С.Сайдова. г.Ташкент, 24-25 ноября 2010 г.С.151-153.

12. Кувалдин Э.В. Фотометры для измерения коэффициентов отражения природных объектов в спектральной области излучения Солнца. // Научное приборостроение, 2005. Том 15, №1. -С. 21-28.

13. Беленький Ю.А., Пирматов И.И. Малоинерционные приемники лучистых потоков высокой плотности. //Гелиотехника, 1989. -№1. -С.44-50.

14. Murthy A.V., Fraser G.T. and DeWitt P.T. A Summary of Heat-Flux Sensor Calibration Data. // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Volume 110, Number 2, 2005, pp. 97-100.

15. Афян В.В., Шахпаронян В.В., Вартанян А.В. Фотоэлектрический датчик плотности концентрированной солнечной радиации. // Гелиотехника, 1975. № 3-4. -С. 138-140.

16. Лопатина Г.Г., Спицын Б.В. Широкохватные калориметры для измерения плотности мощности лучистых потоков в малых областях пространства. // Гелиотехника. 1970. №3. -С.11-15.

17. Мавашев Ю.З. и др. Исследования и испытания образцовых шаровых радиометров. // Гелиотехника. 1986. №5. -С.40-45.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

18. Norbert Geuder, Marja Hanussek, Johannes Haller, Roman Affolter, Stefan Wilbert. Comparison of corrections and calibration procedur for rotating shadowband irradiance sensors. Solar PACES Conference 2011, 20-23 September 2011, Granada, Spain, pp. 348-355.
19. ISO 9846:1993 Энергия солнечная. Калибровка пиранометра с использованием пиргелиометра; 1993. 28 с.
20. Fayziev Sh.A., Sobirov Yu.B. Measurements of Solar Resources in Uzbekistan. // Applied Solar Energy, 2017, Vol. 1, pp. 57-60.
21. Shavkat Fayziev and Yuldash Sobirov. Solar resources of Uzbekistan's Samarkand region. // European Journal of Technic, Vol 6, Number 2, 2016, p. 113-116.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.313.17**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИХОХОДНЫХ
ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
ОТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ****А.Б. Сафаров, О.З. Тоиров, Р.А. Мамедов, М.Р. Чарыева**

Мақолада жаҳонда ва республикамизда қайта тикланувчан энергия манбаларидан фойдаланиши ҳозирги ҳолати ва ривожланиши истиқболлари, кучсиз оқимларда шамол ва микроГЭС қурилмаларини барқарор ишилашини таъминлашида самарадор электр генераторларни ташлаш бўйича маълумотлар келтирилган. Минтақамизнинг катта ҳудудларида кучсиз шамол оқимлари ва паст напорли ирригация канналарининг энергия ресурслари мавжудлиги ушибу ҳудудларда узлуксиз электр энергиясини олишида кичик тезликли электр генератор тақлиф қилинган. Кучсиз оқимларда шамол ёки микроГЭС турбиналари кичик айланиши тезликли механик ҳаракатга келишини инобатга олиб, ушибу қурилмалар учун доимий магнитлардан ташкил топган кўп қутбли, статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланадиган содда конструкцияли электр генератор лойиҳаланган. Электр генераторни лойиҳалашида Solidworks, имитацион модел ва динамик режисмларини назарий тадқиқ этишида Matlab/Simulink тизимларидан фойдаланилган. Электр генераторнинг чиқши параметрлари (кучланиш, ток, частота, элеметромагнит қувват ва ҳ.к) нинг қийматлари генераторнинг геометрик ўлчамлари, доимий магнитлар сони, статор чулгамларининг ўрамлар сони ва улуниши усули, ротор ва статор орасидаги минимум масофаларга боғлиқ ҳолда ўзгарши математик ифодалари келтирилган. Олиб борилган илмий тадқиқот натижаларига асосан доимий магнитлар сони 32 та, статорнинг ҳар битта фазасидаги чулгамлар сони 4 та, ҳар битта чулгамдаги ўрамлар сони 200 тани ташкил қиласидиган 500 Вт қувватли статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланадиган электр генератор ишилаб чиқилган. Ишлаб чиқилган электр генераторнинг статор ва ротори бир-бирига нисбатан тескари айланганда, генераторнинг элеметромагнит моменти ва элеметромагнит қуввати генератор статори қўзгалмас ротори айланган ҳолга нисбатан 20% ошгани аниқланган. Ушибу электр генераторларни шамол ва микроГЭС энергетик қурилмаларига қўллаш орқали кучсиз оқимларда қурилмаларнинг ишилаши самарадолигини сезиларли даражада ошириш имконияти мавжуд эканлиги илмий асосланган.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

В данной статье приведена информация о текущем состоянии и перспективах развития возобновляемых источников энергии в мире и в нашей стране, а также о выборе эффективных электрогенераторов для обеспечения стабильной работы от малых потоков микроГЭС и ветроэнергетических установок. Исходя из наличия энергоресурсов оросительного канала и слабых потоков ветра на территории нашего региона, был спроектирован тихоходный электрогенератор. Учитывая, что турбины энергетических установок очень часто имеют низкую скорость вращения, была спроектирована простая конструкция многополюсного электрогенератора с постоянными магнитами, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны. При проектировании имитационной модели и теоретическом исследовании динамических режимов электрогенератора были использованы программные средства обеспечения Solidworks и Matlab/Simulink. Приведены математические выражения выходных параметров электрогенератора (напряжения, тока, частоты, электромагнитной мощности и т.д.) в зависимости от его геометрических размеров, количества постоянных магнитов, схемы соединения, количества витков обмотки статора, минимального расстояния между статором и ротором. По результатам научных исследований, был спроектирован электрогенератор, мощностью 500 Вт, с числом постоянных магнитов 32, количеством обмоток в каждой фазе статора 4, количеством витков в каждой обмотке 200, статор и ротор которого вращаются в противоположных направлениях. Было установлено, что при противоположном вращении статора и ротора, друг относительно друга, электромагнитный момент и электромагнитная мощность генератора увеличиваются на 20%, по сравнению с вращающимся ротором и неподвижным статором электрического генератора. Научно обосновано, что путём применения данного типа электрогенератора в микроГЭС и ветроэнергетических установках, можно значительно повысить эффективность установок при малых скоростях потоков воды и ветра.

This article provides information on the current state and prospects for the development of renewable energy sources in the world and in our country, as well as on the choice of efficient power generators to ensure stable operation at low flows of micro hydroelectric power plants and wind power plants. Based on the availability of energy resources of weak wind flows and low-current irrigation canals in the territory of our region, a slow-speed generator was proposed to generate uninterrupted electricity. Taking into account that the turbines of power plants acquire low-speed rotation of mechanical movement, a simple design of a multi-pole electric generator with permanent magnets was designed, the stator and rotor of which rotate in

opposite directions. When designing a simulation model and a theoretical study of the dynamic modes of an electric generator, Solidworks and Matlab / Simulink software were used. Mathematical expressions are given for the output parameters of an electric generator (voltage, current, frequency, electromagnetic power, etc.) depending on its geometric dimensions, the number of permanent magnes, the connection diagram and the number of turns of the stator winding, the minimum distance between the stator and the rotor. According to the results of scientific research, an electric generator was developed with a power of 500 W, with the number of permanent magnets 32, the number of windings in each phase of the stator 4, the number of turns in each winding 200, the stator and rotor of which rotate in opposite directions. It was found that with opposite rotation of the stator and rotor relative to each other, the electromagnetic torque and electromagnetic power of the generator increase by 20% compared to a rotating rotor and a stationary stator of an electric generator. It is scientifically substantiated that by using this type of electric generator in micro hydroelectric power plants and wind power plants, it is possible to significantly increase the efficiency of installations at low currents.

Введение. В мире особое внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии для решения вопросов, связанных с энергетической безопасностью, экономией топливно-энергетических ресурсов и охраной окружающей среды. Поскольку возобновляемые источники энергии экологически чистые и неисчерпаемы, эффективное использование этих источников энергии постоянно развивается. Учитывая, что запланированное увеличение доли использования возобновляемых источников энергии на 32%, энергоэффективности на 32,5%, уменьшение выбросов и парниковых газов как минимум на 40% на мировом уровне, в период с 2021 по 2030 годов [1], требует внедрения на практике мини-ГЭС и ветроэнергетических установок, повышающих бесперебойность и надежность электроснабжения.

На сегодняшний день Китай, США, Бразилия, Индия и Германия являются мировыми лидерами по использованию возобновляемых источников энергии. На рис 1 приведены показатели использования возобновляемых источников энергии за 2020 год, согласно которому на Китайскую Республику приходится самая большая доля установленной мощности в размере 895 ГВт [2].

В мире уделяется большое внимание производству энергетических установок, эффективно работающих в слаботочных водотоках и при малых потоках ветра, предназначенные для автономных потребителей электроэнергии. Для обеспечения стабильной работы вышеперечисленных энергетических установок при слабых потоках,

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

необходим правильный подбор генератора или, исходя из конструктивных размеров создание нового типа электрогенератора, предназначенного для работы при переменных и слабых потоках.

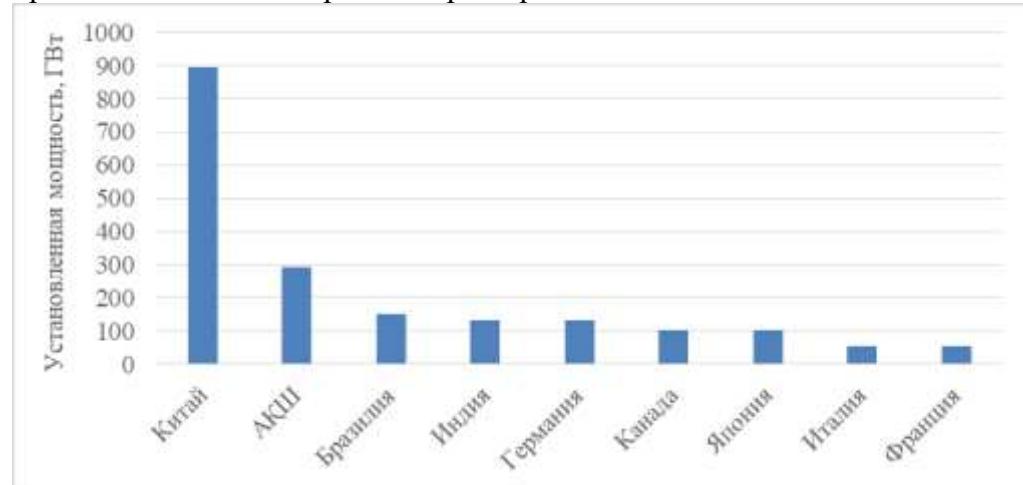


Рис.1. Показатели использования возобновляемых источников энергии в мире

В мире разработке и исследованию научно-технических решений по созданию тихоходных генераторов для производства электроэнергии с использованием энергии ветра и воды уделяется большое внимание. Научные исследования, направленные на разработку и исследование научно-технических решений по созданию тихоходных электрогенераторов, предназначенных для выработки электроэнергии с использованием энергии ветра и воды, были проведены известными учеными Ф.Г. Россовым, Ж.Ф. Гиерасом, А. Парвивиненом, А. Калласте, С.К. Редди, К.С. Латоуфисом, В. Калиевым, А.Р. Дехжанзадех, М. Элдороми, С.А. Ким, Ж.С. Каппатау, Т.Т. Хлаингом, М.Р. Миназом, Б.О. Омижехом, Н. Тараном, С.С. Лахминарайном, В. Вангом, Ж.Х. Ким, П.О. Акелло, К. Ядавом и др. Данные исследования направлены на разработку различных конструкций тихоходных электрогенераторов, с вращающимся ротором и неподвижным статором. В настоящее время продолжаются исследования по разработке научных основ повышения эффективности этих генераторов при низких скоростях вращения.

В энергетических сетях нашей республики достигнуты определенные результаты и приняты комплексные меры по разработке усовершенствованных ветроэнергетических установок на основе энергосберегающих технологий. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, определены задачи: «...внедрения инновационных технологий, научно-технических разработок в сфере развития возобновляемой энергетики и повышения энергоэффективности, расширение производства и локализации энергосберегающего оборудо-

вания и приборов, в том числе путем трансфера технологий и создания инженерных центров...» [3].

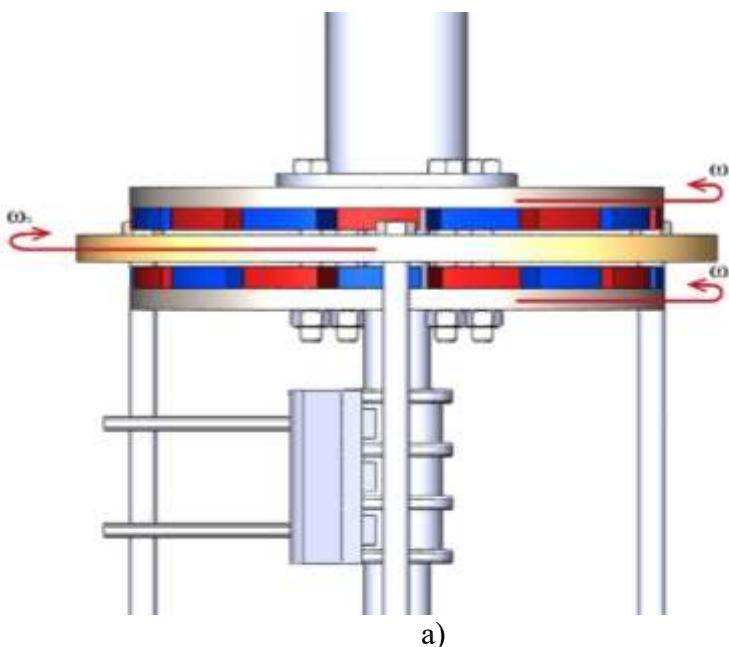
Важным является развитие использования возобновляемых источников энергии, в частности энергии ветра и воды в регионах, где существуют проблемы с нехваткой электроэнергии [4]. Путём разработки и внедрения адаптированных к климатическим условиям микро ГЭС и ветроэнергетических установок можно обеспечить бесперебойной и надежной электроэнергией автономных потребителей, расположенных вдали от центрального электроснабжения и развить социально-экономическую сферу в этих регионах.

Задачи научного исследования:

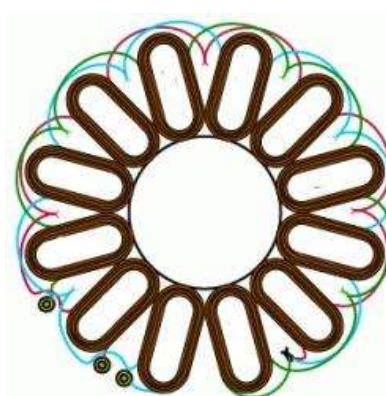
- проектирование конструкции многополюсного электрогенератора, стablyно работающего в условиях низконапорного водотока и слабых потоков ветра в программе Solidworks, а также моделирование имитационной модели в пакете Matlab/Simulink;
- разработка и испытание экспериментальной конструкции тихоходного электрогенератора, статор и ротор которого врачаются в противоположные стороны;
- сравнение экспериментальных данных с имитационной моделью электрогенератора.

Проектирование и моделирование электрогенератора. Для повышения эффективности микро ГЭС и ветроэнергетических установок, работающих при малых потоках, необходимо правильно подбирать электрические генераторы, используемые в этих устройствах. В настоящее время в ветроэнергетических установках и микро ГЭС используются три типа электрогенераторов. Это генераторы постоянного тока, асинхронные генераторы и синхронные генераторы. Использование многополюсных электрогенераторов с постоянными магнитами в ветроэнергетических установках и микро ГЭС малой мощности превосходят простотой конструкции и эффективной работой при малых потоках по сравнению с другими типами электрогенераторов.

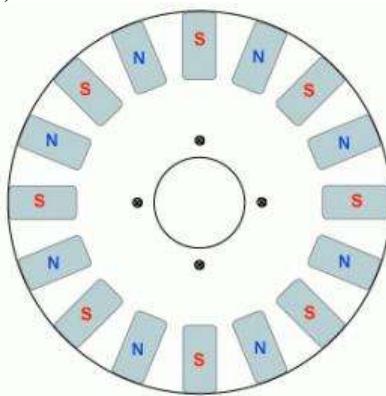
На рис 2 а) показана 3d модель электрогенератора, б) схема соединения обмотки статора электрогенератора, в) расположение магнитов на роторе генератора. На рисунке видно, что каждая из фаз статора состоит из 4 обмоток и соединена схемой соединения “звезда”. На роторе электрогенератора расположены постоянные магниты с числом пар полюсов 16 [5].



а)



б)



в)

Рис.2. Устройство тихоходного электрогенератора: а – общий вид генератора; б – схема соединения обмотки статора; в – внешний вид ротора генератора

В табл. 1 приведены технические параметры разработанного электрогенератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны. Данный тип генераторов на сегодняшний день применяется в ветроэнергетических установках и микро ГЭС работающие при малых потоках.

Математическое моделирование в энергетическом секторе, даже самых простых и распространенных устройств приводит к огромной экономии средств и повышению качества продукции. Чем сложнее проектируемый объект, тем важнее роль моделирования в его изучении и создании.

Таблица 1

Номинальная мощность, (Вт)	500	Количество витков в одной обмотке	200
Количество обмоток	12	Марка и поперечное сечение провода обмотки, мм ²	ПЭТ-15 0,87
Количество фаз	3	Расстояние воздушного зазора между магнитом и статором, (мм)	1,5
Число пар полюсов постоянных магнитов	16	Внешний диаметр ротора, мм	220
Марка и размеры магнитов, мм	NdFeB, N48 40x15x10	Внутренний диаметр ротора, мм	80
Индукция магнитного поля постоянных магнитов, Тл	1,25-1,3	Материал и толщина ротора, мм	Сталь 10
Напряженность магнитного поля постоянных магнитов, кА/м	955	Масса постоянных магнитов, кг (32 шт)	1,12
Внешний диаметр статора, мм	250	Масса ротора, кг	3
Внутр. диаметр статора, мм	100	Общая масса статора, кг	2
Толщина статора, (мм)	18	Схема соединения обмотки статора	звезда

Представление любой электрической машины в любом программном пакете начинается с построения уравнений, описывающих эту машину, и введения некоторых допущений для упрощения расчётов. При моделировании динамического режима электрогенератора, состоящего из постоянных магнитов, используем эквивалентную схему переключения с осями d и q. Динамическую модель генератора можно упростить, применив схемы, показанные на рис 3.

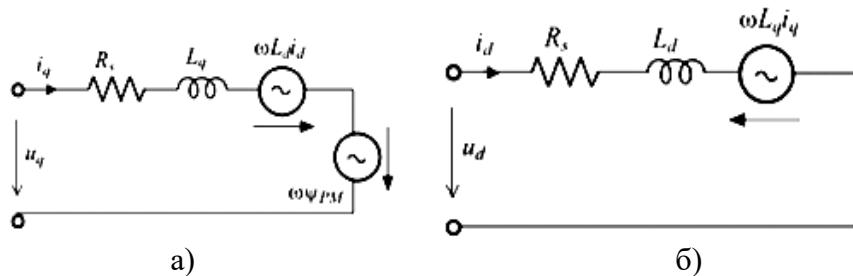


Рис.3. Эквивалентная схема генератора (а) ось q и (б) ось d

Уравнения напряжения, генерируемого во времени в обмотке статора синхронных генераторов, состоящих из постоянных магнитов [6,7,8]:

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ U_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \Psi_{PM} \end{cases} \quad (1)$$

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Расчёт электромагнитной мощности трехфазного электрогенератора состоящего из постоянных магнитов определяется по следующей формуле [9,10,11]:

$$P_3 = \frac{3}{2} \omega [\Psi_{PM} + (L_d - L_q)i_d]i_q \quad (2)$$

Электромеханический момент генератора, состоящего из числа пар полюсов p определяется по формуле [12,13]:

$$M_3 = \frac{3}{2} p [\Psi_{PM} + (L_d - L_q)i_d]i_q \quad (3)$$

где Ψ_{PM} – магнитный поток, Вб.

$$\Psi_{PM} = \frac{\sqrt{2}E\Phi}{\omega} \quad (4)$$

Электромагнитная скорость генератора статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны определяется по формуле:

$$\omega = p(\omega_{m1} + \omega_{m2}), \quad (5)$$

где p – число пар полюсов, ω_{m1} и ω_{m2} механические скорости вращения статора и ротора электрогенератора.

Момент инерции динамического моделирования генератора определяется при помощи выражения [14,15]:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_m - M_3 - k\omega_m, \quad (6)$$

где J – момент инерции массы ротора $\text{кг}\cdot\text{м}^2$, M_m – механический и электромагнитный момент генератора, $\text{Н}\cdot\text{м}$; k – коэффициент трения, ω_m – механическая угловая скорость генератора, $\text{рад}/\text{с}$.

Расчёт индуктивности обмотки статора [16,17]:
по осям d и q :

$$\begin{cases} L_d = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \cdot k_{fd} \\ L_q = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'_q} \cdot k_{fq} \end{cases}, \quad (7)$$

где N – количество витков в одной обмотке; R_1 – внешний диаметр статора, м; R_2 – внутренний диаметр статора, м; p – число пар полюсов; k_w – коэффициент заполнения обмотки статора; m – количество фаз.

Для конфигурации поверхности постоянных магнитов эквивалентный воздушный зазор по осям d и q определяется следующими выражениями [18]. В случае сердечника без статора:

$$\begin{cases} g' = 2[(g + 0,5t_w) \cdot k_{sat} + \frac{h_m}{\mu_{rec}}] \\ g'_q = 2(g + 0,5t_w + h_m) \end{cases}. \quad (8)$$

При $\mu_{rec} \approx 1$ конфигурацию поверхности постоянных магнитов принимаем $k_{fq} = k_{fd} = 1$. Тогда индуктивность реакции якоря по осям d и q определяется следующим образом:

$$L_d = L_q = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'}. \quad (9)$$

ЭДС образованная в обмотке статора генератора, определяется следующим соотношением [19,20]:

$$E_\phi = \sqrt{2\pi} f p N k_w \Phi_\phi = \sqrt{2\pi} n N k_w B_g (R_1^2 - R_2^2), \quad (10)$$

где Φ_ϕ – магнитный поток, Вб; B_g – магнитная индукция, Тл; f – частота, 1/с.

На рис.4 изображена разработанная в пакете Matlab/Simulink математическая модель электрогенератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны. В имитационной модели было введено первоначальное условие $U_d=U_q=0$.

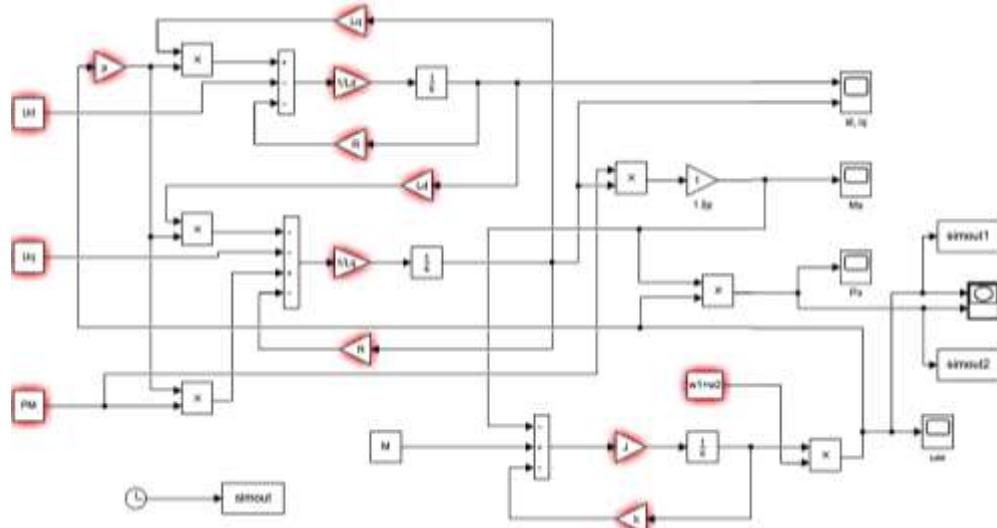


Рис.4. Имитационная модель электрогенератора построенная в пакете Matlab/Simulink

Результаты. На рис 5 приведены графики сравнения значений двух электрогенераторов по которым они были расчитаны и сравнены: в первом случае генератор с неподвижным статором и вращающимся ротором, во втором случае был рассмотрен генератор, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны. На рис.5 (а) показан график сравнения значений электромагнитного момента, образованного на обмотке статора для вышеприведенных случаев.

Было установлено повышение напряжения холостого хода на 10% в случае, когда статор и ротор генератора вращаются в противоположные стороны по отношению к случаю, когда статор неподвижный, а ротор вращается.

На рис.5 (б) показан график, сравнивающий электромагнитные мощности двух генераторов. Было установлено, что в случае, когда статор и ротор генератора вращаются в противоположные стороны, электромагнитный момент и электромагнитная мощность увеличивается

до 20% по отношению к случаю, когда статор генератора неподвижный, а ротор вращается. Выражение (2) использовалось для вычисления выходной мощности генератора.

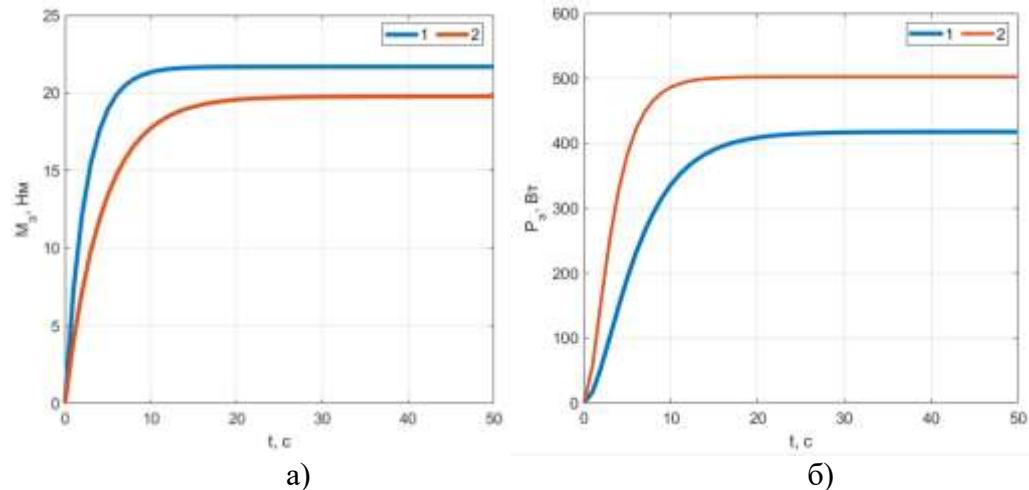


Рис.5. Кривые, сравнивающие значения электрогенераторов двух типов в динамическом режиме: 1-кривая показывает выходные параметры электрогенератора с неподвижным статором, 2-кривая показывает выходные параметры электрогенератора, статор и ротор которого вращаются в противоположные стороны

На рис. 6 приведены сравнительные кривые выходных параметров фазного тока (а) и напряжения (б) двух типов электрогенераторов в динамическом режиме. Кривые показывают, что в случае противоположного вращения статора и ротора электрогенератора, можно получить до 10% повышение выходных параметров фазного тока и напряжения.

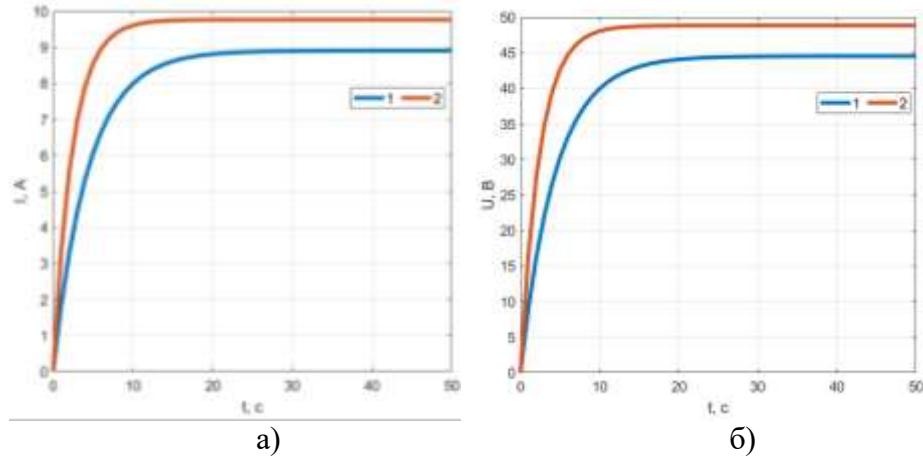


Рис.6. Кривые сравнения значений двух типов электрогенераторов в динамическом режиме

На рис. 7 приведены кривые зависимости изменения механической угловой скорости от электромагнитной мощности разработанного нового типа электрогенератора. Можно увидеть, что при механической угловой скорости равной 24 рад/с максимальная электромагнитная мощность составила 500 Вт.

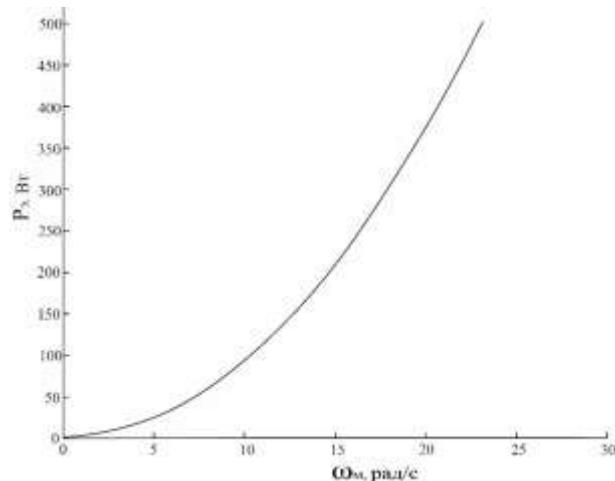


Рис.7. Кривая зависимости механической угловой скорости от электромагнитной мощности разработанного нового типа электрогенератора

Экспериментальное исследование. На основании данных приведенных в таб 1, полученных при помощи моделирования в пакете Matlab/Simulink а также проектирования конструктивных размеров, был разработан экспериментальный образец электрогенератора, статор и ротор которого врачаются в противоположные стороны. На рис 8 показана технология изготовления обмотки статора электрогенератора. Данную обмотку статора можно соединять как звездой так и треугольником.



Рис.8. Процесс работы по изготовлению статора электрогенератора

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

На рис.9 представлена технология изготовления ротора электрогенератора. На роторе размещены постоянные магниты противоположных поллярностей по порядку. Постоянные магниты размещены на роторе таким образом, чтобы максимальное распределение магнитного поля было однородным.



Рис. 9. Процесс работы по изготовлению ротора электрогенератора

На рис.10 показаны экспериментальные работы, проводимые с разработанным электрогенератором. Эксперименты проводились для двух случаев. В первом случае когда статор генератора неподвижный, а во втором случае когда статор и ротор вращаются в противоположные стороны друг относительно друга. Результаты получены для различных скоростей вращения.



Рис. 10. Эксперименты, проводимые над разработанным генератором

На рис.11 показаны кривые сравнения имитационной модели и экспериментальных результатов. Для оценки схожести результатов

использовался корреляционный анализ. При этом коэффициент корреляции составил $R = 0,97$.

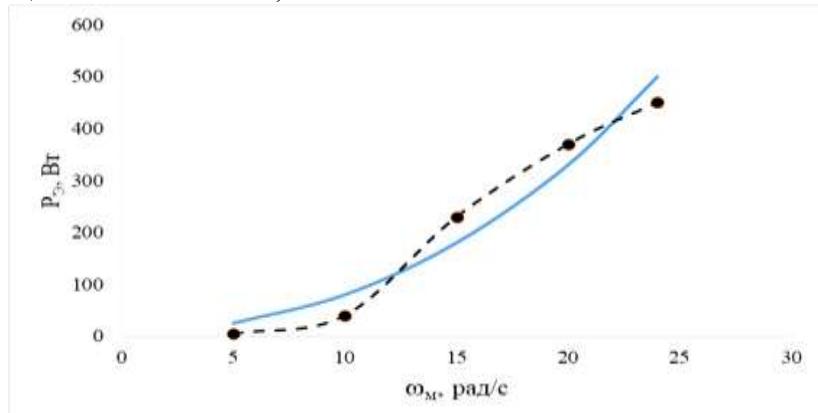


Рис.11. Имитационная модель и кривые сравнения экспериментальных результатов

Заключение.

1. Анализ исследований использования возобновляемых источников энергии в мире показал, что стабилизация экологических проблем, экономия энергоресурсов является одним из важных стратегических направлений развития экономической и социальной сфер.

2. Было изучено, что путём использования адаптированных к климатическим условиям микро ГЭС и ветроэнергетических установок, эффективно работающих при малых потоках, можно обеспечить бесперебойной и надежной электроэнергией автономных потребителей, расположенных вдали от центрального электроснабжения.

3. При проектировании и теоретическом исследовании в динамических режимах тихоходного электрогенератора с простой конструкцией, повышающего эффективность работы при малых потоках микро ГЭС и ветроэнергетических установок, были использованы программное обеспечение Solidworks и Matlab/Simulink.

4. Было установлено, что в случае, когда статор и ротор разработанного тихоходного генератора вращаются в противоположные стороны, электромагнитный момент и электромагнитная мощность увеличиваются на 20% по отношению к случаю, когда статор генератора неподвижный, а ротор вращается.

Литература

1. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en.
2. <https://www.statista.com/statistics/267233/renewable-energy-capacity-worldwide-by-country/>.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017-йил 7-февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони
4. Аллаев К.Р. Энергетика Узбекистана и мира,- Т.: Фан ва технология, 2009. -С.172.
5. Сафаров А.Б. Бухоро вилоятининг иқлимий шароитларига мослаштирилган самарадор шамол энергетик қурилмасини яратиш. /диссертация автореферати, Қарши. 2021 й.б.44.
6. Wang W., Weijun Wang., Mi H., Mao L., Zhang G., Hua Liu., Wen Y. Study and Optimal Design of a Direct-Driven Stator Coreless Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator with Improved Dynamic Performance. Energies, 2018, 11(11):3162.
7. Laxminarayan S.S., Singh M., Saifee A.H., Mittal A. Design, modeling and simulation of variable speed Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 19, February 2017, Pages 114-124.
8. Сафаров А.Б. Разработка и анализ эффективного генератора для ветровых энергетических установок малой мощности. «Инновационные пути решения актуальных проблем развития пищевой и нефтегазохимической промышленности» -материалы международной научно-практической конференции. Бухара, 2020. №3, -С. 135- 137.
9. Rossouw F.G. Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications, dissertation, South Africa, 2009. Pp. 140.
10. Kim J.H., Sarlioglu B. Preliminary design of axial flux permanent magnet machine for marine current turbine, in Proceedings of the 2013 IEEE IECON, pp. 3066-3071, November, 2013.
11. Latoufis K.C., Messinis G.M., Kotsampopoulos P.C., Hatziargyriou N.D. Axial Flux Permanent Magnet Generator Design for Low Cost Manufacturing of Small Wind Turbines. Wind engineering. Volume 36, No.4, 2012. Pp 411-442.
12. Садуллаев Н.Н., Сафаров А.Б. Ўзгарувчан ва кучсиз шамол оқимларида ишловчи самарадор шамол генераторини яратиш // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, Тошкент. 2018, 3-4, б. 228-334.
13. Yadav Y.K. A Savonius Wind Turbine With Electric Generator: Model and Test, dissertation, 2016.pp.89.
14. Akello P.O. Development of a low cost direct-drive permanent magnet generator for power generation in small wind turbines, dissertation, 2016. pp.153.
15. Taran N. Optimum Design of Axial Flux PM Machines based on Electromagnetic 3D FEA, dissertation, 2019.pp.232.
16. M. Dhifli, H. Bali, Y. Laoubi, G. Verez, Y. Amara, G. Barakat. Modeling and prototyping of axial flux permanent magnet machine for small

wind turbine. International Conference on Electrical Science and Technologies (2014), pp. 1-7.

17. A. Rolan, A. Luna, G. Vazquez, D. Aguilar, G. Azevedo. Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator. IEEE Int Symp Ind Electron (2009), pp. 734-739.

18. Gieras J.F., Wang R.J., Kamper M.J., Axial flux permanent magnet brushless machines. Springer Science, Business Media (2004). Pp. 345.

19. Aydin M, Huang S, Lipo TA. Axial flux permanent magnet disc machines: a review. Research report. University of Wisconsin-Madison; 2004.

20. Antonino Di Gerlando, Gianmaria Foglia, Matteo Felice Iacchetti, Roberto Perini. Member, axial flux pm machines with concentrated armature windings: design analysis and test validation of wind energy generators. IEEE Trans Ind Electron, 58 (2011), pp. 3795-3805.

*Представлено Бухарским инженерно-технологическим
институтом и Таишентским
государственным техническим университетом*

**МОБИЛЬНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ЖИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКИХ РЕГИОНОВ**

М.Н. Турсунов, У.Р. Холов, Т. Ахтамов, М. Эшматов, Н.Ё. Мухтаров

Мақолада республикамизнинг марказлашган энергия манбаларидан узоқда жойлашган қишлоқ аҳолисининг машиий ва машиий техникасини электр энергияси билан таъминлаши, шу жумладан сув кўтариши учун насослар, музлатгичлар, телевизорлар, компьютерлар, LED лампалар асосида тизимларни ёритишда фойдаланиши учун 300 Вт қувватга эга мобил фотоэлектрик қурилмани (МФЕҚ) ишлаб чиқши бўйича тадқиқотлар олиб борилди. Замонавий дизайндаги конструкциялар гел батареялар, инвертор текширгичлари ва замонавий компонентлар ишлатилган. Параметрларнинг Куёши нурларининг табиий шароитларига боғлиқлигини ўрганиши амалга оширилди ва қуввати 300 Вт гача бўлган янада самарали фотоэлектрик қувват манбаларини лойиҳалаш ва ишлаб чиқариши бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди. Қурилмалар иқлим шароитига мослашган, Республиканинг барча қишлоқ ҳудудларида энергияни самарали ва ишончли етказиб беради. Бундай тизимларда фотоэлектрик батареялар буфер аккумуляторлари билан биргаликда ишлатилади, бу истеъмолчиларни куннинг исталган вақтида ва кундалик ва об-ҳаводан қатъий назар барқарор электр таъминоти билан таъминлайди. Ўрнатилган қувватга эга протатив фотоэлектрик батареяларнинг яратилиши мобил фотоэлектр станцияларни ишлаб чиқши зарурлигини аниқлади. МФЕҚ қўлда ёки ҳар қандай гилдиракли транспорт воситаларида, шу жумладан мотоциклларда ташилиши мумкин.

В работе приводятся исследования по разработке мобильной фотоэлектрической установки (МФЭУ) мощностью 300 Вт для использования в условиях сельских регионов республики, удаленных от централизованных источников энергии, для обеспечения электрической энергией хозяйственных и бытовых приборов сельских жителей, в том числе водоподъемных насосов, холодильников, телевизоров, компьютеров, систем освещения на основе светодиодных ламп. Использованы современные комплектующие, гелевые аккумуляторы, контроллеры инверторы и конструкции современного дизайна. Проведены исследования зависимости параметров в натуральных условиях солнечного освещения и выработаны рекомендации при проектировании и изготовлении более эффективных фотоэлектрических источников питания мощностью до 300 Вт. Установки адаптированы к климатическим условиям, эффективно и надежно обеспечивают энергию практи-

чески во всех сельских районах республики. В таких системах фотоэлектрические батареи используются совместно с буферными аккумуляторами, что обеспечивает стабильное энергоснабжение потребителей в любое время суток и вне зависимости от суточного и погодного изменения интенсивности солнечного излучения. Создание переносных ФЭБ с установленной мощностью, определило необходимость разработки мобильных ФЭС. Транспортировка МФЭУ можно обеспечить вручную или любым видом колесного транспорта, в том числе мотоциклами.

The paper research on the development of a mobile photovoltaic installation (MPVI) with a capacity of 300 W for use in rural regions of the republic, remote from centralized energy sources, to provide electrical energy to household and household appliances of rural residents, including water-lifting pumps, refrigerators, televisions, computers, lighting systems based on LED lamps. Used modern components, gel batteries, inverter controllers and designs of modern design. The study of the dependence of the parameters in natural conditions of solar illumination was carried out and recommendations were made for the design and manufacture of more efficient photovoltaic power sources with a power of up to 300 W. KU is adapted to climatic conditions, effectively and reliably provides energy and almost all rural regions of the republic. In such systems, photovoltaic batteries are used in conjunction with buffer batteries, which ensures a stable power supply to consumers at any time of the day and regardless of daily and weather changes in the intensity of solar radiation. The creation of a portable photovoltaic battery with an installed capacity determined the need to develop a mobile photovoltaic station. The MPVI can be transported manually or by any type of wheeled transport, including motorcycles.

Введение. В настоящее время возрастаёт у сельского населения республики потребность на использование мобильных фотоэлектрических установок (МФЭУ) малой (100 - 500 Вт) мощности. Это связано с удобством использования таких источников питания для обеспечения электрической энергией различных потребителей энергии, как хозяйственных, так и бытовых сельского населения. В таких ФЭУ фотоэлектрические батареи используются совместно с буферными аккумуляторами, что обеспечивает стабильное энергоснабжение потребителей в любое время суток и вне зависимости от суточного и погодного изменения интенсивности солнечного излучения. Фотоэлектрическая установка, помимо фотоэлектрических батарей, аккумуляторов и потребителей электрической энергии, обычно содержит прибор электронного контроля, исключающий перезаряд аккумулятора и его глубокий заряд. Для подключения потребителей энергии переменного тока с напряжением 220В и

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

380В используются преобразователи напряжения (инверторы). Возникает необходимость обеспечения многофункциональности использования МФЭУ при подключении различных потребителей энергии с питанием постоянного и переменного токов.

В Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» разрабатываются переносные и мобильные варианты автономных фотоэлектрических источников питания различной мощности, переносные до 100 Вт, мобильные до 600 Вт на тележках, и до 5000 Вт на двухосных и многоосных прицепах, выпускающих промышленностью [1-5].

Материал и методы. Разработанная нами МФЭУ на основе кремниевых фотоэлектрических батарей мощностью 300 Вт можно использовать в сельских регионах республики для обеспечение потребителей электрической энергии в полевых условиях для хозяйственных и бытовых нужд. Основой для мобильной установки является двухосная бытовая четырехколесная платформа (тележка) с геометрическим размером 1300 X 800 мм², изготовленная по нашему заказу, с подвижной передней осью для передвижения в условиях сельской местности, грузоподъемность платформы до 700 кг [6-7]. Модернизация платформы для размещения необходимого оборудования произведена специалистами нашей лаборатории. Разработанная опорно-поворотная конструкция позволяет оперативное ручное ориентирование фотоэлектрического блока установки к Солнцу в двух плоскостях. На рис.1. показаны МФЭУ на основе кремниевых батарей, а—измерение параметров в натурных условиях, б—порядок размещения комплектующих узлов и блоков в отсеке внутри платформы тележки и в—положение МФЭУ при транспортировке [8].



Рис. 1. а—измерение параметров МФЭУ в условиях солнечного освещения

б – порядок размещения комплектующих блоков в отсеке внутри платформы тележки

в—положение МФЭУ при транспортировке на другую территорию

В комплект МФЭУ входят 2 гелевых аккумулятора, соединенных последовательно, суммарной ёмкостью 100 А час, с напряжением 24 В, контроллер на 24В, 20 А, инвертор с формой сигнала «чистый синус» мощностью 1000 Вт, преобразующий постоянный ток с напряжением 24 В на переменный с напряжением 220 В, водоподъемный насос для подъ-

ема воды с глубин до 20 метров, мощностью 250 Вт и с производительностью до 4 м³ час. Кроме того, выходы для подключения потребителей на 5 и 12 В постоянного тока и 220 В переменного тока. Комплектующие блоки закреплены к несущим конструкциям МФЭУ для обеспечения безопасности от выхода из строя при передвижении [9-10].

Были проведены испытания в натурных условиях на Гелиополигоне Физико-технического института при ясной погоде. Самое оптимальное положение фотоэлектрической батареи – это положение, при котором солнечный луч падает на его поверхность под углом 90 градусов. Однако не всегда удается добиться такого эффекта. Постоянное положение фотоэлектрических батарей под углом 90 градусов к направлению солнца обеспечивают только дорогостоящие системы слежения, которые имеют большой вес, требуют много дополнительного пространства и сами по себе тоже потребляют энергию [11]. Такие поворотные конструкции следят за солнцем и обращают батареи в нужную сторону под нужным углом автоматически. В случае использования переносных и мобильных установок, слежение за солнцем можно осуществлять вручную через определенное время (например, каждый час или полчаса).

Результаты и их обсуждения. На рис.2 приведена зависимость напряжения холостого хода при двух положениях использования МФЭУ, С – при неподвижной ориентации источника к точке Зенита Солнца во время измерения (равное 39° от вертикальной оси горизонта), В – при ручном слежении за Солнцем через каждый 15-20 минут (контроль по максимальному значению тока короткого замыкания МФЭУ).

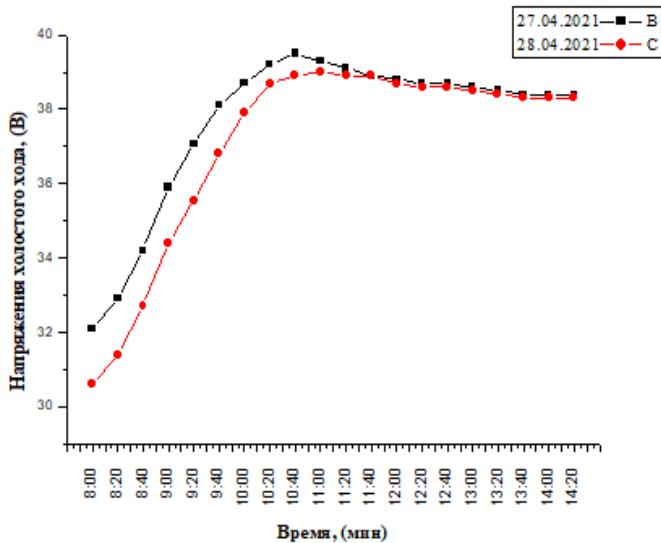


Рис.2. Зависимость напряжения холостого хода при двух положениях использования МФЭУ

Как видно из рис.2 в течение времени с 8 до 10 часов значение U_{xx} увеличивается с 30,5 В до 38,8 В для кривой С и с 32 В до 39,2 В для кривой В, соответственно. В работе [12] при измерении зависимости напря-

жения холостого хода в такое же время дня в летнее время года, эта зависимость имеет обратный характер, то есть, U_{xx} уменьшается со временем из-за нагрева структуры кремниевых элементов солнечным излучением. То есть, к приблизительно к 9 часам утра плотность падающего на поверхность ФЭБ солнечное излучение имеет значение, обеспечивающее максимальные значения напряжения холостого хода. В данном случае при проведении измерения в первой половине апреля месяца, ход зависимости U_{xx} с 8 часов до 11 часов, связан с большим испарением с поверхности Земли, конденсированных в ночное время различных веществ из-за низких температур ($9\text{--}16^{\circ}\text{C}$) в утренние часы. Из-за этого, до полного испарения, указанных веществ солнечное излучение частично поглощается атмосферой, что показывает изменение плотности потока солнечного излучения от $620 \text{ Вт}/\text{м}^2$ до $830 \text{ Вт}/\text{м}^2$. В дальнейшем напряжение холостого хода остается почти неизменной при ясной погоде. Влияние угла падения солнечного излучения составляет в начале измерения около двух вольт, которое снижается в дальнейшем и к моменту прохождения солнечного излучения точки Зенита (12 часов 20 минут) [13-15]. В данной точке Зенита Солнца значения U_{xx} для обеих вариантов измерения совпадают. Далее, изменения угла падения солнечного излучения к поверхности ФЭБ не влияет на величину U_{xx} в пределах времени измерения, так как, плотность потока солнечного излучения достаточное для получения значения напряжения холостого хода ближе к максимальному значению для данной температуре окружающей среды [11].

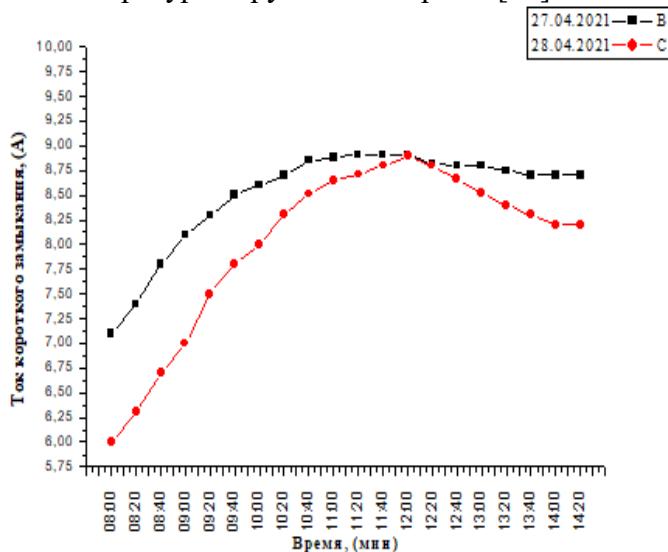


Рис.3. Зависимость тока короткого замыкания от времени

На рис.3 и 4 приведены зависимость тока короткого замыкания и электрической мощности МФЭУ от времени. Ход зависимости кривых тока короткого замыкания и электрической мощности похожие. Различие в составляющих кривых С и В, зависимостях тока и мощности связаны с изменением угла падения солнечного излучения на поверхность фотоприемника.

электрических батарей при неподвижной ориентации источника к точке Зенита Солнца во время измерения [16-17]. Разница между двумя кривыми (С и В) с приближением к точке Зенита Солнца уменьшается и происходит совпадение в точке Зенита (это ~ 12 часов 28 минуты). Далее происходит увеличение разницы значений тока и мощности. В промежутки времени от ~ 11 до 14 часов разница значений и тока минимальное.

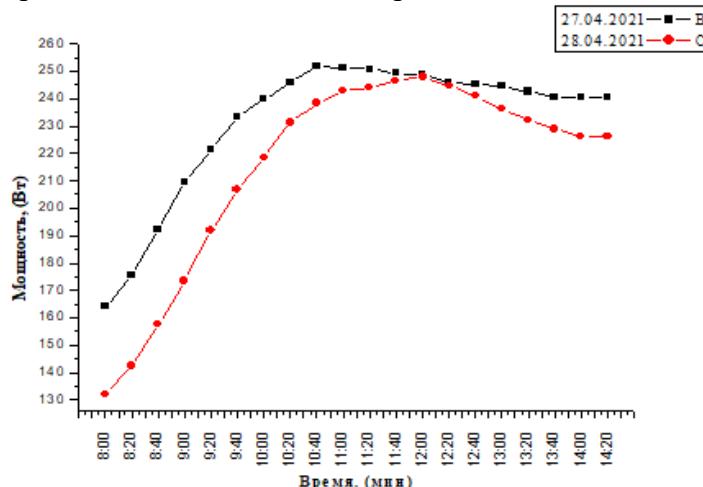


Рис.4. Зависимость электрической мощности МФЭУ от времени

Из сравнения значений хода зависимости электрические мощности для двух методов измерения показывает, что при ручной ориентации МФЭУ к Солнцу каждое 30-40 минут увеличивает вырабатываемую мощность приблизительно на 25–30 % по отношению к неподвижно расположенному источнику. Начиная с 10 часов до конца проведения экспериментов, вырабатываемая электрическая мощность МФЭУ при ясной погоде остается постоянной и составляет больше ~ 250 Вт [18]. Следует отметить, используемая в МФЭУ аккумуляторной батареи емкостью 200 А час, резервируемая электрическая мощность составляет больше 3000 Вт. Поэтому при использовании в летнее время в системе аккумулирования энергии МФЭУ всегда имеется большой запас электрической энергии.

Выводы. В настоящее время проходит испытание экземпляра МФЭУ в условиях г. Ташкента. По предварительным данным в качестве нагрузки используются большой набор из различных потребителей энергии, системы освещения мощностью до 400 Вт, подключение компьютеров, водоподъемного насоса, различных слесарных и сверлильных инструментов (дрели, «болгарок», краскопультов) и другие. Для оптимизации конструкции и параметров есть варианты увеличения вырабатываемой электрической мощности и мощности, подключаемых потребителей энергии. Для этого разрабатывается новые варианты размещения на опорных конструкциях более эффективных с увеличенными мощностями

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

фотоэлектрических батарей. В дальнейшем вместо ФЭБ использовать высокоеффективные фото тепловые батареи для получения горячей воды для использования в быту сельских жителей [19-20].

Литература

1. Рискиев Т.Т., Турсунов М.Н., Сабиров Х., Юлдошев И.А., Тукфатуллин О.Ф., Комолов И.М. Автономная мобильная многофункциональная фотоэлектрическая система экстренного обеспечения электроэнергией сельскохозяйственных объектов // Проблемы энергопрессурсосбережения, Tashkent, 2014. -№3. -С. 175-180.
2. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Ахмедов Ш., Усмонов И., “Мобильная фотоэлектрическая установка”, № SAP 2014, 0066.
3. Муминов Р.А., Турсунов М.Н., Сабиров Х., Холов У.Р., Ахтамов Т.З., Эшмурадова М. Комбинированная установка на основе фото тепловой батареи – электроводонагреватель для обеспечения электроэнергией и водой сельские домохозяйства //Иrrигация и мелиорация. 2020. - №2(20). -С. 62-66.
4. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Холов У.Р., Ахтамов Т.З. Автономная фотоэлектрическая система круглогодичного гарантийного обеспечения электроэнергией сельских объектов. //Иrrигация и мелиорация, 2020. -, №3(20). -С. 82-86.
5. Muminov R., Tursunov M., Yuldashev I., Sabirov H., Kholov U., Akhtamov T. Features of optimization of increasing the efficiency of an autonomous photo thermal installation for rural regions, E3S Web of Conferences 216, 01146 2020.
6. Турсунов М.Н., Муминов Р.А., Газиев У.Х., Сеттарова З.С., Тукфатуллин О.Ф. Научные и технологические аспекты разработки фотоэлектрической установки для работы в условиях жаркого климата. // Гелиотехника, 2006. -№3. -С. 13-17
7. Турсунов М.Н., Мирзабаев А.М., Дадамухамедов С., Канонеров В.П., Абдулаев Э., Тукфатуллин О.Ф. Фотоэлектрическая установка уличного освещения на основе кремниевых солнечных элементов, Гелиотехника, 2009. -№1. -С. 26-30.
8. Рискиев Т.Т., Турсунов М.Н., Абдулаев Т. Фотоэлектрические станции, интегрированные в действующую сеть электроснабжения. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2015, -№1-2. -С. 187-193.
9. M.N. Tursunov, V.G. Dyskin, I.A Yuldashev, Kh. Sabirov, Park Jeong Hwoan “A Criterion of Contamination of the Glass Surface of Photovoltaic Batteries” Applied Solar Energy, 2015 Vol. 51. No.2, pp 163-164.
10. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики //ФТП, 2004. №38. С. 937-947.

11. Анарбаев. А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И., Таджиев У.А. Районирование территории Узбекистана по комплексу метеофакторов, влияющих на эффективность работы солнечных систем горячего водоснабжения. // Гелиотехника. Ташкент, 2008. -№2. -С. 62-73.
12. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Юлдашев И.А., Дадамухамедов С., Особенности создания фотоэлектрической системы для подъема воды, //Экологический вестник. 2012. -№10. -С. 27-29.
13. Рискиев Т.Т., Турсунов М.Н., Сабиров Х., Юлдашев И.А. Автономная фотоэлектрическая система электропитания теплиц сельских жителей, //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2013. -№1-2. -С.25-31.
14. Турсунов М.Н., Юлдошев И.А. Разработка фотоэлектрических батарей, установок эффективно работающих в условиях Центральной Азии //Проблемы энерго-ресурсо сбережения. Ташкент, 2011. Специальный выпуск. -С. 160-165.
15. Турсунов М.Н., Дыскин В.Г., Юлдашев И.А. Критерий загрязнения поверхности стекла фотоэлектрической батареи, //Гелиотехника, 2015. -№2. -С. 82-84.
16. Дыскин В.Г., Турсунов М.Н., Абдуллаев Э.Т. Мобильный измерительный зонд для мониторинга степени загрязнения стекла, //Проблемы энерго - и ресурсосбережения, 2016. -№1-2. -С. 4-6
17. Патент № FAP 2015 0107 от 15.03.2017 г., Фотоэлектрическая установка. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Юлдошев И.А., Комолов И.М., Раджапов Б.С.
18. Турсунов М.Н., Сабиров Х., Юлдашев И.А., Турдиев Б.М., Комолов И.М. Фототепловые батареи разной конструкции, сравнительный анализ, // Гелиотехника, 2017. -№1 -С. 26-29.
19. R.A. Muminov, M.N. Tursunov, X. Sabirov, U.Abdiev, B.A. Yuldoshov, Sh.N. Abilfayziev, "Study of the Parameters of a Photo of a Thermal Battery with a cell Polycarbonate Collector", International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, vol. 6, no. 12, pp. 12018-12023, 2019.
20. M.N. Tursunov., R. A. Muminov., O. F. Tukfatullin., I. A. Yuldashev., and E.T. Abdullaev "Photothermal Electric Battery Based on Silicon Solar Cells" Applied Solar Energy, Vol.47, №1, pp. 63-65. 2011.

Представлено Физико-техническим
институтом НПО “Физика-Солнце” АН РУз и
Ташкентским государственным техническим университетом

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE TEMPERATURE REGIME OF
THERMAL PROCESSING OF MUNICIPAL SOLID WASTE**

B.M. Toshmamatov, Kh.A. Davlonov, O.I. Rakhmatov

Мақолада қуёш энергиясидан фойдаланыб қаттық мәший чиқиндиарни термик қайта ишилаш учун қуёш қурилмаси тақлиф қилинган ва қаттық мәший чиқиндиарни қайта ишилаш тизимларининг илмий-техник таҳлили амалға оширилған. Тадқиқот обьекті анаэроб ферментация усулида қаттық мәший чиқиндиарни термик қайта ишилаш учун қуёш қурилмаси ҳисобланади. Ишлаб чиқылған қуёш қурилмасининг иссиқлик баланси тенгламаси түзилған ва таҳлил қилинган. Шунингдек, қаттық мәший чиқиндиарни термик қайта ишилаш учун талаб этиладыған энергия миқдори аниқланған. Ишда иссиқлик ва масса алмашинуви назарияси, иссиқлик ва қуёш қурилмаларининг иссиқлик баланси методлари құлланылған. Қаттық мәший чиқиндиардан анаэроб биҗегитиши усулида чиқинди гази ва органик үгіт олиш учун ҳарорат режимі тадқиқот қилинған. Тажриба ишлари натижалари асосан, қурилманинг кундузги иши режимидә 1 тонна қаттық мәший чиқиндиарни гелиотермик қайта ишиланғанда $150\text{-}200 \text{ м}^3$ газсімөн ёқылғы, 250-400 кг органик үгіт олиш мүмкінлиги аниқланған.

В статье предложена установка для термической переработки твердых бытовых отходов с использованием солнечной энергии и проведен научно-технический анализ систем переработки твердых бытовых отходов. Объектом исследования является солнечная установка для термической переработки твердых бытовых отходов на основе анаэробного сбраживания. Составлен и проведен анализ теплового баланса разработанной солнечной установки, а также определена потребность в энергии для термической переработки твердых бытовых отходов. В работе использованы методы теории тепло- и массообмена, тепловых балансов теплоэнергетических и солнечных установок. Экспериментально исследован температурный режим анаэробного сбраживания твердых отходов с получением свалочного газа и органических удобрений. Результаты экспериментальных исследований показывают, что при гелиотермической переработке 1 тонны твердых бытовых отходов в дневном режиме работы устройства можно получить $150\text{-}200 \text{ м}^3$ газообразного топлива, 250-400 кг органических удобрений.

The article proposes a solar installation for thermal processing of municipal solid waste using solar energy and carries out a scientific and technical analysis of municipal solid waste processing systems. The object of the study is a solar installation for the thermal processing of municipal solid waste based on anaerobic fermentation. An analysis of the thermal balance of the developed solar installation was compiled and carried out, as well as the energy demand for thermal processing of municipal solid waste was determined. The methods of the theory of heat and mass transfer, thermal balances of thermal power, and solar installations are used in the work. The temperature regime of anaerobic fermentation of municipal solid waste with the production of landfill gas and biofertilizers has been experimentally studied. The results of experimental studies show that with the heliothermal processing of 1 ton of municipal solid waste in the daytime mode of operation of the device, it is possible to obtain 150-200 m³ of gaseous fuel, 250-400 kg of organic fertilizers.

Introduction. Today, the problem of waste is becoming one of the most urgent environmental, economic, and energy problems in Uzbekistan and the world. The analysis shows that municipal solid waste and industrial waste have been increasing from year to year in recent years. Especially in the XXI century, the increase in the amount of municipal solid waste began to have a huge negative impact on environmental sustainability. Pollution under the influence of heat, moisture, and decomposition penetrates into the surface and underground water, atmospheric air, soil, and plants. The accumulation of toxic and environmentally hazardous substances is of particular concern. At the current rate of increase in the volume of household and industrial waste, a person faces the prospect of being left without clean drinking water and air, fertile land, as well as facing new outbreaks of various diseases [1,2,3].

Municipal solid waste (MSW) - organic and inorganic waste generated as a result of the vital activity of individuals and legal entities, as well as waste generated as a result of natural processes on their territory and landscaping (food and vegetable waste, textiles, packaging) of materials, glass, rubber, paper, plastic, wood waste, household items that have lost their useful properties, as well as waste generated when using solid fuel stoves and heating boilers [4].

Problem definition. The issue of collection, transportation, and processing of solid waste in modern urban and multi-story residential areas is one of the urgent problems. For example, in the Kashkadarya region, on average, 800-1000 thousand tons of municipal solid waste is generated per year and the following problems are being solved:

The spread of compounds such as NO, NO₂, NH₄, HCl, C, SO₂, H₂S, CO, CoF₃, ClF₅, CH₄, CH_nH_m, PhMe, from municipal solid waste into the at-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

mosphere leads to environmental poisoning, absorption of the ozone layer and the formation of greenhouse gases (Fig.1).

The increase in the volume of municipal solid waste has a huge negative impact on environmental stability and public health.

On all sunny hot days of the year, municipal solid waste constantly emits methane (waste gas, methane in its composition - 55-70%) and without use, it poisons the environment.

Daily collection, transportation, and disposal of household waste in cities require additional costs (transport, labor, etc.).

Municipal solid waste is an integral product of human activity and requires regular and timely disposal. Their accumulation can lead to serious problems that will affect not only the ecology of the region but also our health [4].

In the Republic of Uzbekistan, the content of the constituent parts of municipal solid waste is not constant and changes according to the seasons, in particular, in summer and autumn, the percentage of food waste in them increases, which is associated with the more frequent use of vegetables and fruits by the population during these periods (Fig. 2 and 3) [1,2].



Fig.1. The impact of MSW on the environment



Fig.2. Municipal solid waste

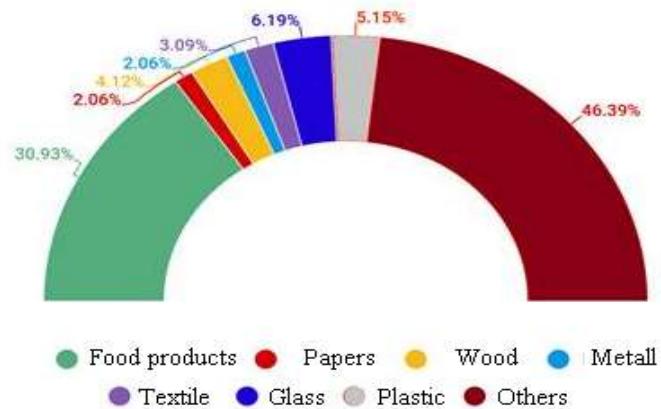


Fig.3. Morphological composition of municipal solid waste in Uzbekistan

Today in Uzbekistan, there are about a total of 333 landfills for municipal solid waste disposal and sterilization in the regions, of which 310 landfills, 23 landfills are landfills for municipal solid waste disposal (Fig.4).

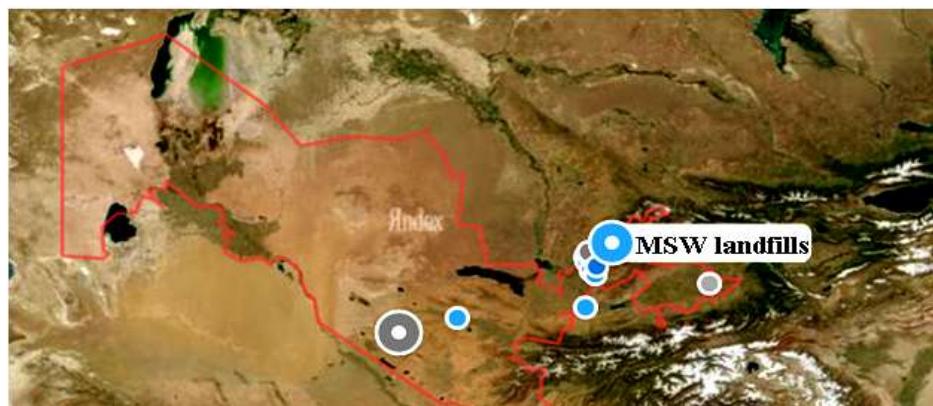


Fig.4. MSW landfills in Uzbekistan

To solve the accumulated problems, a Strategy for the management of municipal solid waste has been developed, designed for 2019-2028. In addition, a draft law "On waste" has been prepared in a new version.

Specialists and representatives of the environmental industry will have to solve many tasks. Among them, the slowdown in the growth rate of solid waste formation and the reduction of their hazardous properties, the reuse of raw materials, energy, and materials obtained from waste, as well as the neutralization of components that cannot be recycled [5].

MSW recycling in Uzbekistan does not reach 20 percent, but by the end of the year, the volume of solid household waste processing is planned to increase to 21.8%, and by the end of 2021-to 36.5%. Figure 5 shows the level of municipal solid waste processing in Uzbekistan.

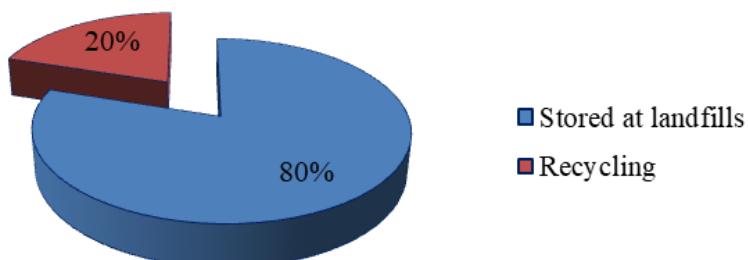


Fig.5. Waste management diagram in Uzbekistan

Methods and materials. In world practice, the following methods of utilization and processing of solid waste have found industrial application: burial at special landfills; heat treatment (incineration, pyrolysis); biothermal: aerobic composting (to obtain fertilizer or biofuel) and anaerobic fermentation (to obtain biogas); sorting (with the extraction of certain valuable components for secondary use, the most suitable technically, ecologically and economically) [6,7]. The technology of processing household waste at solid waste landfills, where 90-95% of the total solid waste flow of the housing stock is received, is based on the spontaneous decomposition of the organic part of the waste in the landfill body. Thus, landfill disposal is environmentally hazardous and economically unprofitable in terms of environmental payments, land costs and the need to finance its reclamation. The method of utilization of household waste by pyrolysis technology consists in their irreversible chemical change under the influence of elevated temperature without access or with limited access of oxygen with the release of combustible pyrolysis gas (pyrolysis gas). According to the degree of temperature impact on the combustible mass of waste, pyrolysis as a process is conventionally divided into low-temperature (up to 650 °C) and high-temperature (650-900 °C). In the case of supplying a limited amount of air and water vapor to the reactor, the gasification process takes place [3]. One of the main methods for the disposal of solid waste throughout the world remains disposal in a subsurface geological environment. Under these conditions, municipal solid waste is subjected to intense anaerobic decomposition with the formation of landfill gas.

The work objective is to create and introduce alternative energy generation technology in the heliothermic method of municipal solid waste.

The work uses the methods of the theory of heat and mass transfer and body balances of heat power and solar installations. The created solar plant for anaerobic fermentation of solid waste to obtain landfill gas and biofertilizers

has been investigated. Balance methods of numerical and experimental studies of anaerobic fermentation of solid waste were used to analyze the results. An experimental solar installation for the thermal processing of municipal solid waste (SITPMSW) was created, which is made of a semi-cylinder with a base in the form of a rectangular parallelepiped, with dimensions: length 1.2 m, width 1 m and height 1 m. The working volume of the reactor is 1.2 m³ (Fig.6 and 7).

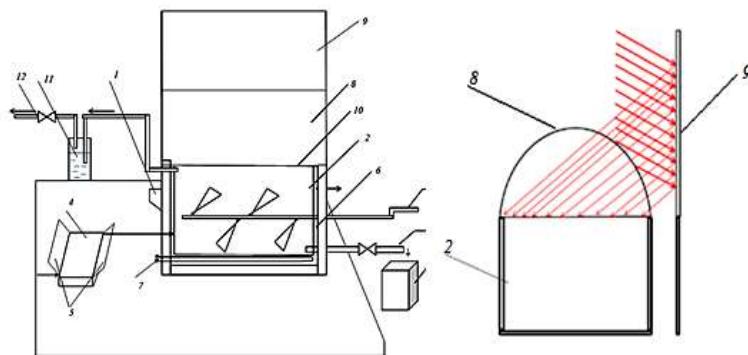


Fig. 6. Solar installation for thermal processing of municipal solid waste:
1 - receiving hopper, 2 - landfill reactor, 3 - mechanical mixer, 4 - solar air heater, 5 - articulated reflector, 6 - air channel, 7 - electric heater, 8 - polycarbonate cover, 9 - solar reflector, 10 - absorber, 11 - water filter, 12 - valve, 13 - exhaust pipe, 14 - exhaust hopper.



Fig.7. Experimental solar installation for the thermal processing of municipal solid waste

A comparative analysis of the model with the prototype revealed the following distinctive features:

- unlike the prototype, the landfill reactor is covered with a translucent polycarbonate coating on top, which also provides the required temperature regime as a passive solar installation. Thus, the sun's rays passing through the polycarbonate coating enter the installation and heat the metal sheet, i.e. the absorber, due to thermal conductivity, heat is transferred to the internal volume of the landfill reactor;
- the solar installation is additionally equipped with a solar air heater, in which the air heated from 20 to 65 °C through the air channel heats the side and lower parts of the surface of the landfill reactor;
- the solar air heater is additionally installed in parallel with a connected hinged reflector for increased installation efficiency;
- the installation is additionally equipped with a solar reflector located in parallel with the landfill reactor, which is also an additional source of thermal energy.
- mixing the mass of solid household waste with a mechanical stirrer, driven manually without the cost of electricity;
- to save energy on waste transportation, the installation is installed at the landfill of settlements.

In the daytime mode, municipal solid waste is loaded through the receiving hopper 1 into the fermentation chamber of the landfill reactor 2 without preliminary sorting. Every 2-3 hours, the mixing of the loaded municipal solid waste in the landfill reactor takes place with the help of a mechanical stirrer 3, driven manually. Then, the loaded municipal solid waste in the reactor is heated by a solar air heater (SAH) 4 from 20 to 55 °C. An articulated reflector (5) is additionally installed in the solar air heater to increase the efficiency of the installation and to ensure that the air is heated from 55 to 65 °C. In addition, the air heated from 20 to 65 °C through the air channel (6) heats the tank and lower parts of the landfill reactor surface through the active system of the solar air heater. The electric heater is a backup heater 7 and supports the creation of a stable temperature regime for anaerobic fermentation of municipal solid waste in the reactor during cloudy days and at night. This solar installation differs in that the reactor is covered on top with a translucent polycarbonate coating 8 and solar reflectors (9), which also provides the required temperature regime as a passive solar installation. Thus, the sun's rays passing through the polycarbonate coating 8 flow into the interior of the installation and heats the metal sheet, i.e. absorber 10 and due to thermal conductivity heat is transferred to the inner volume of the reactor. Within 12 days, the process of fermentation and landfill gas exits takes place, and then the landfill gas is finally sucked into the water filter 11 through the landfill reactor 2. Through the open valve 11, part of the landfill gas is sent to consumers through the pipeline from the water filter 12. After 12 days, the fermentation process ends and the spent masses of municipal solid waste are removed from the landfill reactor through the chim-

ney 13 into the exhaust hopper 14, then the spent masses of municipal solid waste are supplied to the storage partly as fertilizers or to the solid waste disposal site.

1. Heat balance simulation installation (ESITPMSW)

To estimate the energy consumption for the processing process, the heat balance of solar installation for the thermal processing of municipal solid waste was calculated in the following order.

The loaded mass of solid waste is determined by the formula:

$$m_{MSW} = V \cdot \rho_{MSW}, \text{ kg}; \quad (1)$$

$$m_{MSW} = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ kg.}$$

The output of landfill gas V_{COM} , m^3 , when the solid waste mass is completely decomposed, is determined by the formula:

$$V_{COM} = m_{MSW} \cdot \eta_e, \text{ m}^3; \quad (2)$$

where η_e is the output of solid waste from 1 kg MSW, $\eta_e = 0.2 \text{ m}^3/\text{kg}$, then

$$V_{COM} = 300 \cdot 0.2 = 60 \text{ m}^3.$$

Draw up the heat balance of the installation in the following form:

$$Q_{RE} = Q_{FER} + Q_{LOS} - Q_R^\Sigma - Q_{SAH} - Q_{EL}, \text{ W}; \quad (3)$$

where Q_{RE} is the required thermal energy for the thermal processing of municipal solid waste, W ; Q_{FER} - heat consumption for heating municipal solid waste, W ; Q_R^Σ - solar radiant energy passing through the translucent part of the installation, W ; Q_{SAH} -heat flow coming from the SAH, W ; Q_{LOS} - loss of thermal energy through heat transfer to the environment, W ; Q_{EL} heat flow from the electric heater, W .

The amount of heat, Q_{FER} , kJ , required for heating the solid waste mass to the temperature of the fermentation process:

$$Q_{FER} = m_{MSW} \cdot c_{MSW} (t_{FER} - t_{MSW}) \cdot 3.6 \cdot 10^{-3}, \text{ W}. \quad (4)$$

The amount of heat Q_{LOS} , W , lost in the process of heat transfer through the wall of the reactor to the environment:

$$Q_{LOS} = k \cdot F_{tot} \cdot (t_{FER} - t_{AVER}), \text{ W}; \quad (5)$$

where k is the heat transfer coefficient, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot {}^0\text{C})$; F_{tot} - total heat transfer area, m^2 ; T_{AVER} - average air temperature, ${}^0\text{C}$.

The heat transfer coefficient k , $W/(m^2 \cdot {}^\circ C)$, is determined by the formula [13-19]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad W/(m^2 \cdot {}^\circ C); \quad (6)$$

where $1/\alpha_1$ is the resistance to heat perception, $W/m^2 \cdot {}^\circ C$; $1/\alpha_2$ - heat transfer resistance, $W/m^2 \cdot {}^\circ C$; δ_i is the thickness of the i -th layer of the fence element, m; λ_i is the thermal conductivity coefficient of the i -th layer of the fence element, $W/m^2 \cdot {}^\circ C$.

A concrete reactor with a thickness of 0.1 m was installed, thermal insulation made in the form of glass wool (0.1 m).

The flow of solar energy passing through polycarbonate glass is Q_R^Σ [8,9]:

$$Q_R^\Sigma = q_r \cdot \alpha_{ab} \cdot \tau_{tr} \cdot F, \quad W; \quad (7)$$

where q_r is the average total solar radiation, W/m^2 ; α_{ab} - absorption coefficient of the receiving surface of solar radiation, 0.85 - 0.9; τ_{tr} - transmittance of a translucent coating, with a single glazing is adopted 0.9; F - area of the illuminated surface, m^2 .

The energy received by the receiver from the Sun through the reflector can be determined by the equation:

$$Q_{REF} = R_{REF} \cdot A_{re} \cdot E_{REF} \cdot F_{REF}, \quad W; \quad (8)$$

where, E_{REF} - is the irradiation of the mirror reflector, W/m^2 ; F_{REF} - surface area of the mirror reflector, m^2 ; R_{REF} - reflectivity of the mirror reflector; A_{re} - absorption coefficient of the receive.

Useful thermal energy (heat production) of the SAH is equal to [10-13]:

$$Q_{USEF} = Q_{SAH} = G_w \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (t_{a2} - t_{a1}), \quad W; \quad (9)$$

$$Q_{USEF} = Q_{SAH} \cdot Q_{REF}, \quad W; \quad (10)$$

where, G_w - volumetric air flow, m^2/sec ; ρ_a - air density kg/m^3 ; c_p — specific heat of air, $kJ/kg \cdot {}^\circ C$; t_{a1} and t_{a2} - air temperature at the inlet and outlet of the SAH, ${}^\circ C$.

If we assume that it is $Q_{FER}+Q_{LOS}$ equal to Q_{cons} the total heat consumption, then,

$$Q_{FER} + Q_{LOS} = Q_{cons}; \quad (11)$$

Accept that $Q_R^\Sigma + Q_{REF} + Q_{SAH}$ equal to Q_{inc} then

$$Q_R^\Sigma + Q_{REF} + Q_{SAH} = Q_{inc}; \quad (12)$$

Heat flow from the electric heater

$$Q_{El} = \varphi \cdot N_{El}; \quad (13)$$

where N_{El} - electric power electric heater, W, φ - the energy conversion coefficient, in our case $\varphi = 3,0$.

Results and discussion. Experimental studies of solar thermal processing of solid waste in the developed installation under natural and climatic conditions of Karshi were carried out. The experiments were carried out in the scientific landfill "Alternative Energy Sources" of the department "Alternative Energy Sources" of the Karshi Engineering-Economics Institute.

Experiments with different compositions of solid waste were carried out in the experimental installation in order to obtain landfill gas. The experimental results are shown in Fig.8.



Fig.8. Temperature field in a laboratory installation

The experiments were carried out in typical days (05.07.2021), i.e. under hot weather conditions, taking into account changes in the incident solar radiation on the translucent ray-receiving surface of solar installations. The results of the experiments are summarized in the form of graphs and are presented in Table 1.

Table 1

Experimental results landfill gas outlet

Number of experiments	MSW weight, kg	Average temperature solar heating, °C	Landfill gas, m³	Organic fertilizers, kg
1	300	55	63	120
2	300	50	55	109
3	300	54	60	117,5
4	300	52	58	115
5	300	54	61	119

The analysis of the obtained experimental data shows that the temperature on the absorber reaches up to 90-100 °C and in the working chamber of the

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

landfill chamber reaches up to 55-65 °C in 10⁰⁰ - 16⁰⁰ at a solar energy intensity of 1100-1250 W/m². The average temperature in the working chamber of the landfill reactor is 60 °C.

Experiments with different compositions of municipal solid waste were carried out in the experimental installation in order to obtain landfill gas.

Conclusions.

An energy-saving device was developed for producing gaseous fuel from municipal solid waste by a heliothermal method.

As a result of hydrothermal processing of 1 ton of solid household waste, 150-200 m³ of gaseous fuel is obtained in the device.

As a result of hydrothermal processing of 1 ton of solid household waste, 250-400 kg of organic fertilizer is obtained in the device.

1 ton of solid household waste is processed in a 730 kg fuels, device by the way, there were savings.

From 1 m³ of gaseous fuel, 5500-6000 kcal of thermal energy and 4 kW of electrical energy are obtained.

160 million tons of municipal solid waste generated in the territory of Kashkadarya region for 1 year amounted to 800,000 tons. m³ of spent gas, more than 880 billion.kcal of thermal energy, 640 million kW it is possible to receive energy equal to kWh of the equivalent of electric energy.

The cycle of studies of the anaerobic fermentation of municipal solid waste carried out on the experimental solar installation, confirmed the possibility of obtaining landfill gas and high-quality biofertilizers.

Based on the results of numerical and experimental studies, a modern, effective, and environmentally friendly clean energy-saving technology of anaerobic fermentation of solid waste using solar energy has been developed.

The presented option is promising because solar energy is used to heat and maintain the temperature of the anaerobic fermentation of the mass of municipal solid waste in the SITPMSW of various sizes.

Thus, the problem of municipal solid waste disposal is currently really relevant, therefore our presented solution prevents the threat to the health and life of the population, as well as disruption of the ecological balance and makes it possible to obtain alternative fuel and organic biofertilizers. The proposed solar installation can be used in public utilities, agriculture, and other industries.

References

1. Zainol N., Sidek N.S.M. and Ya'acob A. (2021) Production of high strength bioliquid from municipal solid waste (MSW) using mixed culture. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1045(2021)012024. doi:10.1088/1757-899X/1045/1/012024.
2. Kolibaba O.B., Dolinin D.A., and Guse E.V. (2021). Modified Ceramics Based on the Pyrolysis Residue of Municipal Solid Waste. IOP Conf.

Series: Materials Science and Engineering. 1079 (2021) 032052.
doi:10.1088/1757-899X/1079/3/032052.

3. Muradov I., Toshmamatov B.M., Kurbanova N.M., Baratova S.R., Temirova L. (2019). Development of A Scheme For The Thermal Processing of Solid Household. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 9, September 2019, India, 10784-10787 pp.

4. Uzakov G.N., Toshmamatov B.M., Shomuratova S.M., Temirova L.Z. (2019). Calculation of energy efficiency of the solar installation for the processing of municipal solid waste. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 12, December 2019.

5. Toshmamatov B.M., Uzakov G.N., Kodirov I.N., Khatamov I.A. (2020). Calculation of the heat balance of the solar installation for the thermal processing of municipal solid waste. International Journal of Applied Engineering Research and Development (IJAERD) ISSN (P): 2250–1584; ISSN (E): 2278–9383 Vol. 10, Issue 1, Jun 2020, 21 – 30 pp.

6. Gunich S.V., Yanchukovskaya Y.V., Dneprovskaya N.I. (2015). Analiz sovremenix metodov pererabotki tverdix bitovix otvodov./ Izvestiya vuzov. Prikladnaya ximiya i biotekhnologiy, 2015, № 2 (13). Str. 110-115.

7. Uzakov G.N., Davlonov H.A., Holikov K.N. (2018). Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2018, 54(6), 481– 484 pp.

8. Uzakov G.N. (2010). Efficiency of joint operation of greenhouses and solar greenhouses. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) 46(4). 319 – 320 pp.

9. Toshmamatov B., Davlonov Kh., Rakhmatov O., Toshboev A. (2021). Recycling of municipal solid waste using solar energy. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1030 (2021) 012165. doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012165.

10. Aliyarova L.A., Uzakov G.N., Toshmamatov B.M. (2021). The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 723 (2021) 052002. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052002.

11. Uzakov G.N., Shomuratova S.M. and Toshmamatov B.M. (2021). Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.

12. Ramzan N., Ashraf A., Naveed S., Malik A. (2011). Simulation of hybrid biomass asification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste // Biomass and Bioenergy. 2011. № 35. 3962–3969 pp.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

13. Sultanguzin A.V., Gyul'maliev I.A., Sergeev A.M. (2017). Biomass Pyrolysis and Gasification Comprehensive Modeling for Effective Power Generation at Combined Cycle Power Plant // Eurasian Chemico- Technological Journal. 2017. № 19(3). 245–253 pp.
14. Bashkov O.V., Romashko R.V., Bashkov I.O., Zaikov V.I., Khon H., Solovev D.B. 2020 Sensitivity Analysis of Adaptive Holographic Fiber-Optic Acoustic Emission Sensors during the Registration of Acoustic Waves In a Plate IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 459 Paper № 062104. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062104>.
15. Tolaymat T., El-Badawy A., Smith J., Barlaz M., Jain P., Luettich S., and Huang X. Modeling Thermal Changes at Municipal Solid Waste Landfills: A Case Study of the Co-Disposal of Secondary Aluminum Processing Waste. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-16/174, 2016.
16. Pleșca A. Considerations about Maximum Temperature of Toroidal Transformers in Steady-State Conditions. Journal of Advanced Thermal Science Research [Internet]. 2020 Oct 20 [cited 2021 Mar 26]; 7(1):22–9.
17. Rashad A.M., Mansour M.A., Gorla R.S., Siddiq S., Salah T. Unsteady MHD Natural Convection Flow of Nanofluid in a Cavity Containing Adiabatic Obstacle with Heat Corners. Journal of Advanced Thermal Science Research [Internet]. 2019;6(1):43–50.
18. Ekren O. Performance Evaluation of a Modified DC Compressor Powered by Solar Energy. Journal of Advanced Thermal Science Research [Internet]. 2017;4(1):20–30.
19. Abdelghani-Idrissi M.A., Seguin D., Vernières L., Mouhab N. Thermal Convexity of Tubular Heat Exchangers in Steady State. Journal of Advanced Thermal Science Research [Internet]. 2015;2(2):54–63.

*Presented by Karshi
engineering- economics institute*

УДК 662.997.621

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОМБИНИРОВАННОГО
СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

Л.А. Алиярова, Г.Н. Узаков, У.Х. Ибрагимов, Н.З. Рахимов

Ҳавога иссиқлик ва намлик билан ишилор берииш тизимларида технологик жараёнларнинг энергия истеъмолини камайтириш долгарб муаммо ҳисобланади. Ишининг мақсади - иссиқхоналарда ҳавога иссиқлик ва намлик билан ишилор берииш тизимлари учун ишилаб чиқилган комбинациялашган қуёш коллекторининг гидродинамик режимини сувнинг ламинар ва турбулент ҳаракатида экспериментал тадқиқот қилиши ва параметрларини асослашдан иборат. Мақолада комбинациялашган сув-ҳаво қуёш коллекторининг текис қувурларида гидравлик қаршиликни аниқлаши бўйича экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган. Тажрибалар натижаларини қайта ишилаш асосида сув ҳаракатининг ламинар ва турбулент режимида гидравлик қаршиликни аниқлаши учун эмпирик боғлиқликлар олинди. Олинган тажриба натижалари комбинацияланган қуёш коллекторининг параметрларини оптималлаштиришига хизмат қиласди.

Снижение энергоемкости технологических процессов в системах тепловлажностной обработки воздуха является актуальной проблемой. Целью работы является экспериментальное исследование и обоснование параметров гидродинамического режима, разработанного комбинированного солнечного коллектора при ламинарном и турбулентном движении воды для систем тепловлажностной обработки воздуха теплиц. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению гидравлического сопротивления в гладких трубах комбинированного водовоздушного солнечного коллектора. На основе обработки опытных данных получены эмпирические зависимости определения гидравлического сопротивления для ламинарного и турбулентного режима движении воды. Полученные экспериментальные результаты служат для оптимизации параметров комбинированного солнечного коллектора.

Reducing the energy intensity of technological processes in heat and humidity air treatment systems is an urgent problem. The aim of the work is an experimental study and substantiation of the parameters of the hydrodynamic regime of a combined solar collector with laminar and turbulent movement of water for systems of heat and moisture treatment of air in greenhouses. The re-

sults of experimental studies to determine the hydraulic resistance in smooth pipes of a combined water-air solar collector are presented. Based on the processing of experimental data, empirical dependences are obtained to determine the hydraulic resistance for the laminar and turbulent regime of water movement. The obtained experimental results serve to develop and optimize the parameters of the combined solar collector.

Введение. Анализ энергетических стратегий развитых стран мира показывает, что в них проводится государственная политика по повышению энергоэффективности, экономии традиционных энергоресурсов, диверсификации структуры топливно-энергетического баланса за счет развития возобновляемых источников (ВИЭ) и внедрения энергосберегающих инновационных технологий [1].

Использование ВИЭ в мире приобретает все большую актуальность в связи с тем, что традиционные источники энергии (уголь, нефть, природный газ) ограничены, и их использование для разработки тепловой и электрической энергии наносит большой вред окружающей среде. В связи с этим все большее значение приобретает солнечная энергия, которая может быть использована для получения экологически чистой тепловой и электрической энергии. Использование солнечной энергии для теплоснабжения позволит замещать от 20 до 60 % тепловой нагрузки объектов сельского хозяйства, в зависимости от климатического расположения. В настоящее время энергоемкость выращивания плодовоощных продуктов тепличных комплексах даже в условиях Центральной Азии очень велика. Более 50 % всех эксплуатационных затрат приходится на теплоснабжение теплиц [2]. В связи с этим, важно создать энергосберегающие гелионагревательные установки для систем тепловлажностной обработки воздуха и провести научные исследования с целью обоснования основных тепло-технических параметров гелиоустановок для теплоснабжения теплиц.

Научные исследования по разработке эффективных солнечных коллекторов и оптимизации их параметров проведены в научных работах [3-12]. Однако недостаточно исследован гидродинамический режим комбинированного водовоздушного коллектора для систем тепловлажностной обработки воздуха.

С целью экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов (природный газ, уголь и т.п.) нами разработана гелионагревательная система для тепловлажностной обработки воздуха (ГНС ТВОВ) [13, 20]. На основе проведенных первичных испытаний предложенная солнечная установка усовершенствована и разработана гелионагревательная система (ГНС) с комбинированным водовоздушным солнечным коллектором и контактным теплообменником для тепловлажностной обработки приточного воздуха в теплицу (рис. 1).

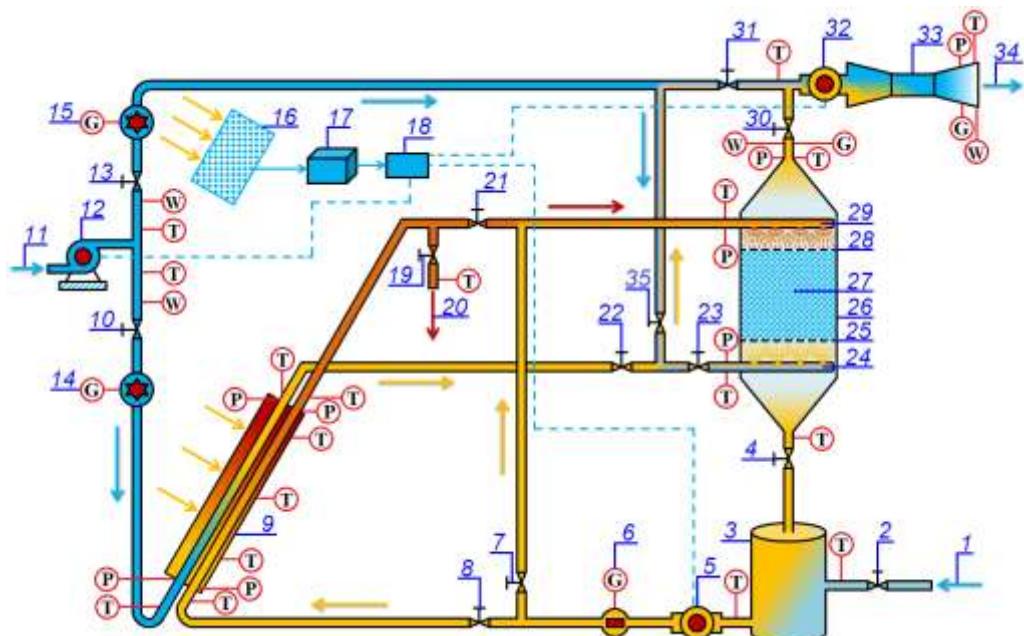


Рис. 1. Принципиальная схема гелионагревательной системы с контактным теплообменником для ТВОВ теплицах: 1-холодная вода из водопровода; 2, 4, 7, 8, 10, 13, 19, 21, 22, 23, 30, 31, 35-вентили; 3-резервуар (бак) для холодной воды; 5-циркуляционный насос; 6-расходомер для воды; 9-комбинированный водо-воздушный солнечный коллектор (КВВСК); 11-атмосферный воздух; 12, 32-вентилятор; 14, 15-расходомеры для воздуха; 16-фотоэлектрический преобразователь; 17-аккумулятор; 18-инвертор напряжения; 20-нагретая вода к потребителю; 24-форсунка для воздуха; 25-нижняя тарелка; 26-контактный теплообменник; 27-насадка; 28-верхняя решетка; 29-форсунка для воды; 33-эжектор; 34-увлажненный воздух

Предложенная ГНС служит для тепловлажностной обработки приточного воздуха в теплицу, которая позволяет нагревать, охлаждать, осушать, очищать и увлажнять воздух, от этой системы можно получить горячую воду для подпочвенного обогрева и полива теплицы.

Целью данной работы является экспериментальное исследование и обоснование параметров гидродинамического режима комбинированного солнечного коллектора при ламинарном и турбулентном движении воды.

Экспериментальная установка. Экспериментальная установка (рис.2) предназначена для моделирования и экспериментального исследования гидродинамических, теплообменных и тепломассообменных процессов в комбинированном водо-воздушном солнечном коллекторе (КВВСК), контактных теплообменниках и для исследования термодина-

мических процессов в эжекторах при различных скоростях и расходах теплоносителей.



Рис. 2. Общий вид комбинированного солнечного коллектора с контактным теплообменником

ГНС (рис. 1, 2) состоит из двух контуров: водяного и воздушного. Водяной контур КВВСК состоит из оцинкованного цилиндрического резервуара 3, циркуляционного насоса 5, вентилей 2, 4, 7, 8, 19, 21, расходомера 6, распределительная устройства 29. Вода по водяному контуру циркулирует с помощью циркуляционного насоса 5. Циркуляционный насос (GREENPRO, марка RS20/6) предназначен для перекачки жидкости в системе трубопроводов. Технические характеристики насоса: максимальная потребляемая мощность 93/67/46 Вт, Максимальное допустимое рабочее давление 10 атм., допустимый температурный диапазон перекачиваемой среды от -10 до +110°C.

Воздушный контур КВВСК состоит из вентилятора 12, вентилей 10, 13, 22, 23, 31, двух расходомеров 14, 15 для измерения расхода холодного и нагретого воздуха, форсунки 24. Воздушном контуре в качестве нагнетательного вентилятора применяется вентилятор 12 (модель TORNADO канального типа), предназначенный для установки в системах круглых каналов. Технические характеристики вентилятора: мощность 70 Вт, производительность 420 м³/час, скорость вращения 2450 об/мин, давление 310 Па. В качестве всасывающего вентилятора применяется вентилятор (модель TORNADO канального типа), предназначенный для установки в системах круглых каналов. Технические характеристики вентилятора: мощность 70 Вт, производительность 420 м³/час, скорость вращения 2450 об/мин, давление 310 Па.

Предложенная ГНС работает в четырех режимах:

а) режим вентиляции теплицы атмосферным приточным воздухом: атмосферный воздух 11 всасывается с помощью вентилятора 12 и проходя через вентиль 13 (вентиль 10 закрыт) и расходомер 15 направляется через вентили 31 (вентили 35 и 30 закрыты) и вентилятор 32 в эжектор 33, после этого приточный атмосферный воздуха подается внутрь теплицы.

б) режим охлаждения (режим снятия перегрева) теплицы увлажненным приточным воздухом для снятия перегрева: атмосферный воздух 11 всасывается с помощью вентилятора 12 и проходя через вентили 13 (вентиль 10 закрыт) и расходомер 15 направляется через вентили 35 и 23 (вентили 31 и 22 закрыты) в тарельчатый контактный теплообменник. Одновременно в контактный теплообменник подается холодная вода. Вода, поступающая на орошения, накапливается в резервуаре 3 из сети водопровода 1, затем с помощью циркуляционного насоса 5 через расходомер 6 и вентиль 7 (вентили 8 и 21 закрыты) направляется в контактный теплообменник 26. Вода, подаваемая сверху, распыляется на мелкие капли с помощью брызгалки 29, работающей под давлением 1-2 атм. При этом факелы распыла должны перекрывать все поперечное сечение контактного теплообменника. Некоторая часть не смешанной воды с приточным воздухом стекает самотеком через вентиль 4 в ниже установленный резервуар 3, оттуда с помощью циркуляционного насоса 5 через расходомер 6 и вентиль 8 (вентиль 7 закрыт) подается в СК 9 и цикл повторяется. Поток приточного воздуха со скоростью 0,5-1 м/с, как правило, направляется противоточно по отношению к каплям, снизу-вверх. Потоков воды и воздуха контактируют, после смешения получается увлажненный приточный воздух, который засасывается вентиляторами в охладитель 32, где охлаждается в адиабатическом процессе; охлажденная смесь воздуха поступает в эжектор 33 и сочетается с интенсивным тепло- и массообменным процессом между воздухом и водой. Далее охлажденной воздух поступает внутрь и поддерживает требуемый влажностный режим теплицы;

в) режим солнечного нагрева приточного атмосферного воздуха для поддержания температуры в теплице: атмосферный воздух 11 всасывается с помощью вентилятора 12 и, проходя через вентиль 10 (вентиль 13 закрыт) и расходомер 14, направляется в воздушную трубку СК, где нагревается до температуры 36-40°C и попадает через воздуховод и вентили 22, 35 и 31 (вентиль 23 закрыт) с помощью вентилятор 32 поступает в теплицу, поддерживая температурный режим;

г) режим увлажнения слабо нагретого приточного воздуха:

- воздушный контур: атмосферный воздух 11 всасывается с помощью вентилятора 12 и проходя через вентиль 10 (вентиль 13 закрыт) и расходомер 14 направляется в воздушную трубку СК, где нагревается до

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

температуры 36-40°C и попадает через воздуховод и вентили 22 и 23 (вентиль 35 закрыт) в тарельчатый контактный теплообменник 26;

- водяной контур: холодная вода 1, поступающая через вентиль 2 из сети водопровода, предварительно смешивается со слабо нагретой водой стекающей самотеком из насадочного скруббера 26 в резервуар 3, и имеет температуру 28-30°C, после установления необходимого уровня воды в резервуаре циркуляционный насос 5 включается в работу. Вода через расходомер 6 и вентиль 8 (вентиль 7 закрыт) направляется в водяную трубку солнечного коллектора (СК) 9, где нагревается до температуры 40-45°C. При достаточной солнечной радиации подогретая вода в СК 9 распределяется на два потока 5, необходимые расходы потока воды регулируются с помощью вентилей 19 и 21. Один поток воды через вентиль 21 поступает в контактный теплообменник 26, другой поток воды через вентиль 19 направляется в качестве горячей воды для подпочвенного обогрева и полива теплицы. При слабой солнечной радиации весь поток воды направляется в контактный теплообменник 26. Нагретая вода, подаваемая сверху, распыляется на мелкие капли с помощью брызгалки 29 работающей под давлением 1-2 атм. При этом в факеле распыла должно перекрываться все поперечное сечение контактного теплообменника. Одновременно поток приточного воздуха со скоростью 0,5-1 м/с, как правило, направляется противоточно по отношению к каплям в направлений снизу-вверх. После увлажнения некоторая часть не смешанной воды с приточным воздухом стекает самотеком через вентиль 4 в ниже установленный резервуар 3, оттуда, с помощью циркуляционного насоса 5, через расходомер 6 и вентиль 8 (вентиль 7 закрыт) подается в СК 9 и цикл повторяется. Полученный слабо нагретый увлажненный воздух всасывается через вентиль 30 (вентиль 31 закрыт) с помощью вентилятора 32. Полученная водовоздушная смесь с относительной влажностью от 80 до 96% при температуре окружающей среды от -10 до +40°C направляется в гелиотеплицу для поддержания требуемой внутренней температуры.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные исследования по воде проводились в следующем диапазоне основных параметров:

а) ламинарный режим:

расход воды $G_1 = 0,83 \dots 6,06 \cdot 10^{-4}$ кг/с, скорость воды $w_1 = 0,23 \dots 1,66$ м/с, температура воды на входе $t_b = 20 \dots 40$ °C, температура стенки $t_{ст} = 20 \dots 45$ °C, число Рейнольдса $Re = 300 \dots 2200$.

Экспериментальные данные по коэффициенту гидравлического сопротивления при ламинарном режиме течения воды в гладких трубах представлена в виде графика $\xi = f(Re)$ (рис.3-5).

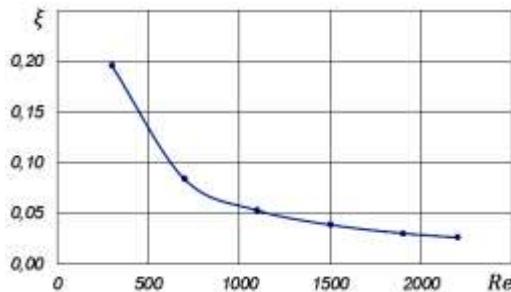


Рис.3. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при изотермическом ламинарном режиме течения воды

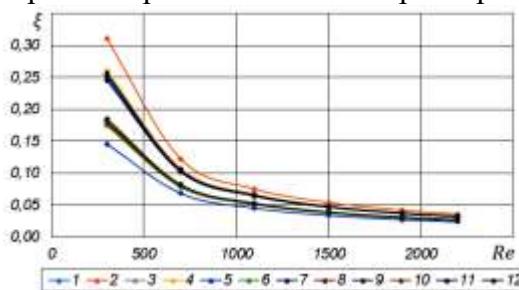


Рис. 4. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при вязкостном ламинарном режиме течения воды:
 1- $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$ и $t_b = 25^\circ\text{C}$; 2- $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$ и $t_b = 30^\circ\text{C}$; 3- $t_{ct} = 25^\circ\text{C}$ и $t_b = 20^\circ\text{C}$;
 4- $t_{ct} = 25^\circ\text{C}$ и $t_b = 30^\circ\text{C}$; 5- $t_{ct} = 30^\circ\text{C}$ и $t_b = 20^\circ\text{C}$; 6- $t_{ct} = 30^\circ\text{C}$ и $t_b = 25^\circ\text{C}$;
 7- $t_{ct} = 30^\circ\text{C}$ и $t_b = 35^\circ\text{C}$; 8- $t_{ct} = 35^\circ\text{C}$ и $t_b = 30^\circ\text{C}$; 9- $t_{ct} = 35^\circ\text{C}$ и $t_b = 40^\circ\text{C}$;
 10- $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$ и $t_b = 35^\circ\text{C}$; 11- $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$ и $t_b = 45^\circ\text{C}$; 12- $t_{ct} = 45^\circ\text{C}$ и $t_b = 40^\circ\text{C}$.

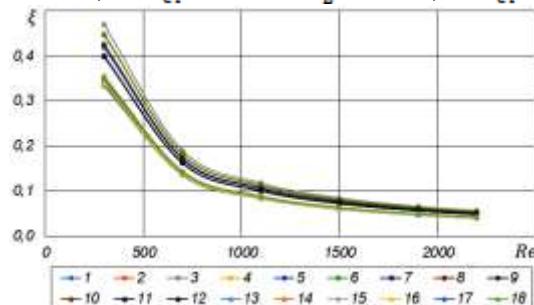


Рис. 5. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при вязкостно-гравитационном ламинарном режиме течения воды:

1- $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$ и $t_b = 35^\circ\text{C}$; 2- $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$ и $t_b = 40^\circ\text{C}$; 3- $t_{ct} = 20^\circ\text{C}$ и $t_b = 45^\circ\text{C}$;
 4- $t_{ct} = 25^\circ\text{C}$ и $t_b = 35^\circ\text{C}$; 5- $t_{ct} = 25^\circ\text{C}$ и $t_b = 40^\circ\text{C}$; 6- $t_{ct} = 25^\circ\text{C}$ и $t_b = 45^\circ\text{C}$;
 7- $t_{ct} = 30^\circ\text{C}$ и $t_b = 40^\circ\text{C}$; 8- $t_{ct} = 30^\circ\text{C}$ и $t_b = 45^\circ\text{C}$; 9- $t_{ct} = 35^\circ\text{C}$ и $t_b = 20^\circ\text{C}$;
 10- $t_{ct} = 35^\circ\text{C}$ и $t_b = 25^\circ\text{C}$; 11- $t_{ct} = 35^\circ\text{C}$ и $t_b = 45^\circ\text{C}$; 12- $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$ и $t_b = 20^\circ\text{C}$;
 13- $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$ и $t_b = 25^\circ\text{C}$; 14- $t_{ct} = 40^\circ\text{C}$ и $t_b = 30^\circ\text{C}$; 15- $t_{ct} = 45^\circ\text{C}$ и $t_b = 20^\circ\text{C}$;
 16- $t_{ct} = 45^\circ\text{C}$ и $t_b = 25^\circ\text{C}$; 17- $t_{ct} = 45^\circ\text{C}$ и $t_b = 30^\circ\text{C}$; 18- $t_{ct} = 45^\circ\text{C}$ и $t_b = 35^\circ\text{C}$.

В результате обработки данных экспериментального исследования получены следующие эмпирические уравнения по определению гидравлического сопротивления в гладкой трубе:

при изотермическом течении коэффициент сопротивления трения:

$$\xi = \frac{61,03}{Re^{1,01}}; \quad (1)$$

при вязкостном ($GrPr < 8 \cdot 10^5$) неизотермическом течении жидкости в трубах коэффициент сопротивления трения можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$\xi = \frac{66,83}{Re} \left(\frac{\mu_{ct}}{\mu_b} \right)^{1,16}; \quad (2)$$

при вязко-гравитационном ($GrPr > 8 \cdot 10^5$) неизотермическом течении жидкости в трубах коэффициент сопротивления трения можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$\xi = \frac{0,471}{Re_b^{0,641}} \left(\frac{Pr_{ct}}{Pr_b} \right)^{0,408} \left(\frac{Gr_b Pr_b}{Re_b} \right)^{0,319}. \quad (3)$$

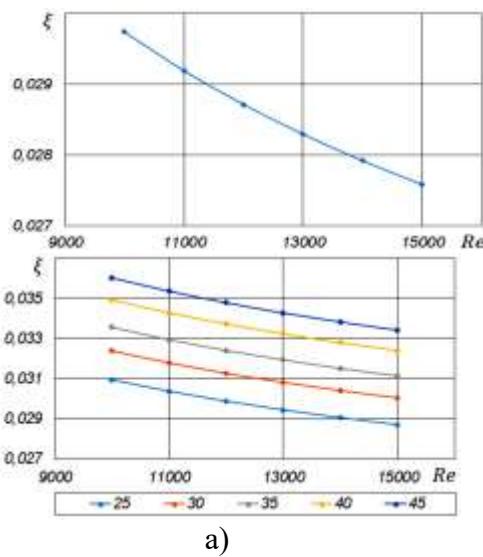
Формулы (1)-(3) справедливы при $300 < Re < 2200$; $t_{ct} = 20 \dots 45^\circ\text{C}$; $t_b = 20 \dots 40^\circ\text{C}$; $0,95 < \mu_{ct}/\mu_b < 1,07$.

Результаты расчетов по эмпирическим формулам (1)-(3) сравнены с результатами известных формул в [14,15,16,17,19] и погрешность вычислений составила $\pm 6\%$;

б) турбулентный режим:

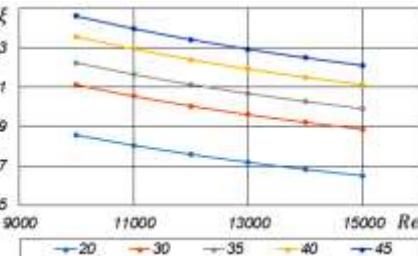
расход воды $G_1 = 0,107 \dots 0,16 \text{ кг/с}$, скорость воды $w_1 = 0,6 \dots 0,9 \text{ м/с}$, температура воды на входе $t_b = 20 \dots 45^\circ\text{C}$, температура стенки $t_{ct} = 20 \dots 45^\circ\text{C}$, число Рейнольдса $Re = 10000 \dots 15000$.

Экспериментальные данные по коэффициенту гидравлического сопротивления при турбулентном режиме течения воды в гладких трубах представлена в виде графика $\xi = f(Re)$ (рис. 6 и 7).



a)

Рис. 6. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при изотермическом турбулентном режиме течения воды:



б)

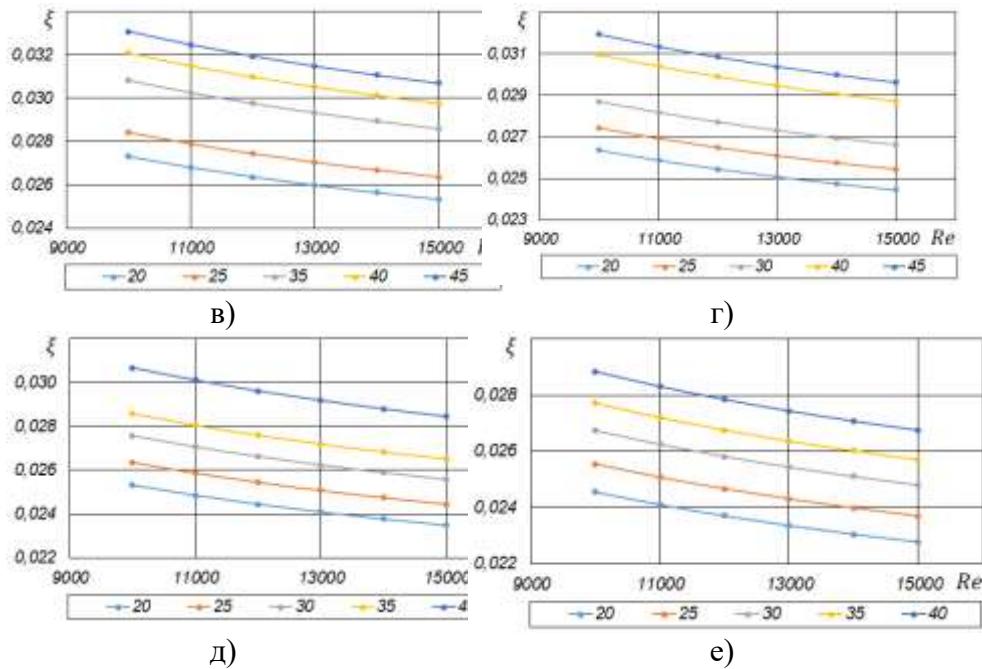


Рис. 7. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при неизотермическом турбулентном режиме течения воды: а- $t_{ct} = 20^{\circ}\text{C}$; б- $t_{ct} = 25^{\circ}\text{C}$; в- $t_{ct} = 30^{\circ}\text{C}$; г- $t_{ct} = 35^{\circ}\text{C}$; д- $t_{ct} = 40^{\circ}\text{C}$; е- $t_{ct} = 45^{\circ}\text{C}$

В результате обработки данных экспериментального исследования получены следующие эмпирические уравнения по определению гидравлического сопротивления в гладкой трубе:

при изотермическом течении коэффициент сопротивления трения:

$$\xi = \frac{0,164}{Re_B^{0,185}}; \quad (4)$$

при неизотермическом турбулентном течении жидкости в трубах коэффициент сопротивления трения можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$\xi = \frac{0,204}{Re_B^{0,207}} \left(\frac{Pr_{ct}}{Pr_B} \right)^{0,33}. \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) справедлива при $10000 < Re < 15000$; $t_{ct} = 20 \dots 45^{\circ}\text{C}$; $t_B = 20 \dots 45^{\circ}\text{C}$; $3,925 < Pr_{ct}/Pr_B < 7,02$.

Результаты расчетов по эмпирическим формулам (4) и (5) сравнены с результатами известных формул в [19] и погрешность вычислений составила $\pm 5\%$.

Выводы. Результаты проведенных экспериментальных исследований в гладкой трубе КСВВК при ламинарном и турбулентном режиме течения воды показывает, что температура воды существенно влияет на ко-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

эффективность гидравлического сопротивления. С повышением температуры воды повышается коэффициент гидравлического сопротивления.

На основе обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости по определению коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном и турбулентном режимах течения воды в трубах КСВВК. Полученные эмпирические зависимости с достаточной точностью совпадают с расчетами по известной формуле. Отклонение опытных данных по гидравлическому сопротивлению в гладкой трубе от известной зависимости ламинарном режиме течения составляет $\pm 6\%$, при турбулентном режиме течения $\pm 5\%$. Данное отклонение обусловливается тепловыми потерями в окружающую среду. Таким образом, полученные эмпирические уравнения можно использовать для оценки теплогидравлической эффективности комбинированных солнечных коллекторов при различных режимах движения теплоносителей.

Литература

1. Аллаев К.Р. Энергетика нуждается в стратегии.// Экономическое обозрение, №6(222), 2018. -С. 40-47.
2. Пенджиев А.М. Термический режим в комбинированных культивационных сооружениях.// Гелиотехника, №2, 2018. -С.47-58.
3. A.I. Kapralov. Water accumulator of solar energy. //ProblemeleEnergeticiiRegionale. - №3 (11). 2009. –С. 39-46.
4. Brinkworth, B. Reference area for solar collectors. //Solar Energy. – 1996. – vol. 56, №4. – p.373.
5. H. Dehra. Solar Energy Absorbers. //Solar collectors and Applications. – Sciyo, 2010. – P. 111-134.
6. P.S. Koronakis. On the choice of the angle of tilt for south facing solar collectors in the Anhens basin area //Solar Energy. – 1986. – vol. 36, №3.-P. 217-225.
7. N. R. Avezova, F. Kasimov, Sh. Niyazov. Experimental investigation of thermal performance and heat efficiency of solar absorption capacious water heating collectors manufactured using local materials. //Applied Solar Energy. – oktober 2010. – Vol. 46, Issue4, PP. 263-265.
8. Кравченко В.П., Кравченко Е.В. Оптимизация площади плоских солнечных коллекторов для систем горячего водоснабжения. //Технологический аудит и резервы производства. №1 (21), 2015.
9. Фрид С.Е., Арсатов А.В., Ощепков М.Ю. Технические решения для производства солнечных водонагревательных установок из полимерных композиционных материалов.//Теплоэнергетика, 2016, №6. –С.19-24.
10. Захидов Р.А., Анабаев А.И., Мухтаров Ф.Х. Совершенствование разработок в области конденсационных систем испарительного охлаждения.

- ждения с учетом климатических условий Узбекистана. //Энергетик, 2016, -№2. – С.16-21.
11. Бабаев Б.Д. Аккумуляторы тепла при использовании возобновляемых источников энергии. //Энергетик, 2016, -№3. –С.21-25.
12. Аргументация необходимости увлажнения воздуха и оценка дефицита влаги. //Технический бюллетень. 2003. -№3. –С.2-5.
13. Узаков Г.Н., Алиярова Л.А., Ибрагимов У.Х., Тошмаматов Б.М. Исследование комбинированного водовоздушного солнечного коллектора при ламинарном гидродинамическом режиме // Альтернативная энергетика. 2021. -№1 (01). -С. 38-45.
14. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. 270 с.
15. Кудинов В.А. Техническая термодинамика. Учеб. пособие для вузов – М.: Высш.шк., 2003. –261 с.
16. Луканин В.Н. Теплотехника. – М.: Высш.шк., 2003. – 671 с.
17. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш.шк., 1975. – 496 с.
18. Богданов С.Н., Бучко Н.А., Гуйго Э.И., Теоретические основы хладотехники. Тепломассообмен. /Под. ред. Э.И.Гуйго. – М.: Агропромиздат, 1986. – 320 с.
19. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. – Киев: Наук. думка, 1979. -352 с.
20. Aliyarova L.A., Uzakov G.N., Toshmamatov B.M. The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air. // ESDCA 2021 IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (2021) 052002. DOI:10.1088/1755-1315/723/5/052002. (www.scopus.com).

*Представлен Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

**РЕМАСШТАБИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Н.А. Маликова, А.Ф. Жамилов

Geologik modellashtirish – bu ob'ektning geologik tuzilishi, uning geometriyasi, stratigrafiyasi, qatlamning litologik va yuz xususiyatlari, ularning samarali qalnligi va rezervuar xususiyatlarining o'zgarishi - hudud va bo'lim bo'yicha g'ovaklik va o'tkazuvchanlik, alohida qatlamlarning gaz va neft to'yinganligi, gidrogeologik xususiyatlar, neft va gaz zaxiralalarining qiymati. Hozirgi vaqtida uglevodorod konlarini ishlab chiqishda gidrodinamik modellardan foydalanish ularning zaxiralarni minimal iqtisodiy xarajatlarda to'liq qazib olishning sharti bo'lib, ishlab chiqarish jarayonining ajralmas qismiga aylandi, bu esa 3D geologik modellashtirish malakasiga ega bo'lgan mutaxassislarga bo'lgan talabni oshiradi. Konlarning statik geologik modellari uglevodorod zahiralarini hisoblash uchun asos hisoblanadi. Gidrodinamik modellar konlarni ishlab chiqish va uglevodorodlarni qazib olishni boshqarish va loyihalash uchun asos hisoblanadi. Geologik model (GM) bevosita, bilvosita va priori axborot asosida quriladi. Rezervuar tuzilishi va xususiyatlari haqida to'g'ridan-to'g'ri ma'lumot faqat qatlamning ahamiyatsiz kichik qismini qoplaydigan ma'lumotlar (birinchi navbatda asosiy tadqiqotlar) bilan olinishi mumkin. Shunga ko'ra, qatlamning qolgan qismi sedimentologik tahlil natijalarini sedimentatsiya atrof-muhit haqida taxminlarga qurilgan bo'lishi mumkin shuningdek, masofaviy tadqiqot usullari (seysmik atributlar va boshqalar) orqali olingan bilvosita ma'lumotlarga asoslangan bo'lishi mumkin. Geologik modellashtirishning zamonaviy usullari qatlamning tuzilishi va xususiyatlari haqida malumot yetishmasligi tufayli noaniqlik modelini baholash va hisobga olish imkonini beradi. Geostatistika usullari geologik modellarning noaniqliklarini baxolash uchun qo'llaniladi. Modellarni qurish va ulardan amaliy foydalanish tadqiqotning barcha bosqichlarida, neft va gaz konlarini razvedka qilish va qidirish jarayonidan qoldiq zaxiralarni ishlab chiqishgacha zarurdir. Shu bilan birga model ob'ektning geologik va texnologik bilimlarini integratsiyalash vazifasini ham bajaradi. Geologik modelga turli xaritalar, korrelyatsion sxemalar, filtrlovchi qatlam xossalaringa taqsimlanish kublari va boshqalar kiradi. Maqolada konning rivojlanishining asosiy ko'rsatkichlarini proqnoz qilish uchun hisob-kitob vaqtini kamaytirish uchun karbonat konlarini qazib olish misolida geologik modelni qayta o'lchamlarini ko'rib chiqamiz.

Геологическое моделирование – это способ представления о геологическом строении объекта, его геометрии, стратиграфии, литолого-фациальной характеристике пластов-коллекторов, об изменении их эффективных толщин и коллекторских свойств – пористости и проницаемости по площади и разрезу, газонефтенасыщенности отдельных пропластков, гидрогеологической характеристике, величине запасов нефти и газа. В настоящее время использование гидродинамических моделей при разработке месторождений углеводородов является обязательным условием для полного извлечения их запасов при минимальных экономических затратах и стало неотъемлемой частью производственного процесса, в связи с чем растет спрос на специалистов, обладающих навыками трёхмерного геологического моделирования. Статические геологические модели месторождений являются основой для подсчета запасов углеводородов. Гидродинамические модели в являются основой проектирования и управления разработкой залежей и месторождений и обоснования коэффициентов извлечения углеводородов. Геологическая модель (ГМ) строится на основе прямой, косвенной и априорной информации. Прямую информацию о строении и свойствах пласта можно получить только по скважинным данным (в первую очередь при исследовании керна), которые охватывают незначительно малую часть залежи. Соответственно представление об остальной части месторождения может быть построено только на предположениях об обстановке осадконакопления по результатам седиментологического анализа керна, а также набора косвенных данных полученных за счет дистанционных методов исследований (сейсмические атрибуты и др.). Современные методы геологического моделирования позволяют оценить и учесть в модели неопределенности, обусловленные недостатком знаний о строении и свойствах пласта. При оценке неопределённостей геологических моделей используются методы геостатистики. Построение и практическое использование моделей необходимо на всех стадиях изучения, начиная от процесса поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений и заканчивая выработкой остаточных запасов. При этом модель выполняет функцию интеграции геологических и технологических знаний об объекте. Геологическая модель включает в себя различные карты, схемы корреляции, кубы распределения ФЕС и др. В статье рассмотрен вариант ремасштабирования геологической модели на примере залежи карбонатных отложений для уменьшения расчетного времени для прогнозирования основных показателей разработки месторождения.

Geological modeling is a way to represent the geological structure of the object, its geometry, stratigraphy, lithological and facial characteristics of reservoirs, changes in their effective thicknesses and reservoir properties -

porosity and permeability over the area and section, gas and oil saturation of individual layers, hydrogeological characteristics, the value of oil and gas reserves. Currently, the use of hydrodynamic models in the development of hydrocarbon fields is a prerequisite for the full extraction of their reserves at minimum economic costs and has become an integral part of the production process, which increases the demand for specialists with the skills of 3D geological modeling. Static geological models of fields are the basis for calculating hydrocarbon reserves. Hydrodynamic models are the basis for design and management of reservoir and field development and justification of hydrocarbon recovery factors. Geological model (GM) is built on the basis of direct, indirect and a priori information. Direct information about reservoir structure and properties can be obtained only by well data (first of all by core studies), which cover insignificantly small part of the deposit. Accordingly, an idea of the rest of the deposit can be built only on the assumptions about the sedimentation environment by the results of sedimentological analysis of the core, as well as a set of indirect data obtained through remote methods of research (seismic attributes, etc.). Modern methods of geological modeling allow to estimate and take into account in the model the uncertainties due to the lack of knowledge about the structure and properties of the reservoir. Geostatistics methods are used to estimate the uncertainties of geological models. The construction and practical use of models is necessary at all stages of the study, from the process of prospecting and exploration of oil and gas fields to the development of residual reserves. At the same time the model performs the function of integration of geological and technological knowledge of the object. The geological model includes various maps, correlation schemes, cubes of distribution of filtration reservoir properties, etc. The article considers the option of rescaling the geological model on the example of a deposit of carbonate deposits to reduce the estimated time for predicting the main indicators of the development of the field.

Одним из основных условий эффективной разработки месторождений углеводородов (УВ) является применение геологического и гидродинамического 3D моделей (ГДМ), позволяющая определить способы наиболее полного извлечения УВ из недр. При этом, геологическая модель месторождения должна отобразить в полной мере литолого-стратиграфическое строение месторождения, а также емкостные свойства залежи. Полнота отображения модели обусловливается шагом сетки. На размерность сетки влияет плотность сетки скважин на месторождении. Однако, в связи с значительными ограничениями по времени и вычислительным ресурсам, для гидродинамических расчетов на основе геологической модели необходимо провести осреднение геологических свойств залежи. Упрощение геометрического строения, происходящее при переходе от геологической модели к фильтрационной газодинамической мо-

дели, обусловлено необходимостью проводить расчеты за время, предлагающее принятие оперативных решений. В данной статье рассмотрена методика ремасштабирования геологической модели для создания цифровой 3D фильтрационной модели.

Газоконденсатное месторождение (ГКМ) «Зеварды» расположено на территории Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. В геологическом строении района ГКМ Зеварды принимают участие дислоцированные магматические и интенсивно метаморфизованные осадочные породы фундамента дотриасового возраста и осадочного чехла. Наиболее распространенной группой пород в разрезе средней (терригенной) юры (J_t) отложений имеют место глинистые породы, среди которых присутствуют глины и аргиллиты. Залежь представлена массивными высокопористыми рифогенными известняками. Характерной особенностью карбонатных пород являются высокая пористость и кавернозность, развитая как по разрезу, так и по площади.

Создание сетки геологической модели осуществлялось с учетом всех особенностей строения месторождения Зеварды. Горизонтальный размер ячеек подбирался так, чтобы между забоями соседних скважин было не менее 3-5 ячеек. Среднее расстояние между скважинами составляет 250 м, поэтому размерность сетки была принята 50 x 50, что отвечает требованиям указанного выше РД [1-6].

Вертикальное расчленение производилось для каждой отдельной пачки горизонта. Количество слоев подбиралось таким образом, чтобы учитывалась толщина минимального пропластка коллекторов в данном горизонте. В большинстве пластов вертикальный размер ячеек составил примерно 0,4 м. Для всех горизонтов было выбрано пропорциональное разделение продуктивной толщи на параллельные пропластки, где их толщина изменяется в соответствии с мощностью зоны [7-9].

Для построения фациально-литологической модели на основе результатов интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) была получена дискретная кривая Net to Gross (NTG), затем было сделано осреднение (ремасштабирование) дискретной кривой NTG на трёхмерную сетку. Исходной информацией для построения модели фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) послужили результаты обработки материалов ГИС, принятые по подсчёту и пересчету запасов УВ, а также по новым эксплуатационным скважинам [10-16].

Распределение ФЕС пластов производилось с помощью стохастического метода Gaussian Random Function Simulation [17-18].

Общее количество ячеек в геологической модели составляет свыше 49 млн. Хранение параметров и расчет состояний такого количества ячеек в каждый момент времени требуют существенных компьютерных мощностей. Кроме того, настройка на историю и последующий прогноз тех-

нологических показателей, как правило, требует большого числа пересчетов модели. Для экономии как вычислительных, так и временных ресурсов на расчет модели, было принято решение о переносе свойств исходной геологической сетки на укрупненную сетку гидродинамической модели.

Для укрупнения сетки по латерали необходимо подобрать для газодинамической модели такой горизонтальный размер ячеек, который позволил бы максимально точно перенести строение пластов и их фильтрационно-емкостные свойства. Было решено использовать исходный размер ячеек 100×100 м, согласно рекомендациям регламента (не менее 3 ячеек между скважинами), а также удовлетворяющий скорости счета. При увеличении размеров ячеек, исходное геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства переносится неточно, что является неприемлемым для настройки адаптации и расчетов технологических вариантов [19].

Далее выполняется укрупнение сетки по вертикали. Исходная геологическая модель, насчитывающая несколько миллионов ячеек, подвергается послойному анализу доли коллекторов (NTG) для определения минимально необходимого числа слоев ГДМ по вертикали. При этом оценивается степень изменчивости параметров ГМ по вертикали, различным зонам и залежам пластов; степень выдержанности глинистых пермычек и характер расчлененности пластов [20].

Таким образом была отстроена гидродинамическая сетка, имеющая размерность $95 \times 124 \times 420$ и содержащая 4 947 600 ячеек. Размеры ячеек исходной и укрупненной сетки представлены в табл.1.

Все основные параметры (литология, пористость, насыщенность) на новую сетку ремасштабировались путем арифметического осреднения. Параметр литологии при ремасштабировании взвешивался по общему объему, параметр пористости - по объему коллекторов, параметр газонасыщенности - по поровому объему коллекторов.

После переноса параметров на укрупненную сетку, полученная модель была сопоставлена с исходной. С целью контроля качества переноса литологии, с использованием построений на рис.1-2 были сопоставлены геолого-статистические разрезы из исходной геологической модели с разрезами из полученной фильтрационной модели. Как видно из этих рисунков, параметр литологии перенесен на укрупненную сетку корректно.

Также были сопоставлены гистограммы распределения фильтрационно-емкостных параметров геологической и газогидродинамической моделей. В результате ремасштабирования характер распределения значений каждого параметра по ГДМ в целом сохранился, что свидетельствует о корректности проведенной процедуры.

Таблица 1

Сравнение параметров сеток ГМ и ГДМ месторождения Зеварды

Горизонт	Количество ячеек, $i^xj^yk^z$		Всего ячеек, тыс.		Всего активных ячеек	
	ГМ	ГДМ	ГМ	ГДМ	ГМ	ГДМ
XV-НР	190 × 248 × 369	95 × 124 × 185	4346	2179	391713	194882
XV-Р	190 × 248 × 289	95 × 124 × 145	3404	1708	1411077	691041
XV-ПР	190 × 248 × 301	95 × 124 × 74	3545	871	347207	94245
XV-а1	190 × 248 × 95	95 × 124 × 16	1119	188	122769	19176

Таким образом, фильтрационная модель сохранила основные элементы неоднородности, воспроизведенные в процессе геологического моделирования.

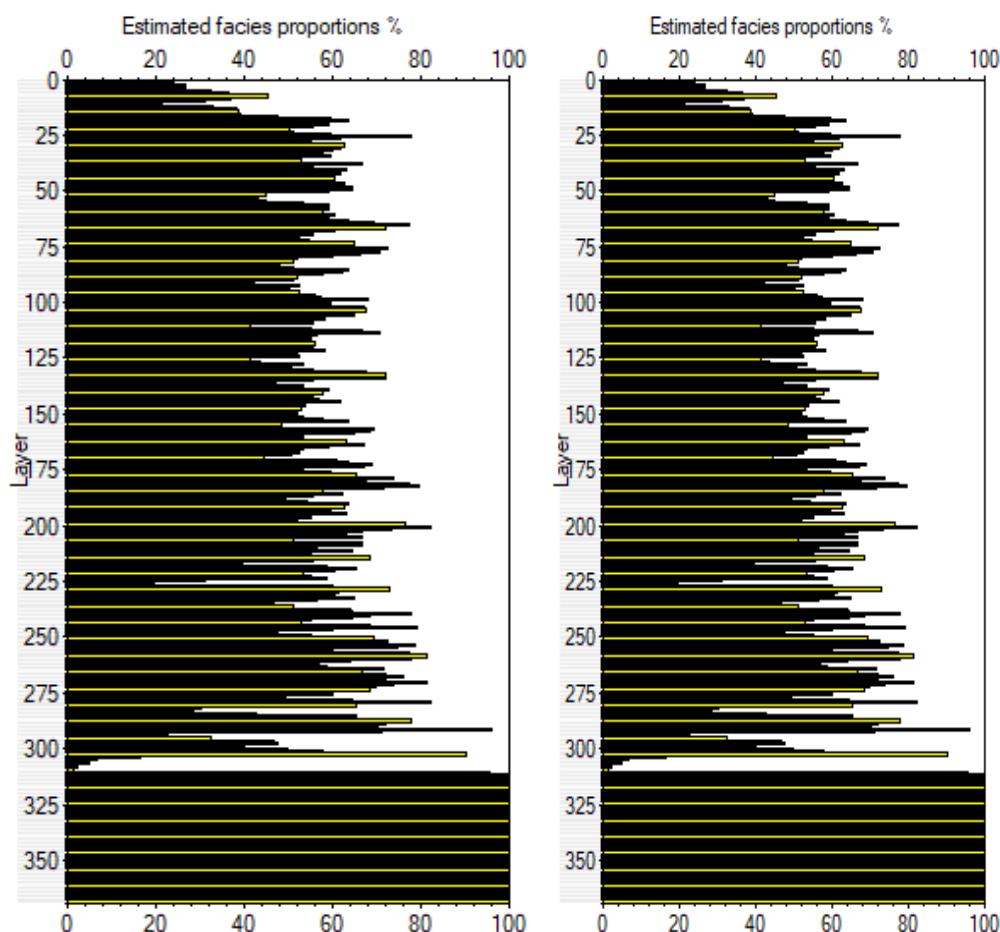


Рис.1. Геолого-статистические разрезы по кубу литологии для горизонта XV-НР ГКМ Зеварды

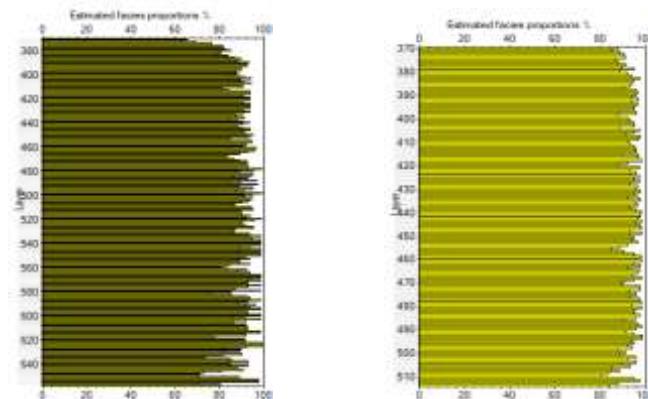


Рис.2. Геолого-статистические разрезы по кубу литологии для горизонта XV-P ГКМ Зеварды

Заключение. 1. Ремасштабирование геологических моделей залежей юрских отложений для построения ГДМ является эффективным и допустимым способом уменьшения времени расчетов при относительно высокой плотности скважин на месторождении и значительных значений эффективных толщин горизонтов.

2. Один из эффективных способов контроля корректности ремасштабирования геологической модели является сопоставление геолого-статистический разрез (ГСР) параметра песчанистости NTG.

3. Проверку достоверности ремасштабирования можно также осуществить путем сравнения гистограмм распределения фильтрационно-емкостных параметров, итоговых газонасыщенных поровых объемов по пластам в геологическом и гидродинамическом моделях.

Литература

1. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений РН 39.0-105:2012.
2. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. РД 153-39.0-047-00 – М.: Минтопэнерго, 2000. – 130 с.
3. Методические рекомендации по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений: приказ МПР РФ от 21.03.2007 №61// - 2007. - №61. – 24 с.
4. Абабков К.В., Сулейманов Д.Д., Султанов Ш.Х., Котенев Ю.А., Варламов Д.И. Основы трёхмерного цифрового геологического моделирования: Учебное пособие. – Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. – 199 с.
5. Закревский К.Е., Майсюк Д.М., Сыртланов В.Р. Оценка качества 3D моделей. – М.: ООО «ИПЦ Мaska». 2008.

6. Бадьянов В.А. Методы компьютерного моделирования в задачах нефтепромысловой геологии. – Тюмень. Шадринск: Изд-во «Шадринский Дом Печати», 2010 – 135 с.
7. Шванов В.Н. Песчаные породы и методы их изучения. – М.: Недра, 1969. – 248 с
8. Ханин А.А. Породы коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Мир, 1983. – 327с.
9. Ахияров А.В. Оценка неоднородности средне-верхнеюрских отложений Северо-Юрьевского месторождения по данным ГИС// Геофизика, №2, 1997. – С. 54-59.
10. Прошляков Б.К., Кузнецов В.Г. Литология и литолого-фациальный анализ. – М.: Недра, 1981. – 284с.
11. Санькова Н.В. Текстурные особенности диагностируемых по ГИС фаций ачимовских отложений //Естественные и технические науки. – 2011. – №6. – С. 267-269
12. Санькова Н.В., Мазуркевич В.В., Романов А.В. Применение фациального анализа для решения задач геологоразведки и подсчета запасов на примере месторождений северной части полуострова Ямал. // Науки о Земле. Современное состояние: Материалы II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. Геологический полигон «Ширия», Республика Хакасия, Россия. 31 июля – 7 августа 2014 г. /Новосиб. гос. ун-т.; Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – С. 124-126
13. Хэллем Э. Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 328 с.
14. Пэйтон М. Сейсмическая стратиграфия. – В 2-х т. – М.: Мир, 1982. – Т. 1, 2. – 846 с.
15. Нефтегазопромысловая геология. Терминологический справочник. /Под редакцией М. М. Ивановой. – М.: Недра.
16. Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988. – 679 с.
17. Дементьев Л.Ф. Математические методы и ЭВМ в нефтегазовой геологии. – М.: Недра. – 1983. – 189 с.
18. Глебов А.Ф. Геолого-математическое моделирование нефтяного резервуара: от сейсмики до геофлюидодинамики. – М.: Научный мир – 2006. – 344 с.
19. М-01.05.25–02 Методический документ. Создание цифровых гидродинамических моделей. — СПб.: ОАО «Газпром нефть», 2015.
20. Техническое описание Eclipse, Schlumberger, 2017.

Представлено АО “O’ZLITINEFTGAZ”,
Республика Узбекистан

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Б.У. Уришев, А.П. Умиров

Мақолада жаҳонда ва Ўзбекистон Республикасида гидроэнергетиканинг ривожланиши тенденциялари таҳлил қилинган, энергия ишилаб чиқарии жараёнида сув хўжалиги тизимларидаги гидротехник инишоотлардан фойдаланиши имкониятлари муҳокама қилинган, сув омборлари сув чиқарии (сув ташлаш) инишоотларининг энергетик ва сувнапор параметларини аниқлаш усули ва бу усул билан мазкур параметларни ҳисоблаш натижалари келтирилган, Ўзбекистон Республикасида янги гидроэлектр станцияларни қуришига сарфланадиган капитал харажатлар тўғрисида маълумотлар берилган, ушибу харажатларни ишилаб турган гидротехник инишоотлардан ГЭС таркибида фойдаланиши ҳисобига камайтириши имкониятлари, ҳамда уларнинг иқтисодий самарадорлиги заарли чиқиндиларни чиқариини камайтириши бўйича сарфланадиган экологик харажатларнинг қисқарииши ҳисобига ошиши кўрсатилган, Талимаржон сув омборидаги ГЭС қурилишида қўлланиши мумкин бўлган гидротурбина жиҳозларининг варианtlари таклиф қилинган.

В статье проанализированы тенденции развития гидроэнергетики в мире и Республике Узбекистан, обсуждены возможности использования существующих гидротехнических сооружений водохозяйственных систем в процессе энергопроизводства, приведен метод определения напорно-расходных и энергетических параметров водовыпускных (водобросных) сооружений водохранилищ и результаты расчетов данных параметров с использованием предложенного метода, приведены сведения по размерам капитальных вложений в строительство новых гидроэлектрических станций в Республике Узбекистан, показаны возможности снижения капитальных вложений при использовании существующих гидротехнических сооружений при строительстве новых ГЭС, а также повышения их экономических показателей при учете экологических затрат, связанных со снижением вредных выбросов, предложены возможные варианты использования гидротурбинного оборудования при строительстве ГЭС в Талимарджанском водохранилище.

The article analyzes the trends in the development of hydropower in the world and the Republic of Uzbekistan, discusses the possibilities of using

existing hydraulic structures of water management systems in the process of energy production, provides a method for determining the pressure-discharge and energy parameters of water-discharge (spillway) structures of reservoirs and the results of calculating these parameters using the proposed method, information on the amount of capital investments in the construction of new hydroelectric stations in the Republic of Uzbekistan, the possibilities of reducing capital investments when using existing hydraulic structures in the construction of new hydroelectric power plants, as well as increasing their economic indicators, taking into account the environmental costs associated with the reduction of harmful emissions are shown, possible options for the use of hydro turbine equipment during the construction of a hydroelectric power station in the Talimarjan reservoir.

Введение. В сегодняшний день энергетическая отрасль Республики Узбекистан претерпевает значительные изменения, вызванные необходимостью обеспечения дальнейшего сбалансированного развития с учетом передового мирового опыта и современных тенденций развития мировой электроэнергетики [1]. В Концепции обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020 – 2030 годы предусматривается дальнейшее увеличение производства электроэнергии, доведя его годовой объем до 120,8 млрд. кВт·час в 2030 году, а для достижения данного уровня мощность гидроэнергетических объектов составит 3785 МВт, а объем вырабатываемой ими электрической энергии - 13,1 млрд. кВт·час, т.е. увеличивается более чем, в 2,0 раза [2].

Развитие гидроэнергетики в мире вызвано двумя основными причинами, первая из них связана с необходимостью производства «чистой» энергии, вторая обеспечение безопасности и надежности энергосистем с использованием гибкости и регулирующих возможностей гидроэнергетики [3,4,5].

В отчете «Net Zero by 2050» Международного энергетического агентства (МЭА), предполагается, что к 2050 году миру потребуется 2600 ГВт мощности гидроэнергетики, чтобы иметь шанс удерживать повышения глобальной температуры атмосферы ниже 1,5 градуса по Цельсию [6].

Специалисты МЭА считают, что гидроэнергетика станет доминирующим инструментом при обеспечении гибкости, аварийных резервных мощностей, быстрого регулирования режима работы энергосистем. К этому выводу они пришли на основании событий, когда в феврале 2021 года в энергосистеме Техаса возникло катастрофическое положение из-за нехватки высокоманевренных регулирующих мощностей (прежде всего, гидроэнергетических) и, наоборот, в январе 2021 года в Европе удалось

избежать коллапсов в энергоснабжении благодаря своевременному использованию быстродействующих гидроэнергетических мощностей [7].

В Программе мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017 – 2021 годы, утвержденной Постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 мая 2017 года в качестве приоритетных направлений определено «внедрение современных и всесторонне обоснованных научно-технических решений в области проектирования и строительства крупных, средних, малых и микрогидроэлектростанций и на этой основе увеличение доли гидроэнергетических мощностей в структуре энергетического баланса республики» [8].

В свете выполнения намеченных работ по данной Программе, ведутся работы не только по использованию мощностей естественных водотоков, а также по использованию гидроэнергетического потенциала действующих гидротехнических сооружений (водохранилищ, гидроузлов и др.). Известно, что при этом значительно снижаются капитальные затраты на строительство ГЭС, так как отпадает необходимость возведения их гидротехнической части [9,10]. Несмотря на то, что гидроэлектростанциям придется подстраиваться под режим работы гидротехнических сооружений, выработка энергии в них приводит к более полному и эффективному использованию потенциала водных ресурсов с выгодой для энергосистемы.

Данное направление в докладе World Small Hydropower Development Report 2019, подготовленным Организацией Объединенных Наций по промышленному развитию (UNIDO) и Международным центром малой гидроэнергетики (ICSHP) признано приоритетным, так как оно позволяет более полно использовать имеющиеся потенциалы [11].

Возможности использования водных ресурсов, предназначенных для потребления воды в энергетических целях, можем рассмотреть на примере Талимарджанского водохранилища, расположенного на юге Узбекистана (рис.1).

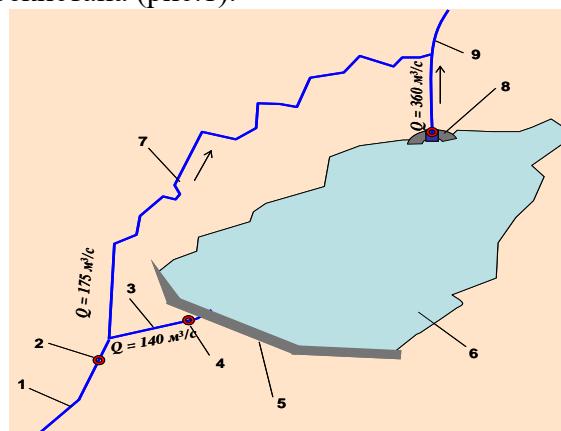


Рис.1. Схема Талимарджанского водохранилища: 1 – Каршинский магистральный канал (КМК); 2 – насосная станция № 6; 3 – подводящий канал; 4 – насосная станция № 7; 5 – плотина; 6 – водохранилище; 7 – обводной канал; 8 – водовыпускное сооружение; 9 – рабочая часть КМК

Талимарджанское водохранилище является объектом водохозяйственного назначения с сезонным режимом регулирования и имеет водовыпускное сооружение, пропускная способность которого регулируется диспетчерским управлением, в зависимости от графиков подачи воды для нужд водного хозяйства в регионе.

Проектный объем водохранилища составляет 1,5 млрд. м³, каждый год в нем в зависимости от водности года накапливается 1,1...1,3 млрд. м³ воды. Наиболее высокие значения мощности работы водовыпускного сооружения с максимальным расходом воды до 360 м³/с приходятся в вегетационный период, т.е. в летнее время в течение 3,5...4,0 месяца. При этом напор воды в водовыпусканом сооружении составляет: максимальный – 25 метров, рабочий – 10...20 метров.

Водовыпускное сооружение имеет 5 напорных железобетонных водоводов прямоугольного сечения каждый размерами 4x6 метров, длиной 240 метров. Для регулирования расхода воды сооружение снабжено двумя затворами, установленными в башенной шахте цилиндрической формы (рис. 2). Конструкция водовыпускного сооружения позволяет приспособливать его для установки низконапорных горизонтальных капсулевых гидротурбинных блоков в целях выработки электроэнергии в период выпуска воды из Талимарджанского водохранилища.

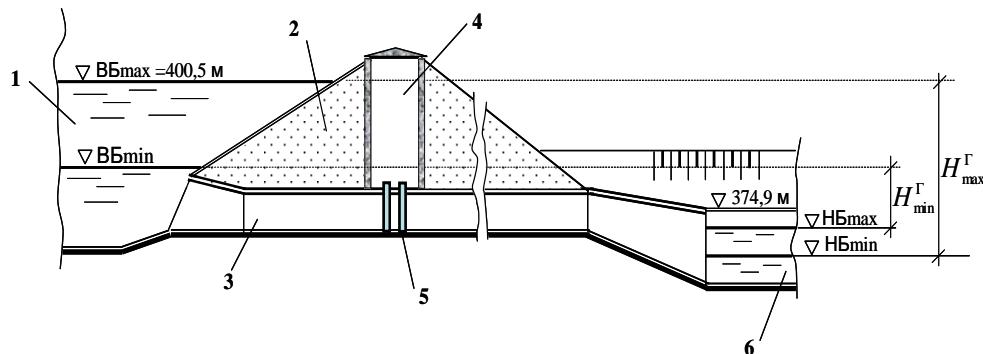


Рис. 2. Схема водовыпускного сооружения Талимарджанского водохранилища: 1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – водовод; 4 – затвор для регулирования расхода воды; 5 – водоотводящее сооружение

Методы и материалы. В данном случае математическую модель энергетической производительности водовыпускного сооружения можно сформулировать таким образом.

В течение времени от t_1 до t_2 , когда срабатывается объем водохранилища ΔV_B , соответствующий объему между отметками верхнего бьефа $B\bar{B}_{max}$ и $B\bar{B}_{min}$, количество вырабатываемой энергии определяется следующим выражением:

$$\mathcal{E} = \int_{t_1}^{t_2} N_{\text{ГЭС}}(t) dt. \quad (1)$$

При этом режим работы водовыпускного сооружения считаем устанавлившимся, т.е. он подчиняется работе по графику $\nabla BB=f(V_B)$, V_B - объем водохранилища. Кроме этого принимаются следующие допущения: потери расхода воды отсутствуют, потери напора $\Delta H=const$, КПД турбины $\eta^{mfp}=const$.

В этом случае мощность ГЭС в момент времени t можно определить по формуле:

$$N_{\text{ГЭС}}(t)=9,81 \cdot Q_{\text{ГЭС}}(t) \cdot H(t) \cdot \eta^{mfp}=K_1 \cdot Q_{\text{ГЭС}}(t) \cdot H(t). \quad (2)$$

где $K_1=9,81 \cdot \eta^{mfp}$, H – напор ГЭС.

Расход ГЭС зависит от времени подачи объема ΔV_B , и в связи с этим его можно определить так:

$$Q_{\text{ГЭС}}(t)=dV_B/dt. \quad (3)$$

Подставляя (3) и (2) в (1) получим:

$$\mathcal{E} = \int_{t_1}^{t_2} N_{\text{ГЭС}}(t) dt = K_1 \int_{t_1}^{t_2} dV_B H(t). \quad (4)$$

При этом напор ГЭС определяется по известной зависимости:

$$H(t)=H^r - \Delta H = \nabla BB(t) - \nabla HB(t) - \Delta H. \quad (5)$$

Обычно, когда водохранилище работает полностью в интересах водопотребителей, значение $Q_{\text{ГЭС}}(t) = Q_{BBC}(t)$ является заранее известной величиной и определяется графиком подачи воды из водовыпускного сооружения. В этих условиях величину мощности ГЭС в момент времени t можно определить по (2).

Таким образом, величина выработанной энергии ГЭС и ее мощность в момент времени t определяются в зависимости от значений $Q(t)$ и $H(t)$.

Результаты. Результаты расчетов по зависимости (4) показали, что при работе водовыпускного сооружения Талимарджанского водохранилища в режиме гидроэнергетического объекта с соблюдением графика подачи воды для водохозяйственных целей, объем выработки электроэнергии составляет 47,4 млн. кВт·часов при максимальной мощности ГЭС 50 МВт.

На предварительной стадии технико-экономического анализа проектов ГЭС очень важно иметь возможность определять их стоимость $K_{\text{ГЭС}}$

или ее называют объемом капитальных вложений в строительство объекта [12].

В процессе технико-экономического обоснования, проектирования и строительства стоимость объекта уточняется. Капитальные вложения в здание ГЭС при фиксированной мощности имеют тенденцию уменьшения при увеличении напора. Поэтому общие капитальные вложения в ГЭС, включая все составляющие, за исключением капитальных вложений в ЛЭП, можно определить с помощью формулы Гордона [13]:

$$K = 9,1 \cdot \theta \cdot \left(\frac{N_1}{H_1^{0,21}} \right)^{0,8}, \quad N_1 = \frac{N}{N_0}, \quad H_1 = \frac{H}{H_0}, \quad (6)$$

где K - капитальные вложения в ГЭС (млн. долл.), N - установленная мощность ГЭС (кВт), H - напор (м), N_1, H_1 - безразмерные параметры, $N_0 = 1000 \text{ кВт}$, $H_0 = 1 \text{ м}$ - базисные параметры, θ – коэффициент, учитывающий местные условия, $\theta = 0,3 - 1,0$.

Например, при мощности ГЭС $N=1000 \text{ кВт}$, напоре 20 м ее удельная стоимость по вышеприведенной формуле составляет от 1650...5500 \$/кВт.

По данным ежегодника IRENA Renewable Power Generation Costs in 2020 средневзвешенная удельная стоимость ГЭС в настоящее время в мире 1870 \$/кВт, и имеет в разных географических широтах разные значения, например, в Южной Америке 2029 \$/кВт, в Северной Америке 2 803 \$/кВт, в Европе от 1943 \$/кВт, в Китае 1314 \$/кВт, Индии 1373 \$/кВт [14].

В нашей республике в целевых параметрах Программы мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики [8], удельная стоимость инвестиционных проектов по строительству новых ГЭС на естественных водотоках и водохозяйственных объектах составляет в среднем 2330 \$/кВт, варьируясь в широких пределах от 1000 \$/кВт (Верхнепскемской ГЭС на реке Пскем) до 4300 \$/кВт (малая ГЭС на пикете 39 + 19 канала Даргом). Причем с увеличением мощности ГЭС уменьшается ее стоимость, например, при мощности ГЭС до 50 МВт их средняя удельная стоимость составляет 3150 \$/кВт, а при мощности выше 50 МВт она равна 2060 \$/кВт.

Для определения суммы капитальных вложений по ГЭС в случае использования гидротехнических сооружений водохозяйственных систем, необходимо вычитывать затраты на строительство водохранилища, плотины и других готовых сооружений. По расчётам американской фирмы «Allis-Chalmers» при наличии готовых гидротехнических сооружений капиталовложения в ГЭС снижаются на 30...50 % [15].

Капитальные вложения в строительство ГЭС на Талимарджанском водохранилище по формуле (6) при мощности ГЭС $N_{ГЭС} = 50 \text{ МВт}$, среднем напоре $H= 18 \text{ метров}$, коэффициенте $\theta = 0,5$, составляет $K_{ГЭС}= 64$

млн. \$, а с учетом использования готовых гидротехнических сооружений $K_{ГЭС}=32$ млн. \$.

Обсуждение. Результаты расчетов предварительных капитальных вложений в ГЭС на базе водовыпускного сооружения Талимарджанского водохранилища показали, что в данном случае удельная стоимость ГЭС снижается до 675 \$/кВт, и это позволяет считать, что данный проект может быть эффективным, несмотря на сезонность выработки электрической энергии.

При определении экономической эффективности новых ГЭС необходимо учесть снижение экологических расходов в структуре годовых затрат в связи с использованием «чистой» энергии. Расчетные годовые затраты на экологические мероприятия по очистке от CO₂ составляют 42 доллар/тонна [16]. В настоящее время количество выбрасываемого CO₂, по данным Международного энергетического агентства, приведенным в ежегодном докладе World Energy Outlook-2016 составляет 0,515 кг/кВт·час [17]. Таким образом, экономические выгоды от снижения экологических затрат в предполагаемой ГЭС из-за сокращения эмиссии CO₂ будет не меньше, чем 1,0 млн. \$ в год.

В докладе World Small Hydropower Development Report 2019 на гидротехнических сооружениях с низким напором (гидроузлы, оросительные каналы) предложено использовать микро- и миниГЭС с турбулентными и гидрокинетическими турбинами, не требующими использования дорогостоящих водоемов, плотин и напорных трубопроводов, а также проведения сложных и больших строительных работ [11].

На наш взгляд, для условий водовыпускного сооружения Талимарджанского водохранилища, более подходящими являются горизонтальные капсульные агрегаты и осевые турбины с S-образными отсасывающими трубами [18,19,20]. Это связано с конструктивными особенностями объекта, подачей воды горизонтальными трубами и низкими напорами (10...20 метров). При использовании горизонтальных капсульных агрегатов и осевых турбин с S-образными отсасывающими трубами значительно снижаются размеры здания ГЭС [19,20].

Выходы. 1. Проанализированы пути более полного использования водных ресурсов, показана необходимость использования энергетического потенциала гидротехнических сооружений водохозяйственных систем для выработки электрической энергии.

2. Предложен метод расчета основных энергетических параметров ГЭС, построенной на базе водовыпускного сооружения водохранилища.

3. Проанализированы размеры капитальных вложений в строительство ГЭС в мире, а также в Республике Узбекистан и на примере ГЭС на Талимарджанском водохранилище показана возможность значительного снижения капитальных затрат при использовании в проектах напорно-расходного потенциала существующих гидротехнических сооружений.

Литература

1. Аллаев К.Р. Будущее энергетики – это симбиоз возобновляемых и атомных ресурсов. Ташкент. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2021, -№ 2. -С.14-32.
2. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77>.
3. Energy Efficiency 2020. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.
4. Global technology roadmap Hydro Equipment Association. <https://www.andritz.com/resource/blob/259432/5487f2c45ab370859ffe8abc26ed72e8/he-a-roadmap-data.pdf>.
5. Technology Roadmap – Hydropower. <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydropower>.
6. Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
7. Hydropower Status Report 2021. Sector trends and insights. https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/60c37321987070812596_e26a_IHA20212405-status-report-02_LR.pdf.
8. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-2947 «О программе мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017 — 2021 годы» от 2 мая 2017 г. http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3219734.
9. Мухаммадиев М., Уришев Б., Кан Э., Джураев К. Новые способы применения микроГЭС на существующих гидротехнических сооружениях: схемы, параметры, эффективность / Сбор. науч. трудов межд. науч.-техн. конф. на тему «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития», 2–3 июля 2020 года. С.Петербург, Россия, СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 241-256 .
10. Urishev B. Selection of Parameters of Pumped Storage Power Plants at Large Pumping Stations for Water Use. USA, Journal Applied Solar Energy, 2019, Vol. 54, No. 6, pp. 477-480.
11. World Small Hydropower Development Report 2019 Global Overview https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-08/Global_overview.pdf.
12. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроаккумулирующие электрические станции: Монография. -Т.:Фан ва технология, 2018. – 212 с.
13. Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Тех-

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

- нико- экономический анализ: Учеб. пособие /Под общ. ред. В.В. Елистратова и Г.И. Сидоренко. — СПб.: Изд-во политехи, ун-та, 2008. - 248 с.
14. IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf.
15. Палишкин Н.А., Мищенко И.А. Экономика строительства малых гидроэлектростанций, 2013. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/viewFile/1260/1214>.
16. United States Environmental Protection Agency. Climate Change. The Social Cost of Carbon. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate_change/social-cost-carbon_.html.
17. Прогноз мировой энергетики. World Energy Outlook -2016 www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2016_Executive_Summary_Russian_version.pdf.
18. Горизонтально-капсулевые гидротурбины (Bulb). https://powerm.ru/upload/iblock/e85/SM_product_cataloge_2020.pdf.
19. Компания ANDRITZ HYDRO GmbH. contact-hydro@andritz.com.
20. Гидроэлектрические станции: Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.Я. Карелина, Г.И. Кривченко. – М.:Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.

*Представлено Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

УДК 621.311.21:621.662.997**ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ
ЭНЕРГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ НАСОСНЫХ
УСТАНОВОК ПРИ ПОЛИВЕ****М.М. Мухаммадиев, Б. Уришев, А. Абдуазиз уулу, У. Куватов,
Х. Мурадов**

Мақолада қишлоқ хўжалиги иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири бўлган Ўзбекистон Республикасида қишлоқ хўжалиги экинлари эгаллаган майдонларни сугоришида энергия сарфини камайтириши масалалари муҳокама қилинади. Қишлоқ хўжалик ўсимликларини сугориши учун томчилатиб юбориладиган сув таъминоти тизими, шу жумладан сув омбори, насос агрегати, фотоволтик мослама, фильтрлар, ўғитлар учун диспенсерлар, томчилатувчи қувурлар ва бошқарув панели таклиф этилади. Фотоволтик қурилмадан кувват оладиган насос агрегати қуёш фаоллиги даврида омборда сув (энергия) тўплайди, сўнгра сув омборидаги сув ҳажми насос мосламасидан фойдаланмасдан қишлоқ хўжалиги ўсимликларини сугоришида ишлатилади. Тавсия этилган схемадаги сув-энергетика параметрларини аниқлашি методологияси, масалан сугориши даврлари бўйича сугориши учун сув сарфи, насос агрегати қуввати, зарур сув ва электр энергиясининг ўшилик ҳажми, сув омборининг кунлик ҳажми, кунлик ва ўшилик ишлаб чиқариладиган энергия ва насос агрегати қуввати кўрсатилган. 20 гектар майдонда томат учун томчилатиб сугориши тизимининг ҳисоб-китоблари натижалари келтирилган бўлиб, улар фотоволтик ўрнатишни ва гидравлик энергияни сақлаши ҳисобига йилига 1053 долларга баҳоланганди, таклиф қилинган схеманинг самарадорлигини кўрсатди, Қуёш энергиясидан самарали фойдаланиши ва насос қурилмасининг ишлари вақтини қисқартириши учун сув ҳажмини фақат қуёш фаоллигининг юқори соатларида тўплаши мақсадга мувофиқдир.

В статье обсуждаются вопросы снижения энергетических затрат при орошении площадей, занятых сельскохозяйственными культурами в Республике Узбекистан, где сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей экономики. Для орошения предложена капельная система подачи воды, включающая – водонакопительный – резервуар, насосную – установку, фотоэлектрическую систему, фильтры, дозаторы для удобрений, капельные трубы и пульт управления. – Насосная установка, питаемая от фотоэлектрической системы, осуществляет аккумулирование воды в накопительном резервуаре в периоды солнечной активности, а далее объем воды из резервуара

используется для орошения - сельскохозяйственных растений без использования насосной установки. Приведена методика определения водоэнергетических параметров предложенной схемы, таких как, расходы воды для орошения по периодам поливов, мощность насосной установки, годовой объем необходимой воды и электрической энергии, суточный объем резервуара, суточная и годовая выработанная энергия и мощность насосной установки. Приведены результаты расчетов системы капельного орошения томата на площади 20 гектаров, которые показали эффективность предложенной схемы, оцениваемой в размере 1053 \$ в год за счет использования фотоэлектрической установки и гидравлического аккумулирования энергии, при этом показана целесообразность аккумулирования объема воды в пиковые часы солнечной активности, для эффективного использования солнечной энергии и сокращения времени работы насосной установки. Показана эффективность гидравлического аккумулирования по сравнению с электрохимическими способами накопления энергии.

The article discusses the reduction of energy costs in the irrigation of areas occupied by crops in the Republic of Uzbekistan, where agriculture is one of the key sectors of the economy. For irrigation of agricultural plants, a drip water supply system is proposed, including a water storage tank, a pump installation, a photovoltaic installation, filters, fertilizer dispensers, drip pipes and a control panel. The pump installation, powered by a photovoltaic installation, accumulates water (energy) in the storage tank during periods of solar activity, and then the volume of water from the tank is used to irrigate agricultural plants without using a pump installation. A methodology for determining the water-energy parameters of the proposed scheme is given, such as the flow rate of water for irrigation by irrigation periods, the capacity of the pumping unit, the annual volume of required water and electric energy, the daily volume of the tank, the daily and annual generated energy, and the capacity of the pumping unit. The results of calculations of a drip irrigation system of tomato on an area of 20 hectares are presented, which showed the effectiveness of the proposed scheme, estimated at \$ 1,053 per year through the use of a photovoltaic installation and hydraulic energy storage, while the feasibility of accumulating water volume only at peak hours of solar activity for effective the use of solar energy and reducing the operating time of the pump unit.

Введение. Сегодня более трети населения мира занимается сельским хозяйством, оно для них является основным источником дохода и играет важнейшую роль в экономическом развитии многих стран, обеспечивая продовольствием, сырьем, продуктами и рабочими местами [1]. В связи с этим инвестиции в сельское хозяйство возрастают из года в год, что способствует сокращению бедности в развивающихся странах [2],

решению главных вопросов на повестке дня – достижение продовольственной безопасности и улучшение питания [3], экономического роста и развития [4, 5].

Республика Узбекистан является аридной страной с малым количеством осадков, низкой влажностью, высоким уровнем испарения. В связи с этим, более 92 % водных ресурсов используется для орошения сельскохозяйственных культур, посевных на площади 4,28 млн. гектаров [6]. Поэтому, учитывая ежегодное увеличение спроса на воду в связи с развитием сельскохозяйственного сектора страны и ростом населения, обеспечение необходимыми объемами водных ресурсов, является одной из основных задач. Орошаемые земли страны являются энергоемкими, так как около 51 % из них получает воду с помощью насосных станций, для чего каждый год тратится 12...13 % от общей потребляемой в республике электроэнергии [6]. Почти все насосные станции являются электрифицированными, только небольшая часть установок питается от дизельных установок. Энергетические затраты среди эксплуатационных затрат насосных станций составляют наибольшую долю, и, в связи с этим, для фермеров республики решение вопросов водо - и энергосбережения, использование альтернативных, более дешевых источников энергии для питания насосных установок, являются очень важными.

В настоящее время одним из разумных решений по сбережению водных ресурсов и снижению энергетических затрат при поливе небольших площадей сельскохозяйственных культур является капельное орошение с помощью насосов, питаемых от солнечной энергии [7-10]. Авторы работы [7] считают, что использование солнечной энергии при капельном орошении небольших площадей, безусловно снижает себестоимость продукции. В последнее время данное направление стало настолько интересным, что появился термин «фотоирригация» (photoirrigation), т.е. орошение с использованием солнечной энергии [8]. Возможности «фотоирригации» были исследованы при орошении оливковых деревьев на площади 10 га на юго-востоке Испании; их результатами было определено, что для этой цели требуется 161 м³/сут воды, при мощности фотоэлектрической системы (ФЭС) 6 кВт [8].

Авторами работы [9] приведены результаты исследования вопросов орошения разных сельскохозяйственных растений в пяти географических точках земного шара: в Испании, Саудовской Аравии, Мексике, Ливане и Иордании. Для этой цели были рассмотрены варианты электропитания насосных установок посредством дизельных генераторов, от электрической сети и с помощью ФЭС. Результаты расчетов показали, что во всех географических широтах использование ФЭС имеет затраты в 15,0...30,0 раз меньше, чем затраты дизельных генераторов, в 2,2...2,4 раза меньше, чем при подключении насосной установки к электрической сети.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Необходимо отметить, что большинство исследователей «фотоирригации» основными этапами такой работы считают следующие [7-10]:

1. Определение годового количества воды в разрезе месяцев и суток на выбранной орошаемой площади.
2. Выбор насосного агрегата, определение его параметров и трубопроводной системы.
3. Определение параметров фотоэлектрической системы, удовлетворяющих требования насосного агрегата.

Вопросы аккумулирования солнечной энергии в силу ее целесообразности считают необходимым мероприятием, и для этой цели обычно предлагают электрохимические или тепловые аккумуляторы, а вместе с тем отмечают, что это значительно удорожает систему [8,11,12]. В работе [12] отмечено, что для снижения стоимости энергетических установок необходимо рассматривать иные способы, например, способ гидравлического аккумулирования воды.

В Республике Узбекистан капельное орошение является быстро развивающимся и перспективным направлением, и в настоящее время для его энергообеспечения используются преимущественно централизованная электрическая сеть или генераторы на базе органического топлива. В этих условиях исследование вопросов использования и гидравлического аккумулирования солнечной энергии с целью повышения ее эффективности на основе определения оптимальных значений сроков полива и аккумулирования ресурсов, параметров насосной установки, на наш взгляд, являются очень интересными и важными, но мало изученными.

Методы. Рассмотрим возможности гидравлического аккумулирования воды и энергии в системах капельного орошения сельскохозяйственных растений (рис.1). Энергия от фотоэлектрической системы (ФЭС) через инвертор подается в насосную установку (НУ), которая перекачивает воду из источника в накопительный резервуар. Вода из резервуара подается к фильтрам и дозатору для внесения удобрений, далее – к системе капельного орошения. Весь комплекс операций по включению и отключению агрегатов, регулированию расхода воды и электрической энергии осуществляется пультом управления по специальной программе (например, по программному обеспечению HOMER).

Определение энергетических характеристик данного комплекса производится исходя из суточного объема накапливаемой воды и схемы полива сельскохозяйственных культур в течение сутки, характерной для орошаемой площади с учетом имеющейся радиационной солнечной активности. Для многих сельскохозяйственных растений в условиях Узбекистана рекомендовано осуществление полива в вечернее и ночное время в целях сокращения испарения и транспирации влаги [13].

В связи с этим в часы наибольшей солнечной активности поливные работы не проводятся, и в это время солнечная энергия используется для

питания НУ, которая аккумулирует необходимый объем воды в резервуаре. Согласно схеме полива, предусматривающей подачу расчетного объема воды в течение сутки, его величину определяем так:

$$V = m \cdot \omega, \text{ м}^3; \quad (1)$$

где m – суточная поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$, ω – размер площади, орошаемой в течение сутки, га. Исходя из среднего расхода воды $Q = V/t$ и величины напора H , можно выбрать соответствующую марку насоса, при этом t – продолжительность солнечной активности для рассматриваемой местности в период поливов.

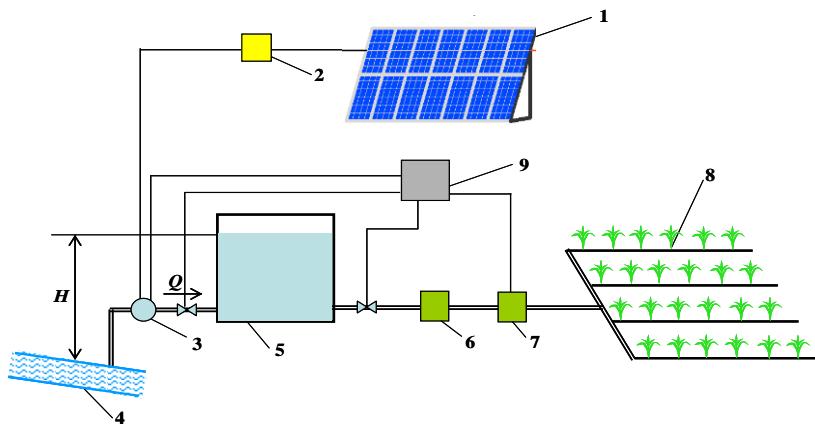


Рис.1. Схема капельного орошения с использованием солнечной энергии:
1 – фотоэлектрическая установка; 2 – инвертор; 3 – насосная установка;
4 – источник водоснабжения; 5 – накопительный резервуар; 6 – фильтры;
7 – дозатор для удобрений; 8 – капельные трубы, 9 – пульт управления

При постоянном напоре для накопления объема воды V требуется электроэнергия, вычисляемая по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_h = \frac{V \cdot H}{367,2 \cdot \eta}, \text{ кВт}\cdot\text{час}; \quad (2)$$

где H – напор, η – коэффициент полезного действия НУ.

Из рис.1 видно, что по мере наполнения резервуара величина напора H тоже увеличивается, в связи с этим для определения Эн справедливо следующее выражение:

$$\mathcal{E}_h = k \int_{t_1}^{t_2} H(V) dV; \quad (3)$$

где $k = 1/367,2 \cdot \eta$, t_1 и t_2 – начальные и конечные часы солнечной активности (рис.2).

При этом суточная выработанная электрическая энергия ФЭС с учетом потерь может быть определена по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{ФЭС} = \mathcal{E}_h + \Delta \mathcal{E}; \quad (4)$$

где $\Delta\mathcal{E}$ – количество потери электроэнергии (в основном в инверторе) [14].

Насосная установка будет иметь максимальную мощность при максимальном напоре H , т.е. в момент полного наполнения резервуара, и ее величину можно определить следующим образом:

$$N_{Hmax} = 9,81/\eta \cdot (Q_h \cdot H_{max}), \text{ кВт}; \quad (5)$$

где H_{max} – максимальный напор, Q_h – производительность НУ при H_{max} (определяется по напорной характеристике насоса).

Таким образом, можем подытожить, что пиковая мощность ФЭС должна быть не менее N_{Hmax} , исходя из этого принимаем $N_{Hmax} = N_{\Phi\mathcal{E}C}$.

Далее на основе $\mathcal{E}_{\Phi\mathcal{E}C}$ и $N_{\Phi\mathcal{E}C}$ определяются энергетические параметры ФЭС и осуществляется выбор ее основных компонентов.

Результаты. На основе вышеприведенной методики были вычислены значения расходов воды, подаваемой для полива томата на площади 20 гектаров, а также мощности ФЭС и НУ, которые указаны на диаграмме, приведенной на рис.2.

Из диаграммы видно, что полив томата осуществляется с 17⁰⁰ до 9⁰⁰ в течение 16 часов, а в дневное время с 9⁰⁰ до 17⁰⁰ будет накоплен необходимый объем воды в резервуаре с помощью НУ, питаемой от ФЭС.

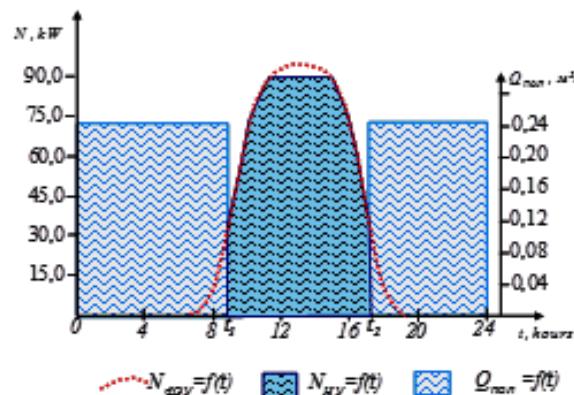


Рис.2. Диаграмма расхода воды для капельной системы и мощности установок

Расход воды, необходимый для орошения, определяется исходя из вида сельскохозяйственной культуры, свойств почвы, климатических и гидрогеологических условий, соответствующих для данной орошающей площади. Например, для томата в южных зонах республики оросительная норма в год составляет в среднем 5500 м³/га, а на каждый полив тратится 600...700 м³/га, количество поливов 9, время полива с 1 мая до 10 октября [15]. Продолжительность полива, в зависимости от его схемы, составляет 10...30 часов.

Приводим результаты расчета расходов и объемов воды, а также требуемого количества электроэнергии для питания насосной установки при напоре $H = 12$ метров, коэффициенте полезного действия $\eta = 0,8$, и продолжительности полива 16 часов.

1. Объем воды, необходимый для разового полива по (1) – $V=14000 \text{ м}^3$.
2. Средняя производительность НУ – $Q_h = V_{nol}/3600 \cdot T_{nik} = 14000/(3600 \cdot 7,6) = 0,512 \text{ м}^3/\text{с}$; где - T_{nik} – число пиковых солнце – часов в течение сутки, $T_{nik} = 7,6$ часов [15].
3. Количество электроэнергии, необходимое для накопления объема воды V по (3) – $\mathcal{E}_h = 550 \text{ кВт}$.
4. Суточная выработанная электрическая энергия ФЭС при разовом поливе по (4) – $\mathcal{E}_{\Phi\mathcal{E}\mathcal{C}} = 660 \text{ кВт}$.
5. Количество вырабатываемой электроэнергии в год $\mathcal{E}_{\Phi\mathcal{E}\mathcal{C}}^{год} = \mathcal{E}_{\Phi\mathcal{E}\mathcal{C}} \cdot n = 660 \cdot 9 = 5940 \text{ кВт·час}$; где n - количество поливов.
6. Максимальная мощность насосной установки – $N_{Hmax} = 9,81 \cdot K_3 \cdot Q_h \cdot H_{max}/\eta = 9,81 \cdot 1,2 \cdot 0,51 \cdot 12,0 / 0,8 = 90,0 \text{ кВт}$; где $K_3 = 1,2$ – коэффициент запаса мощности.
7. Расход воды, подаваемой для полива $Q_{nol} = V/t_{nol} = 14000/3600 \cdot 16 = 0,243 \text{ м}^3/\text{с}$.
8. Затраты на электроэнергию от ФЭС при тарифах 0,1 \$ (кВт·час) – $C = 5940 \cdot 0,1 = 594,0 \text{ \$}$ [13].
9. Затраты на электроэнергию от тепловых электрических станций при тарифах 0,13 \$ (кВт·час) – $C = 5940 \cdot 0,13 = 772,0 \text{ \$}$ [13].
10. Затраты на аккумулирование электроэнергии гидравлическим способом при удельных расходах 0,015 \$ (кВт·час) – $A = 5940 \cdot 0,015 = 89,0 \text{ \$}$ [14].
11. Затраты на аккумулирование электроэнергии с литий – ионными батареями при удельных расходах 0,187 \$ (кВт·час) – $A = 5940 \cdot 0,187 = 1111,0 \text{ \$}$ [15].
12. Получаемый эффект:
 - а) по затратам за электроэнергию – 178,0 \$;
 - б) по затратам на аккумулирование электроэнергии – 1022,0 \$.

Обсуждение. Основными преимуществами предложенной схемы и режима работы системы капельного орошения являются следующие:

- энергоснабжение насосной установки с помощью энергии ФЭС, по сравнению с вариантом из тепловых электрических станций, существенно снижает энергозатраты, так как в настоящее время удельная стоимость энергии ФЭС составляет менее 0,1 \$ (кВт·час), а ТЭС - 0,1...0,17 \$ (кВт·час) [13]. По данным Фраунгоферского института солнечных энергетических систем удельная стоимость энергии парогазовых установок с

комбинированным циклом - 7,78...9,96 \$ за кВт·час, а газовых установок составляет 11,0...21,94 \$ за кВт·час [18], более того, стоимость энергии от ФЭС из года в год снижается, а выработанной на ТЭС повышается;

- удельная стоимость аккумулирования энергии в предложенной системе составляет 0,012...0,17 \$ (кВт·час) [14], а в накопителях с литий – ионными батареями данный показатель превышает 0,23, а по данным компании Bloomberg New Energy Finance составляет не ниже 0,187 \$ (кВт·час) [15].

- использование ФЭС только в часы солнечной активности позволяет повысить степень использования солнечной энергии, сокращает время работы насосной установки, тем самым снижает затраты при ее жизненном цикле.

- предложенная система использования и аккумулирования солнечной энергии выгодно отличается от других накопительных систем такими параметрами как удельная стоимость мощности, быстрота включения, большие объемы аккумулирования энергии [14].

Выводы. Результаты технико – экономических расчетов показали, что использование солнечной энергии для питания насосной установки системы капельного орошения томата на площади 20 гектаров, при стоимости энергии ФЭС 0,1 \$ (кВт·час) и энергии от тепловых электрических станций 0,13 \$ (кВт·час), позволяет экономить 178,0 \$ в год (без стоимости затрат на линии электропередачи). Получаемый эффект от внедрения предложенной схемы в несколько раз увеличивается, если ее использовать в местах отсутствия энергоснабжения, взамен дизельных генераторов.

Получаемый эффект при использовании гидравлического аккумулирования энергии, по сравнению с литий – ионными батареями составляет 1022,0 \$, более того, данная гидроаккумулирующая система позволяет накопить большие объемы энергии [14].

Все вышеупомянутые факты убедительно показывают, что в системах водоснабжения и орошения использование солнечной энергии для питания насосных установок при научно – обоснованном выборе объемов выработки и аккумулирования энергии имеют реальные преимущества.

Литература

1. Report: Industrial Agriculture and Small-scale Farming.2018. Available: <https://www.globalagriculture.org/report-topics/industrial-agriculture-and-small-scale-farming.html>, [Accessed Sep. 20, 2019].
2. D. Cervantes-Godoy and J. Dewbre. Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction, OECD Programme on Food, Agriculture and Fisheries Paper, vol. 27, no. 23, 2010. Available: <https://www.oecd.org/brazil/44804637.pdf>, [Accessed Sep. 20, 2019].

3. A. D. Jones and G. Ejeta. A new global agenda for nutrition and health: The importance of agriculture and food systems. *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 94, no. 3, pp. 228-229, 2016.
4. L. Christiaensen, L. Demery, and J. Kuhl. The (evolving) role of agriculture in poverty reduction-An empirical perspective, *Journal of Development Economics*, vol. 96, no. 2, pp. 239–254, 2011.
5. Соколов В.И. Водное хозяйство Узбекистана: прошлое, настоящее и будущее. // Серия: Библиотека водника, 2016 №1, НИЦ МКВК, Ташкент. 56 с.
6. P. Persad, N. Sangster, E. Cumberbatch, and A. Ramkhalawan. Investigating the Feasibility of Solar Powered Irrigation for Food Crop Production?: A Caroni Case, *J. Assoc. Prof. Eng. Trinidad Tobago*, vol. 40, no. 2, pp. 61–65, 2011. View at Google Scholar.
7. V. C. Sontake and V. R. Kalamkar. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1038–1067, 2016. View at Publisher ·View at Google Scholar ·View at Scopus.
8. A.I. Anarbaev, R.A. Zakhidov. Technical and economic aspects of the use of solar power plants. // *Geliotekhnika*, 2009, №. 2, pp. 81-90.
9. Sh.I.Klychev, M.M. Mukhammadiev, O. Kh. Nizomov, K.D. Potayenko. The cost of energy in combined solar-wind power plants. // *Geliotekhnika*, 2008, №. 3, pp. 37-43.
10. V.V. Zadde. Autonomous solar systems for individual houses. // *Energy Saving*, - Moscow, 2008, № 8, p. 72-77.
11. Uzbek Academy of Agricultural Sciences. Reclamation and irrigation of cotton crop rotation. Edited by N.F. Bespalova, Tashkent: "Uz-informagroprom", 1992, 192 p.
12. B. Urishev. Selection of Parameters of Pumped Storage Power Plants at Large Pumping Stations for Water Use. // *Applied Solar Energy*, 2018 Vol. 54, No. 6, pp. 477–480. Available:<https://link.springer.com/article/10.3103/S0003701X18060166> [Accessed: Nov. 10, 2019].
13. Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Julch, Huyen-tran Nguyen, Thomas Schlegl. Levelized cost of electricity renewable energy technologies. Fraunhofer institute for solar energy systems, 2018. Available: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf. [Accessed: Jun. 15, 2019].
14. Mukhammadiev M.M, Urishev B.U., Abduaziz uulu A, Gadaev S.K, Zhankabylov S.U. Issues of using local energy systems with hydraulic energy storage in the power system of the republic of Uzbekistan. // ICECAE 2020,

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Tashkent. E3S Web of Conferences 216, 01138 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601138>.

15. M Mukhammadiev, O Glovatskiy, N Nasyrova, N Karimova, A Abdiaziz uulu and A Boliev. Assessment of investment technologies for use of hydro – accumulating stations on intermediate channels of irrigation systems and water reservoirs. // doi:10.1088/1755-1315/614/1/012088.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.039

**ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ МАСЕЛ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА**

III.Т. Поёнов

Maqolada chiqindilarni qayta ishslash usullari ko'rib chiqiladi. 2019 yilda Toshkent shahrida turli turdag'i avtotransport vositalari uchun sarflangan neft miqdori aniqlandi va aholining chiqindi yog'dan foydalanish bo'yicha so'rov natijalari e'lon qilindi. Ishlab chiqarilgan motor moylarini qayta tiklash uchun mavjud qurilmalarning samaradorligini tahlil qilish, 0,3 dan 3,0 t/s gacha bo'lgan ishslash oraliq'ida regeneratsiya uchun kichik o'lchamli qurilmalar mavjud emas. Natijada, hisob-kitoblarga ko'ra, u yog'larning yillik iste'mol ko'proq, 40-50 t tozalash va iste'mol saytida chiqindilarni moylar regeneratsiyasi kapital investitsiyalar kichik hajmi o'rnatish huzurida to'liq to'lanadi, deb topildi. Yog'larni ajratish va tozalashning mavjud usullari mexanik aralashmalar bilan birga qarish mahsulotlarini olib tashlashga imkon bermaydi. Bu chiqindi yog'larni tozalashning yangi usullarini ishlab chiqish zarurligini isbotlaydi. Tavsiya etilgan nanofiltatsiya-chiqindi yog'larni tozalash va qayta ishslashning membrana usuli. Nanofiltatsiya-kolloid va yuqori molekulyar og'irlilikdagi ifloslantiruvchi moddalardan suv va turli suyuq chiqindilarni tozalash uchun membrana usullari. Bu usulning asosiy afzalligi tozalash yuqori darajasi, barqaror sifat, usulning universalligi, kichik hajmi birliklari uzoq umr membrana bo'ladi. Ishlab chiqarilgan yog'larning yillik hajmini hisobga olgan holda, respublikamizning 5-7 punktida kattalashtirilgan obyektlar yaratish, ob'ektlarda 0,3-0,5 t/soat quvvatga ega statsionar (o'ziyurar) kichik o'lchamli moslamalar o'rnatish; kichik iste'molchilarga chiqindi yog'larini chiqindilarga, kanalizatsiya yoki drenajlarga ruxsat etilmagan joylarda ko'mishga yo'l qo'ymaslik; chiqindilarni qayta ishslash moylarini utilizatsiya qilish ekologiya va atrof-muhit muhofazasi xodimlari tomonidan qat'iy kuzatuvlar (hisob-kitoblar) bo'lishi kerak.

В статье рассмотрены методы переработки отработанных масел. Определены объемы отработанного масла различными типами автотранспортных средств в городе Ташкенте за 2019 г. и приведены результаты опроса населения по использованию и хранению отработанного масла. Приведен анализ эффективности существующих установок по регенерации отработанных моторных масел: в диапазоне производительности от 0,3 до 3,0 т/ч отсутствуют малогабаритные установки по регенерации. По результатам проведенных расчетов установлено, что при годовом объеме потребления масел более 40-50 т, капитальные вложения в очистку и регенерацию отработанных смазочных материа-

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

лов на месте потребления полностью окупаются при наличии малогабаритных установок. Существующие способы разделения и очистки масел не позволяют вместе с механическими примесями удалять продукты старения. Это доказывает необходимость разработки новых способов разделения очистки отработанных масел. Предложен нанофильтрационный – мембранный метод очистки и переработки отработанных масел. Подобные методы применяются для очистки воды и различных жидкых отходов от коллоидных и высокомолекулярных загрязнений. Основным достоинством методов являются высокая степень очистки, стабильное качество, универсальность, небольшие габариты установок и длительный срок службы мембранны. Даны рекомендации с учетом годового объема отработанных масел, по созданию укрупнённых объектов в 8-10 пунктах нашей республики; на объектах необходимо установить стационарные (или самоходные) малогабаритные установки, производительностью 0,3-0,5 т/ч; не допускать захоронения мелкими потребителями отработанных масел на свалках, сливов в канализацию или в не разрешенных местах; утилизация отработанных масел должна строго контролироваться и учитываться сотрудниками служб экологии и охраны окружающей среды.

The article discusses methods for processing waste oils. The volumes of used oil for various types of vehicles in the city of Tashkent for 2019 were determined and the results of a survey of the population on the use of used oil were presented. An analysis of the efficiency of existing installations for the regeneration of used engine oils is given; in the performance range from 0.3 to 3.0 t / h, there are no small-sized units for regeneration. Based on the results of the calculations, it was found that with an annual volume of oil consumption of more than 40-50 tons, capital investments in the cleaning and regeneration of used lubricants at the point of consumption are fully paid off in the presence of a small-sized installation. Existing methods of separation and purification of oils do not allow removing aging products together with mechanical impurities. This proves the need to develop new methods for separating the purification of waste oils. Proposed nanofiltration - membrane method of purification and processing of waste oils. Nanofiltration - membrane methods for purifying water and various liquid waste from colloidal and high molecular weight contaminants. The main advantage of this method is a high degree of purification, stable quality, versatility of the method, small dimensions of installations, and a long service life of the membrane. Recommendations were given, taking into account the annual volume of waste oils, to create enlarged objects in 5-7 points of our republic, to install a stationary (self-propelled) small-sized unit with a capacity of 0.3-0.5 t / h at the facilities; prevent small consumers from burying waste oils in landfills, sewers or drains in unauthorized places; dis-

posal of used oils must be strictly monitored (recorded) by employees of ecology and environmental protection.

Регенерация – выгодный, экономически эффективный для окружающей среды способ утилизации отработанных автотранспортных масел. Известно, что отработанные масла собирают и подвергают регенерации с целью повторного использования.

К сожалению, следует отметить, что в настоящее время большинство отработанных масел сжигается как топливо, хотя нет сомнения, что их необходимо регенерировать с целью получения товарных продуктов. Отработанные масла содержат в своем составе различные металлы, углеводороды, нафтеновые, парафиновые и ароматические смолы, минеральные кислоты, минеральную пыль, асфальтено-смолистые продукты и сложные эфиры [1].

По мере накопления сажи и асфальтенов, моторные масла начинают интенсивно стареть. Это оказывает влияние на срок службы масел, отражается на долговечности работы двигателей и, в конечном счете, на технико-экономические показатели работы автотранспортных средств. Для восстановления отработанных масел применяются разнообразные технологические приёмы, основанные на физических, физико-химических и химических процессах, и заключаются в обработке масла с целью удаления продуктов старения и загрязнения.

В качестве технологических приемов обычно соблюдается следующая последовательность методов: механический, для удаления из масла свободной воды и твердых загрязнений; теплофизический (выпаривание, вакуумная перегонка); физико-химический (коагуляция, адсорбция). В том случае, когда их применение не эффективно, то используются химические способы регенерации масел, связанные с применением более сложного оборудования и большими материальными затратами.

Переработать отработанные масла совместно с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах не рекомендуются, т.е. присадки, содержащие в маслах, нарушают работу нефтеперерабатывающего оборудования.

В зависимости от применяемых технологий регенерации получают 2-3 фракции базовых масел, из которых компаундированием и введением присадок могут быть приготовлены товарные масла (моторные, трансмиссионные, гидравлические, пластичные смазки). Средний выход регенерированного масла из отработанного, содержащего около 2-4% твердых загрязняющих примесей и воду, составляет 70-85%, зависящий от применяемого способа регенерации.

Рассмотрим проблему в столице нашей республики. Можно считать, что отработанное масло утилизируется двумя способами: первый - в виде топлива, второй - перерабатывается для повторного использования.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Количество отработанного масла за год можно определить по фор-

$$M_M = \sum_{i=1}^n \frac{n_i m_{Mi} P_i}{N_{\text{ср пр } i}};$$

мule [2]:

где: M_M – масса отработанного масла, кг/год при условии полного заполнения заправочных ёмкостей на борту автотранспортных средств (АТС);

n_i – количество АТС каждого типа;

m_M – средняя масса заправки масла, кГ;

P_i – годовой пробег автомобиля, тыс. кМ/год;

$N_{\text{ср пр}}$ – средний пробег до замены масла, тыс. кМ.

Результаты расчетов по формуле приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемы отработанного масла для различных типов автотранспортных средств

№	Тип АТС	Количе- ство АТС, шт.	Масса за одну заправ- ку масла, кГ	Годовой пробег АТС, тыс. кМ/год	Средний пробег до замены масла, тыс. кМ	Количество отработанно- го масла, кГ/год
1	Л	407 088	3,5	28	15	2 469 667
2	ГЛ	12 942	8	50	20	207 072
3	ГС	6 471	12	50	20	155 304
4	ГТ	2 157	23	50	20	99 222
5	АЛ	700	8	90	20	12 600
6	АС	800	7	90	20	12 600
7	АТ	1 240	14	90	20	39 060
	Итого:	431 398				2 995 525

Примечания: Л – легковые; ГЛ – грузовые легковые; ГС – грузовые средние; ГТ – грузовые тяжелые; АЛ – автобусы легковые; АС – автобусы средние; АТ – автобусы тяжелые. Данные на начало 2019 г

По данным табл.1 ежегодно в городе Ташкенте накапливается около 3 млн. кг отработанного масла. Результаты опроса населения, приведенные в табл. 2 показывают, что только 59,4% от общего количества отработанного масла поступает на переработку или расходуется для использования в качестве топлива, остальные 40,6% теряются безвозвратно, чем наносится значительный ущерб водным и земельным ресурсам.

В последние годы в Узбекистане резко увеличилось число автотранспортных средств. Только в городе Ташкенте эксплуатируются около 0,5 млн. автомобилей различной грузоподъёмности. Кроме того, на нескольких объектах республики полезные ископаемые и нерудные материалы добываются с глубины 300-400 м открытым способом, т.е. горные породы доставляются на поверхность земли, а далее до обогатительных фабрик многотонными грузовыми автомашинами. Машины работают в сверхсложных условиях, поэтому замена моторного масла осуществляется очень часто.

Таблица 2

Результаты опроса населения по использованию отработанного масла

	Отправка на свалку ТБО, в канализацию или на землю	Хранение в гараже	Сдача на переработку или сжигание	Оставление в транспорте	Продажа на автоРынке	Использование по прежнему назначению
Доля % от общего количества отработанного масла	32	4,8	2,8	48,8	7,8	3,8

Количество таких грузовых машин по республике достигает 10 тыс. Такие цифры можно представить по сельскохозяйственной технике, а также работающих на строительных и других объектах республики.

Одной из проблем, резко снижающей экономическую эффективность регенерации отработанных моторных масел, являются большие затраты, связанные с их сбором, хранением и транспортировкой к месту переработки. Организация мини-комплексов по регенерации масел для удовлетворения потребностей крупных городов и организаций типа Алматыкского и Навойского горно-металлургических комбинатов, позволит снизить транспортные расходы, а получение высококачественных конечных продуктов: моторных масел и концентратных смазок – повысит эффективность их использования.

Учитывая количество автотранспортных средств, расстояния пробегов и экологические обстоятельства, нами рекомендованы следующие пункты, где можно установить мини заводы по регенерации отработанных масел:

1. Каракалпакская Автономная Республика и Хорезмская область.
2. Город Ташкент.
3. Город Алматык (или Ангрен).
4. Навойская и Бухарская области.
5. Ферганской долине.
6. Сурхандарьинская и Кашкадарьинская области.
7. Самаркандская область.
8. Джизакская и Сырдарьинская области.

Таким образом, в Республике Узбекистан можно организовать 8-10 пунктов с мини- заводами для регенерации отработанных масел.

Для регенерации отработанных масел применяются разнообразные аппараты и установки, действие которых основано, как правило, на использовании комбинированных методов (физических, физико-химических и химических), что позволяет регенерировать масла разных марок и с различными показателями качества.

Анализ эффективности установок по регенерации отработанных моторных масел показывает, что в диапазоне производительности от 0,3 до

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

3,0 т/ч отсутствуют малогабаритные установки по регенерации. По результату проведенных нами расчетов установлено, что при годовом объеме потребления масел более 40-50 т., капитальные вложения в очистку и регенерацию отработанных смазочных материалов на месте потребления полностью окупаются при наличии малогабаритной установки.

Другой наиболее острой проблемой при регенерации является накопления сажи, смол, асфальтенов которые приводят к интенсивному старению моторных масел.

Существующие способы разделения и очистки масел не позволяют удалять вместе с механическими примесями и продукты старения [3]. Это доказывает необходимость разработки новых способов разделения и очистки отработанных масел.

В настоящее время разработаны нанофильтрационные – мембранные методы очистки воды и различных жидкых отходов от коллоидных и высокомолекулярных загрязнений. Достоинствами методов являются высокая степень очистки, стабильное качество, универсальность, небольшие габариты установок длительный срок службы мембранны.

Эти методы основаны на фильтровании растворов под давлением, превышающим осмотическое, через полупроницаемые мембранны, пропускающие растворитель и задерживающие растворенное вещество. Они характеризуются размером пор от 0,001 до 0,1 мкм. Новая комплексная технология включает механическую фильтрацию, центробежную сепарацию и нанофильтрацию. Применение данного способа при регенерации масел позволяет обеспечить высокую степень очистки отработанного масла и уменьшить объем утилизации смазочных материалов, что приводит к улучшению экологической обстановки и, самое главное обеспечивает автотранспортные средства высококачественными регенерированными моторными маслами.

Нанофильтрационный метод может стать новым способом регенерации отработанных масел. Наиболее перспективными элементами являются мембранны из неорганических материалов, полимерные, металлокерамические и углеродные.

Необходимость регенерации отработанных моторных масел не вызывает сомнения, поскольку их уничтожение и захоронение порождает еще большие проблемы, чем сами масла. Регенерированные моторные масла являются ценным вторичным сырьем, их можно использовать кроме двигателей внутреннего сгорания, в качестве котельного топлива, смазочного материала для тракторов и тяжелой автотранспортной техники, а также при производстве строительного битума.

На основе вышеизложенного можно заключить следующее:

- с учетом годового объема отработанных масел необходимо создать мини заводы по их переработке в 8-10 пунктах нашей республики;

- на объектах установить стационарную (или самоходную) малогабаритную установку производительностью 0,3-0,5 т/ч;
- технология регенерации на установках малой производительности не требует значительных финансовых затрат, предусматривает организацию сбора сырья, максимально сохраняет неизрасходованный ресурс эксплуатационных свойств;
- не допускать захоронения мелкими потребителями отработанных масел на свалках, сливом в канализацию или в не разрешенных местах;
- утилизация отработанных масел должна строго контролироваться и учитываться сотрудниками служб экологии и охраны окружающей среды.

Литература

1. Филоленко В.Ю. Регенерация отработанных технических масел с использованием модифицированных природных силикатных сорбентов. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности Химия и технология топлив и специальных продуктов. -М. -2004 .
2. Радкевич М.В., Шипилова К.Б. Экологические проблемы использования отработанного моторного масла автомобилей. //Universum. Технические науки: электронный научный журнал. 2019 №1(58).
3. Шашкин П.И., Брай И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел. -М.: Химия. 2006 304с.
4. Шашкин П.И. регенерация отработанных нефтяных масел. Издание 2-е переработанное и дополненное/ П.И.Шашкин, И.В.Брай. – М. Химия, 1970. -304 с.
5. Липштейн Д.А. и др. О возможности регенерации масел, ингибированных присадкой // Электрические станции, 1965. -№10. -С.34.
6. Бурдонов Д.Н. Регенерация отработанных нефтепродуктов /Д.Н. Бурдунов. -М.: Гостоптехиздат, 1958.
7. Эминов Е.А. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов: Издание 3-е/ Е.А.Эминов. -М.:Химия, 1969.
8. Обельницкий А.М. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости / А.М. Обельницкий, Е.А. Егорушкин, Ю.Н. Чернявский. - М.: ИПО Полигран, 1995. -270 с.

Представлено Министерством энергетики
Республики Узбекистан

ПОМНИМ И СКОРБИМ



**Доктор технических наук, профессор
Рахимов Шавкат Хударгенович
(1945-2021)**

В этом мире есть люди и ученые, которые подают пример коллегам и ученикам своей деятельностью, образом жизни, искренними советами, воодушевляя окружающих жить ради светлого будущего.

Одним из таких людей, руководителей и наставников был доктор технических наук, профессор Шавкат Хударгенович Рахимов, который ушел из жизни 26 июля 2021 года в возрасте 76 лет. Большой и талантливый ученый Ш.Х.Рахимов всю свою жизнь посвятил развитию ирригации и мелиорации земель в нашей стране.

Ш.Х. Рахимов родился 28 ноября 1945 года в городе Хива. После окончания средней школы в 1963 году поступил в Московский энергетический институт на гидроэнергетический факультет. В 1969 году по окончанию института, получив квалификацию инженера-гидроэнергетика, поступает на работу в Среднеазиатский научно-исследовательской институт ирригации (САНИИРИ, ныне Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем - НИИИВП), в лабораторию гидрометрии на должность инженера. В 1970 году он переходит во вновь созданную лабораторию «Электрическая автоматика и телемеханика» на должность младшего научного сотрудника.

В 1971 году Ш.Х. Рахимов поступает в аспирантуру, где под руководством академика М.З. Хамудханова и к.т.н. М.С. Хусanova проводит исследования, а в 1978 году защищает кандидатскую диссертацию на тему «Автоматическое регулирование возбуждения синхронных электродвигателей крупных насосных станций» в Национальной Академии наук Кыргызской Республики.

Ш.Х. Рахимовым исследовано и проанализировано взаимовлияние режимов работы питающей электрической сети и синхронных электродвигателей насосных станций, разработан тиристорный регулятор систем возбуждения для синхронных электродвигателей; им установлены методы регулирования, повышающие устойчивость систем возбуждения и одновременно снижающие энергопотребление. Он определил области

устойчивой работы систем регулирования возбуждения двигателей насосных установок с учетом влияния электрической сети.

Его идеи внедрены на многих крупных насосных станциях республики. Например, на Джизакской головной насосной станции были впервые внедрены тиристорные регуляторы возбуждения с системами охлаждения, улучшающие режимы работы синхронных электродвигателей и позволяющие снижать потребление электрической энергии на 2-3%, что дало значительный суммарный экономический эффект при эксплуатации.

Работая старшим научным сотрудником (ученое звание с.н.с. присуждено в 1984 году), Ш.Х.Рахимов руководил рядом научных разработок, в том числе международных, по системам машинного водоподъема, что оказало плодотворное влияние на дальнейшую научную деятельность его и его учеников.

Ш.Х. Рахимовым разработана методика выбора системы регулирования бьефов машинного канала, основанная на типовых элементах каналов «НС-канал-НС», «ГТС-канал-ГТС», «НС-канал-ГТС», «ГТС-канал-НС» и др. Получены авторские свидетельства на «Способ запуска насосного агрегата», «Способ регулируемой подачи насосной станции с жестколопастными насосами», «Способ снижения энергозатрат на насосных станциях с длинными трубопроводами»; патенты: «Струйный насос», «Насосная станция», «Установка для удаления дренажных вод из здания насосной станции» и др.

Под его руководством проводились работы по моделированию режимов работы и управлению системами с распределенными параметрами, получены необходимые условия оптимальности, разработаны алгоритмы решения задачи оптимального управления системами «канал - насосная станция - электрическая сеть». На основе их результатов опубликованы монографии «Управление системами машинного водоподъема» (1986); «Оптимальное управление системами машинного водоподъема» (1992); «Совершенствование диспетчерских режимов эксплуатации каскадов крупных насосных станций с водохранилищами сезонного регулирования» (1995); «Теория оптимального распределения воды в каналах ирригационных систем в условиях дискретности водоподачи потребителям» (2017).

С 1986 года Ш.Х. Рахимов руководит отделом «Автоматизированные системы управления» САНИИРИ. Возглавляя отдел АСУ, он развивал научные принципы построения автоматизированных систем управления водохозяйственными системами, бассейнами рек и магистральными каналами. В этот период принимал непосредственное участие в разработках подсистем «Оперативное управление водными ресурсами» проектов «Автоматизированная система управления бассейна реки Сырдарьи», «Автоматизированная система управления Каршинского магистрального канала», в научных исследованиях по разработке проекта Главного кан-

ПОМНИМ И СКОРБИМ

ла по переброске вод сибирских рек в Среднюю Азию в части автоматизированной системы управления водными ресурсами. Здесь им были разработаны рекомендации по разделам проекта «Организационная структура управления» и «Организация диспетчерской службы».

В 1987 году он защитил докторскую диссертацию на тему «Оптимальное управление системой «канал - насосная станция - электрическая сеть» по специальностям «Управление в технических системах» и «Мелиорация и орошающее земледелие» в Научно-производственном объединении «Кибернетика» Академии наук Узбекистана.

В 1990 году Шавкат Хударгенович стал заместителем директора САНИИРИ по научной работе. В 1991 году ему присвоено ученое звание «профессор» по специальности «Мелиорация и орошающее земледелие».

Ш.Х. Рахимов свою научную деятельность совмещал с педагогической деятельностью, работая в разные годы профессором кафедры «Гидроэнергетические установки» Ташкентского государственного технического университета (1992 – 1996), , профессором и заведующим кафедрой Ташкентского авиационного института (1998-2004), профессором кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами и производством» Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (2016-2021).

С 2004 по 2017 гг. он занимал должность директора САНИИРИ. Этому институту он посвятил всю свою творческую жизнь. В результате его многолетних исследований и разработок было опубликовано более 250 научных статей, 16 патентов и изобретений. За рубежом опубликовано 2 монографии и итоги 20 научных проектов и разработок. Под научным руководством ученого защитили свои научные работы 16 кандидатов и 2 доктора наук.

Ш.Х. Рахимов был постоянным членом редакционной коллегии журналов «АгроИлм», «Иrrигация и мелиорация», «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», «Вестник ТУИТ» и др., членом Ученого совета ТИИИМСХ, НИИИВП, ТУИТ, заместителям председателя научного семинара по специальности «Мелиорация и орошающее земледелие» ТИИИМСХ и председателем научного семинара по специальности «Мелиорация и орошающее земледелие» НИИИВП.

Вся научно-исследовательская деятельность Ш.Х.Рахимова была тесно связана с производством. Он оказывал практическую помощь организациям и предприятиям системы Минводхоза РУз, активно участвовал в проводимой реформе водного хозяйства, организации водораспределения на ирригационных системах, поливов полей и в различных мероприятиях бассейновых водохозяйственных управлений.

Ш.Х. Рахимов был исполнителем и руководителем ряда проектов по водным ресурсам и экологическим вопросам в регионе Центральной Азии, реализованных в сотрудничестве с Всемирным банком, Европей-

ским союзом, Азиатским банком развития и рядом других международных организаций.

Мы гордимся тем, что являлись современниками и соратниками Шавката Хударгеновича Рахимова, человека чистого сердца, обладавшего лучшими человеческими качествами, не жалевшего сил, знаний и опыта для передачи их ученикам и поддержки соратников. Созданная Ш.Х. Рахимовым научная школа, оставленное им научное наследие будут долгие годы освещать путь творческой молодежи, а лампа, зажженная ученым, никогда не погаснет.

Коллеги и ученики

ПОМНИМ И СКОРБИМ



**Доктор физико-математических наук,
профессор, академик АН РУз
Бахадирханов Мухаммад Кабир
Сайдханович
(1942-2021)**

Бахадирханов Мухаммад Кабир Сайдханович родился 17 августа 1942 года в семье служащего.

В 1959 году поступил на физический факультет Среднеазиатского (Ташкентского) государственного университета¹ и в 1965 году успешно завершил обучение на кафедре «Физика полупроводников и диэлектриков». В 1968-1971 годы в городе Санкт-Петербурге учился в аспирантуре Физико-технического института им. А.Иоффе, а в 1971 году успешно защитил кандидатскую диссертацию под руководством ведущего ученого Бориса Иосифовича Болтакса на тему «Комплексное исследование примесей марганца, кобальта, железа и никеля в кремнии».

С 1972 до 1985 года работал на должностях научного сотрудника, старшего научного сотрудника, доцента и профессора кафедры «Физика полупроводников и диэлектриков» Ташкентского государственного университета. В 1982 году в городе Санкт-Петербурге в Физико-техническом институте им. А.Иоффе защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование физических явлений в кремнии, компенсированном элементами переходной группы железа и возможности его использования в полупроводниковой электронике». В ней он заложил основу перспективного научного направления в физике полупроводников по изучению электрофизических свойств сильнокомпенсированных материалов и возможностям их внедрения в электронной отрасль промышленности.

С 1985 года М.С. Бахадирханов начинает активно создавать и развиивать свою научную школу в области физики полупроводников по направлению - «Изучение электрофизических, фотоэлектрических, оптических и гальваномагнитных особенностей кремния, компенсированного примесными атомами». Исследователи этой школы стали ведущими специалистами и продолжателями данного научного направления в научно-производственных учреждениях высшего образования в городах Андижан, Самарканд, Нукус, Карши, Наманган.

¹ Национальный университет Узбекистана С 2008 года

М.С. Бахадирханов открыл низкотемпературную диффузионную технологию образования нанокластеров примесных атомов в полупроводниках. Наблюдались новые физические явления, связанные с внешними воздействиями в полученном кремнии с нанокластерами, и на их основе была обоснована возможность создания многофункциональных датчиков физических величин. Кроме того, он научно обосновал возможность изменения фундаментальных параметров полупроводникового материала с помощью формирования бинарных нанокластеров в объеме кремния, а также показал возможность получения новых материалов для повышения эффективности солнечных элементов. Под руководством М.С. Бахадирханова было подготовлено 10 докторов наук, более 40 кандидатов наук и PhD.

М.С. Бахадирханов создал научную школу, признанную международным научным сообществом, установил тесные связи и обмен опытом с научными центрами США, Китая, России, Казахстана и др. Под руководством М.С. Бахадирханова были установлены эффективные научно-методические связи с научными центрами и ВУЗами нашей республики.

В годы независимости под руководством М.С. Бахадирханова на кафедре «Электроника и микроэлектроника» на базе промышленной технологической линии была создана научная лаборатория по изготовлению солнечных элементов на основе кремния; Разработаны учебно-лабораторные и промышленные приборы нового типа, работающие без внешнего электрического питания, использующие функциональные возможности солнечных элементов.

В период 1985-2012 годов М.С. Бахадирханов работал на должности заведующего кафедры «Электроника и микроэлектроника» Ташкентского государственного технического университета. В период 1991-1992 г.г. работал на должности проректора по научной работе Ташкентского государственного технического университета. С 1996 до 2003 года работал на должности первого заместителя председателя Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

М.С. Бахадирханов, в период своей научно-педагогической деятельности, издал 10 научных монографий, 16 учебников и учебных пособий, кроме этого он является автором более 300 научных статей, 20 изобретений и патентов.

В последние годы Мухаммад Кабир Сайдханович плодотворно работал профессором кафедры «Цифровая электроника и микроэлектроника» Ташкентского государственного технического университета.

В 1992 году М.С. Бахадирханов за успехи и многолетнюю научную работу по изучению физических свойств кремния стал Лауреатом Государственной премии Республики Узбекистан имени Абу Райхана Беруни.

В 1992 году был награжден медалью «Мустақиллик нишони», в 2002 году Почетным знаком «Халқ таълими аълочиси». Также был

ПОМНИМ И СКОРБИМ

награжден в 2005 году Почетными грамотами Республики Узбекистан и Республики Казахстан, в 2020 году награжден орденом “Дустлик”, в 2021 году награжден медалью “Мехнат фахрийси”.

С 2003 года М.С. Бахадирханов является Почетным профессором Государственного университета Цин–Цзян, а с 2012 года Почетным профессором Нукусского государственного университета Республики Каракалпакистан. В 2017 году был избран академиком Академии наук Республики Узбекистан.

Светлая память о Бахадирханове Мухаммад Кабир Сайдхановиче навсегда останется в памяти его коллег, учеников и друзей, а созданная им научная школа международного значения, будет повышать свой статус на благо нашей страны.

Группа коллег и учеников

**К Юбилею академика Академии наук
Республики Узбекистан
*Насирова Темурджана Хайруллаевича***



25 июля 2021 года исполнилось 80 лет Темурджану Хайруллаевичу Насирову – академику АН Республики Узбекистан, доктору технических наук, профессору, директору ООО «Научно-технический Энергоцентр», одному из ведущих ученых республики в области электроэнергетики.

В 1963 году Т.Х. Насиров окончил энергетический факультет Среднеазиатского (Ташкентского) политехнического института и с 1963 по 1980 гг. работал в нём на должностях ассистента, старшего преподавателя, доцента, а с 1980 по 1995 гг. – заведующим кафедрой «Электрические станции» ТашПИ. В 1966-1970 гг. по совместительству работал научным сотрудником Института энергетики и автоматики АН РУз.

В 1994 году был избран членом-корреспондентом АН РУз, а с 2000 года является её действительным членом.

С 1995 года работает Генеральным директором предприятия «Энергоцентр Узбекистана», созданного им на базе Проекта ЕС «Энергоцентр ЕС в РУз» (ныне ООО «Научно-технический Энергоцентр»).

Энергоцентром ЕС разработана стратегия энергосбережения в Узбекистане, проведено более 110 энергоаудитов, подготовлено на годичных курсах повышения квалификации 100 менеджеров-энергетиков. При участии Т.Х. Насирова по проекту Tempus-Tasis совместно с Берлинским техническим университетом и Афинским технологическим институтом разработана программа обучения в Узбекистане бакалавров и магистров по энергосбережению.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Научная деятельность Насирова Т.Х. началась с решения энергетических проблем 60-х годов. Это математические и алгоритмические задачи расчета установившихся режимов сложных ЭЭС, решение которых получило признание: по их результатам Т.Х. Насиров в 1972 году защитил диссертацию к.т.н.

Далее Т.Х. Насиров, совместно с академиком Фазыловым Х.Ф. начал планомерную разработку и обобщение методов комплексного анализа различных режимов ЭЭС. Эти работы начинали проводиться по тематике Отделения физико-технических проблем Союзной Академии наук и включали в себя методы расчета установившихся режимов ЭЭС с учетом изменения частоты; методы анализа послеаварийных режимов ЭЭС и их статической устойчивости; методы анализа несимметричных и сложненесимметричных режимов ЭЭС. На основе результатов исследований совместно с академиком Х.Ф. Фазыловым были опубликованы монографии: «Линейные расчетные модели сетей электрических систем» (1982); «Основы теории и расчета установившихся режимов электрических систем» (1985). В этих работах принимали участие ученики и аспиранты Т.Х. Насирова, защитившие кандидатские диссертации: Осика Л.К. (1985), Шамсиев Х.А. (1988), Садуллаев Э.Ф. (1990), Тынчерова Э.Л. (1990), Радионова О.В. (2012).

Результаты работ были представлены на международных конференциях, а также легли в основу создания адаптивных систем противоаварийной автоматики, были использованы при разработке цифровых систем автоматического регулирования частоты и мощности в ОДУ Средней Азии (1981-1989 гг.).

Обобщением работ в этом направлении явилась защита Т.Х. Насировым в 1989 году диссертации д.т.н. в Новосибирском электротехническом институте.

В 1999 году совместно с Х.Ф. Фазыловым им была опубликована монография «Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация», получившая гриф учебника для электротехнических специальностей вузов.

Под руководством профессора Т.Х. Насирова был разработан гармонизированный с международными Национальный стандарт РУз по качеству электроэнергии. Насиров Т.Х. участвовал в разработке Закона РУз «О рациональном использовании энергии» (1997), руководил разработкой Программы энергосбережения Узбекистана на 2000-2010 гг., участвовал в разработке Закона РУз «Об электроэнергетике» (2009).

В последнее время Т.Х. Насировым и возглавляемой им научной школой ведутся исследовательские работы для подразделений Министерства энергетики РУз, а также для других организаций по цифровой трансформации энергетики, созданию моделей интеллектуального управления выработкой, передачей, распределением и потреблением электроэнергии. Производятся исследования по анализу потерь электроэнергии в сетях, а также снижению удельных расходов топлива на электростанциях.

Теоретическая база этих работ изложена в опубликованных монографиях: Т.Х. Насиров, Т.Ш. Гайибов «Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем» (2014), Т.Х. Насиров, Р.А. Ситдиков «Энергетические обследования предприятий энергетической отрасли Узбекистана» (2014), Т.Х. Насиров, Р.А. Ситдиков «Многокритериальные модели оптимизации режимов энергосистем» (2014). Эти монографии включили в себя результаты исследований докторских диссертаций, защищенных Т.Ш. Гайибовым (2011) и Р.А. Ситдиковым (2011) при научной консультации проф. Т.Х. Насирова.

Всего им опубликовано более 350 научных работ в республике и за рубежом, в том числе 12 монографий. В 2015 году опубликована классическая монография: «Основы общей теории нормальных и аварийных режимов энергосистем», где обобщаются вопросы комплексного моделирования режимов ЭЭС.

В 2016 году совместно с учениками им изданы очередные монографии: Т.Х. Насиров, В.Г. Васильев «Методы расчета потерь электрической энергии в сетях энергосистем»; Т.Х. Насиров, О.В. Радионова «Моделирование режимов электрических систем». В 2019 году написана монография «Применение узлового метода в задачах анализа режимов электроэнергетических систем» (Т.Х. Насиров, О.В. Радионова, Т.Ш. Гайибов); в 2020 году издана монография «Методы повышения эффективности режимов электроэнергетических сетей энергосистем» (Т.Х. Насиров, Т.Ш. Гайибов, Р.А. Ситдиков, В.Г. Васильев).

Научную деятельность проф. Т.Х. Насиров успешно сочетает с учебно-методической деятельностью в ТашГТУ. Он награжден Знаком «Отличник высшей школы», является «Почетным энергетиком Узбекистана».

Т.Х. Насиров был представителем Республики Узбекистан на различных форумах: (ООН, Бангкок, 1996), (ООН, Женева, 2000) и многих других. В 1997-2004 гг. Т.Х. Насиров был приглашенным членом Совета по защите докторских диссертаций в г. Алма-Аты (КазНИИЭ).

Т.Х. Насиров успешно работал председателем Экспертного совета по энергетике, информатике и информационным технологиям ВАК при КМ РУз (2005-2010 гг.); зам. гл. редактора журнала «Известия Академии наук РУз (серия техн. наук)»; Узбекского журнала «Проблемы информатики и энергетики АН РУз». С 2002 года работает членом Редакционного Совета журнала «Проблемы энерго- и ресурсосбережения».

**Коллеги и ученики желают Юбиляру
 дальнейших достижений
 в научном творчестве и подготовке научных кадров!**

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Отформатировано: Цвет шрифта: Другой цвет
(RGB(0;122;55))

ГОДОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН



MyShared



9 772 091 598506