



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 4

2021

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

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Sh.Mirziyoyev



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

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

ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ

Журнал 2002 йилда
ташкил қилинган

Йилига 4 марта
чоп этилади

2021 й. _____ №4

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. С.М.Турабджанов,
т.ф.д., проф. Ж.Б.Тошов

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

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

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

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

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

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

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

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

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

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Қайта тикланувчи энергия манбалари замонавий энергетика тизимига интеграциялаш масалалари	17
Т. Х. Носиров, Ш.В. Хамидов, Ҳ. А. Шамсиев, А. Т. Мирзаев. Ўзбекистон энергетикасини ривожлантириш муаммолари ва уларни тизимий таҳлили ва ечимлари.	35
Ж. О. Обиджонов. ЭНҲАТ электр энергиясини назорат қилиш ва ҳисобга олиш эволюциясида янги кадамдир.	44
Т.Ш. Гайбоб, Б.М. Пулатов. Электр станцияларда ишловчи агрегатларнинг оптимал таркибини генетик алгоритм ёрдамида танлаш.	49
А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев. Шахар тақсимловчи тармоқ параметрларини оптимал қийматлардан оғиши ва уларни танлаш бўйича тавсиялар.	55
О.В. Радинова. 0,4 - 10 кВ кучланишли электр тармоқ режимларини ҳисоблаш учун ноинтрузив мониторингдан фойдаланиш тўғрисида	61
С. Э. Шансматов. Электр қурилмалари томонидан ҳосил бўлган носинусоидал кучланиш даражасини аниқлаш.	66
Ш.В.Хамидов, Б.Р.Нормуратов. Бирлашган қувват оқимли регулятор UPFC ни ўз ичига олган FACTS қурилмалардан фойдаланган ҳолда, бир фазали тармоқдаги қувват оқимининг математик модели.	73
Ш.Ш Латипов, У.М. Набиев, И.Б. Икрамджанов, Ш.А. Болтаев. Электр энергетика тизимларининг барқарорлашган ҳолатларини ҳисоблаш алгоритмининг частота ўзгаришини ҳисобга олиб такомиллаштириш.	80
Қ.Г. Абидов, О. О. Зарипов. Насос агрегатларини ўз-ўзидан ишга туширишда асинхрон двигателнинг электромеханик ўтиш режимларини таҳлил қилиш.	86
М.М. Холиддинова. FACTS технологияси – электр энергетикасини интеллектуаллаштириш воситаси.	93
ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
Д. Н. Мухиддинов, Ш. С. Санаев. Саноатда ишлатиладиган сув совутиш қурилмаларининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш.	100
М.А. Короли, Ф.А. Хашимова. Ўзбекистон иссиқлик манбаларида энергия тежамкор технологияларни қўллашни таҳлили.	107
Х.С. Исаходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Ш.С. Мавжудова. Буғлатиб совутишда иссиқлик ва масса узатиш жараёнини математик моделини ишлаб чиқиш.	117
Н.О. Усмонов, И.О. Тошпулатов, С.К. Ярашов, Д.Т. Рахматов. Ковак полимер толали янги буғланма ҳаво совутигичини ишлаб чиқиш.	124
М. А. Асретдинова, Н. А. Юнусова. ИЭС да сувни тозалашнинг экологик технологияси.	131
И.А. Тошпулатов. Билвосита буғланма совутигич асосида совутиш машинасининг айланма сувини совутиш.	138
Б.Ҳ. Юнусов, У.Э. Сувонова. Конденсатор тизимининг энергетик самарадорлиги	144
Л.М. Эшқуватов. Вертикал ковшурланган қувурларда буғнинг конденсацияланишини экспериментал тадқиқот қилиш.	148
А.Р. Иванисова, Ж.Ю. Усмонов, Б.Б.Баходиров. Иссиқлик насосини хона ҳароратини совутиш режимида синовдан ўтказиш.	154
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
Т.Х. Насиров, А. Троицкий. Энергия аудит ва энергия бошқариш асосида энергия самарадорлигини ошириш.	161
Ф.А. Хошимов, И.У. Рахронов, Д.А. Жалилова. Ишлаб чиқариш ўртасида алоқага эга бўлган комплекс объектларнинг электр энергияси истеъмоли поғоналарини таҳлил ва прогноз қилишнинг динамик моделлари.	166
М. Бобожанов, Э. Болте. "Яшил" иктисодиётга ўтишнинг энергетик жиҳатлари.	172

А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Сн Донёров, ДЖ.К. Текширув ва бошқарув тизимларининг узунлама тақсимланган параметрларига эга бўлган катта токларнинг контактиз ўзгарткичларининг статик характеристикасининг ночизиқли.	176
Н.Б. Пирматов, А.Т. Паноев. Тўқимачилик корхоналарида қўлланилаётган асинхрон моторларнинг динамик режимларини таҳлил қилиш орқали энергия тежаш.	182
М.М. Туляганов. Иссиқлик ўткинчи жараёнлари ҳисобга олинган асинхрон электр юритмаси динамик режимини оптимал бошқариш.	188
Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков. Электр таъминоти подстанциясини эксплуатация қилишда хавфсизликни ихтимолли таҳлил қилишда нейрон тармоқни қўлланиши.	194
Ф.А. Хошимов, И.У. Раҳмонов, Д.А. Жалилова. Саноат корхоналарида электр энергиясини тежаш захираларини баҳолаш усуллари.	200
Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев. Табиий совуқлик тупроқ аккумуляторидан фойдаланиб ер ости мева-сабзавот омборларининг совуқлик таъминоти тизимларида энергияни тежаш.	209
Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг функционал масалаларини ечишнинг ахборот таъминотини ишлаб чиқиш.	220
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А.А. Таубалдиев. Газ тақсимлаш станциясида детандер-генератор агрегатини тадбиқ этишдан техник-иқтисодий ҳисоби.	226
С.А. Абдухалилов, В.В. Хақимов, Б.А. Абдухалилов. “Олмалиқ КМК” акциядорлик жамиятидаги КУКП-10/40 ва КУПЖВ-20/40 қозонларининг иккинчи даражали бўғи асосида электр энергияси ишлаб чиқариш тизимини ташкил этишнинг баъзи техник муаммолари.	232
МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
Р.Р. Авезов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов, А.Э. Хаитмухамедов, А.Ю. Усманов, С.А. Худойбердиев. Куёш нурланишини тубида ютувчи куёш сув иситгич коллекторларининг куёш нурланишини ҳажмий ютгичининг иссиқлик самарадорлиги коэффиценти.	238
С.В. Евдокимов, А.А. Орлова. Гидротехник иншоотларнинг ишончлилигини баҳолаш меъзонлари ва техник ҳолатлари.	243
Н.Р. Авезова, К.А. Самнев, А.У. Вохидов, М.Х. Дехконова, Д.У. Абдухамидов. Энергия тежамкор дераза тўсиқли бинонинг ҳарорат режими.	250
Н.Ф. Зикриллаев, Э.Б.Сантов. Таркибида микро ва нано кластерлари бўлган кремний асосида янги турдаги куёш элементлари.	257
Э.Б. Сантов, Ж.Б. Тошов. Яқка тартибдаги фойдаланиш учун портатив автоном куёш электр стансияси	263
А. С. Дусяров. Орқа металл акслантиргич катламига эга ясси ойна рефлекторда тугри куёш нурланишининг интеграл акслантириш коэффиценти аниқлаш.	269
О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиқов, Р.А. Ситдиқов. Автоматлаштирилган куёш кузатув тизимидан фойдаланиб фотоэлектрик қурилманинг самарадорлигини ошириш.	275
А.М. Мирзабаев, Б.Б. Камалов, О.Р. Сыгдыков, Ш.Ж. Махамдаминов, О.Г. Бурунов. Жаҳон банки ва европа иттифоқининг Ўзбекистонда куёш сув кўтариш тизимларини ривожлантириш инвестициялар.	281
О.Х. Полвонов, А. Абдулазиз уулу, Р.А. Ситдиқов. Олис ва қишлоқ ҳудуди истеъмолчилари учун кичик қувватли комбинациялашган куёш – шамол автоном электр станция.	286
Л.С. Сувонова. Куёш энергияси асосида юқори ҳароратли электр иситгичларни тайёрлаш.	295

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

В. I. Хўжиев, Ш.Ш.Шодмонов. Углеводород казиб олишни ошириш мақсадида Ҳаккул конида кудук синов натижаларини таҳлил қилиш.	302
У.С. Назаров, М.А. Абдурахимов, Ш.Т. Набиев, В.Р. Мухамедшин. Нефт ва газ операцияларида энергия самарадорлигини ошириш	307
И.Х. Халисматов, Ж.Қ. Бабалов, Ш.Э. Шомуродов. Формирование Бухоро-Хива нефтгазли региони, қораиз тузилмаси ва унинг атрофида битум тўпламларининг шаклланиши.	313
А.И.Муродов, С.Ш.Хабибуллаев. Газни ер ости сақлаш иншоотларини ишлатишда кудукларни тадқиқот қилиш ишларини самарадорлигини ошириш.	319
Г.М. Гуломова, Э.Б. Абдурахмонов, М.С. Тиллашайхов, Д.О. Низимова. Маҳаллий кўмир асосида олинган адсорбентни толуол буғлари билан туйинтириб, унинг адсорбцион энергетик хусусиятларини ўрганиш.	325
Н.У. Нуриддинова, М.С. Саидов, М.Б. Арипходжаева. Мис ўтказгичли электр симларида ёнғин сабабини аниқлаш учун ёнғин-техник экспертизани сифат жиҳатидан янги босқичга олиб чиқиш ва такомиллаштириш.	329
ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ	
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф, Б.Б. Махмарасулов. Гидротехник иншоотлар затворларида микрогидроэлектростанциялардан фойдаланишни техник-иқтисодий асослаш.	334
О.Я. Гловацкий, Б. Хамдамов, А.Б. Азимов, Б.Д. Хамидов, К.Л. Иноятова. Гидроэнергетика қурилмаларининг энергия тежамкорлик режимлари.	340
А.Б. Насрулин. Кичик ГЭСларни оптимал лойиҳалаш ва фойдаланишни гидроэкологик мониторинг техникаси.	346
М.М. Мухаммадиев, Абдуазиз уулу Абдурауф. Қуёш, шамол ва гидравлик энергия манбалари асосидаги комбинацион энергетик қурилмаларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш усуллари.	353
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
О.Ё. Нурматов. Йирик насос станцияларнинг электр энергетика иш режимларига таъсири ва уларнинг утқинчи режимларини моделлаштириш.	359
А.С. Халилов. Шамол станцияларини энерготизим тугунлари режим параметрларига таъсирини баҳолаш.	366
ХОТИРА	
В.К. Кабулов	372
Г.Я. Умаров	375

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.

№ 4

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. С.М.Турабджанов,
д.т.н., проф. Ж.Б.Тошов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

д.т.н., проф. Узаков Г.Н. PhD, проф. Kuubock 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. Юлдошев 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. Халисматов И.Х. PhD, доц. Кулиев А.С. (Россия)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

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

Адрес редакции: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, 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. Вопросы интеграции возобновляемых источников энергии в современные энергосистемы.	17
Т.Х. Насиров, Ш.В. Хамидов, Х.А. Шамсиев, А.Т. Мирзаев. Проблемы развития энергетики Узбекистана, требующие системного анализа и решения	35
Ж.О. Обиджонов. АСКУЭ - новый шаг в эволюции контроля и учета электроэнергии.	44
Т.Ш. Гайибов, Б.М. Пулатов. Выбор оптимального состава работающих агрегатов электрической станции с использованием генетического алгоритма.	49
А.Д. Таслимов, М.В. Меликҗиев. Отклонение параметров городской распределительной сети от их оптимальных значений и рекомендации по их выбору	55
О.В. Радионова. Об использовании неинтрузивного мониторинга для расчета режимов электрических сетей напряжением 0,4 – 10 кВ.	61
С.Э. Шаисматов. Определение уровня несинусоидальности напряжения создаваемого электроустановками	66
Ш.В.Хамидов, Б.Р.Нормуратов. Математическая модель потока мощности в однофазной сети с применением устройств facts, содержащей объединенный регулятор потока мощности UPFC.	73
Ш.Ш. Латипов, У.М. Набиев, И.Б. Икрамджанов, Ш.А. Болтаев Усовершенствование алгоритм расчета установившихся режимов электроэнергетических систем с учетом изменения частоты.	80
К.Г. Абидов, О.О. Зарипов. Анализ режимов электромеханических переходных процессов асинхронного двигателя при самозапуске насосных установок	86
М.М. Холиддинова. Технология FACTS – инструмент интеллектуализации электроэнергетики.	93

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Д. Н. Мухиддинов, Ш. С. Санаев. Анализ современного состояния применяемых в промышленности устано-вок водяного охлаждения.	100
М.А. Короли, Ф.А. Хашимова. Анализ применения энергосберегающих технологий на теплоисточниках Узбекистана.	107
Х.С. Исходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Ш.С. Мавжудова. Разработка математической модели процесса тепломассопереноса при испарительном охлаждении	117
Н.О. Усмонов, И.О. Тошпулатов, С.К. Ярашов, Д.Т. Рахматов. Разработка нового испарительного воздухоохладителя из полых полимерных волокон.	124
М. А. Асретдинова, Н. А. Юнусова. Экологичная технология водоподготовки на ТЭС.	131
И.А. Тошпулатов. Охлаждение оборотной воды холодильных машин на основе косвенно-испарительного охладителя.	138
Б.Х. Юнусов, У.Э. Сувонова. Энергетическая эффективность конденсаторной системы.	144
Л.М. Эшкуватов. Экспериментальное исследование конденсации пара на вертикальных оребренных трубах.	148
А.Р. Иванисова, Ж.Ю. Усмонов, Б.Б.Баходиров. Испытание работы теплового насоса в режиме кондиционирования воздуха в помещении.	154

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Т.Х. Насиров, А. Троицкий. Повышение энергоэффективности на основе энергетического аудита и энер-гоменеджмента.	161
Ф.А. Хошимов, И.У. Рахмонов, Д.А. Жалилова. Динамические модели анализа и прогнозирования уровней электропотреб-ления комплексных объектов с межпроизводственными связями.	166
М. Бобожанов, Э. Болте. Энергетические аспекты перехода к «зеленой» экономике.	172

А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Сн Донёров, ДЖ.К. Ибрагимов, Х.И. Муродов. Нелинейность статической характеристики бесконтактных преобразователей больших токов с продольно распределенными параметрами систем контроля и управления.	176
Н.Б. Пирматов, А.Т. Паноев. Сбережение энергии путём анализа динамических режимов асинхронных двигателей, используемых на текстильных предприятиях.	182
М.М. Туляганов. Оптимальное управление динамическим режимом асинхронного электропривода с учетом тепловых переходных процессов.	188
Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков. Применение нейронной сети для вероятностного анализа безопасности при эксплуатации подстанции электроснабжения.	194
Ф.А. Хошимов, И.У. Рахмонов, Д.А. Жалилова. Методы оценки резервов экономии электроэнергии на промышленных предприятиях.	200
Г.Н. Узakov, Ш.К. Яхшибоев. Энергосбережение в системах холодоснабжения подземных плодoовощехранилищ с использованием грунтового аккумулятора естественного холода.	209
Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов Разработка информационного обеспечения решения функциональных задач процессов управления энергосбережением.	220
А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А.А. Таубалдиев. Расчёт технико-экономического обоснования внедрения детандер-генераторного агрегата на газораспределительном пункте.	226
С.А. Абдухалилов, В.В. Хакимов, Б.А. Абдухалилов. Некоторые технические аспекты и проблемы внедрения системы выработки электроэнергии на базе вторичного пара котлов-утилизаторов КУКП-10/40 и купжв-20/40 АО “Алмалыкский ГМК”.	232
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ	
Р.Р. Аvezов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов, А.Э. Хаитмухамедов, А.Ю. Усманов, С.А. Худойбердиев. Коэффициент тепловой эффективности поглотителя солнечного излучения плоских солнечных водонагревательных коллекторов с донным поглощением солнечного излучения.	238
С.В. Евдокимов, А.А. Орлова. Критерии оценки надежности и технического состояния гидротехнических сооружений.	243
Н.Р. Аvezова, К.А. Самиев, А.У. Вохидов, М.Х. Дехконова, Д.У. Абдухамидов. Тепловой режим помещения с энергосберегающим оконным ограждением.	250
Н.Ф. Зикриллаев, Э.Б.Саитов. Солнечный фотоэлемент нового класса на основе кремния с микро – и нанокластерами.	257
Э.Б.Саитов, Ж.Б. Тошов. Переносная автономная солнечная электростанция индивидуального использования.	263
А.С. Дусяров. Определение интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным металлическим отражающим слоем.	269
О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиков, Р.А. Ситдиков. Повышение эффективности фотоэлектрической установки использованием автоматизированной системы слежения за солнцем.	275
А.М. Мирзабаев, Б.Б. Камалов, О.Р. Сыгдыков, Ш.Ж. Махамадаминов, О.Г. Бурунов. Инвестиции всемирного банка и евросоюза в развитие солнечных систем водоподъёма в Узбекистане.	281
О.Х. Полвонов, А. Абдулазиз уулу, Р.А. Ситдиков. Маломощная комбинированная солнечно-ветровая автономная электростанция для удаленных и сельских потребителей	286
Л.С. Сувонова. Изготовление высокотемпературных электронагревателей на основе солнечной энергии.	295

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ	
Б.И. Хожиев, Ш.Ш. Шодмонов. Анализ результатов испытаний скважин на месторождении хаккуль с целью увеличения добычи углеводородов.	302
У.С. Назаров, М.А. Абдурахимов, Ш.Т. Набиев, В.Р. Мухамедшин. Увеличение энергоэффективности в нефтегазовых операциях.	307
И.Х. Халисматов, Ж.Қ. Бабалов, Ш.Э. Шомуродов. Формирование Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона, структуры кураиза и месторождений битума вокруг него.	313
А.И.Муродов, С.Ш.Хабибуллаев. Повышение эффективности исследований при эксплуатациях подземных хранилищ газа.	319
Г.М. Гуломова, Э.Б. Абдурахмонов, М.С. Тиллашайхов, Д.О. Низамова. Исследование адсорбционных энергетических свойств паров толуола, насыщающих адсорбент, полученный на основе местного угля.	325
Н.У. Нуриддинова, М.С. Саидов, М.Б. Арипходжаева. Совершенствование и выведение на качественно новый уровень пожарно-технической экспертизы по установлению причины возникновения пожара в электропроводке с медными проводниками.	329
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ	
М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф, Б.Б. Махмарасулов. Техничко-экономическое обоснование использование микрогидроэлектростанций на затворах гидротехнического сооружения.	334
О.Я. Гловацкий, Б. Хамдамов, А.Б. Азимов, Б.Д. Хамидов, К.Л. Иноятова. Энергосберегающие режимы гидроэнергетических установок.	340
А.Б. Насруллин. Методика гидроэкологического мониторинга для оптимального проектирования и эксплуатации малых гидроэлектрических станций.	346
М.М. Мухаммадиев, Абдуазиз уулу Абдурауф. Методы определения технико-экономических показателей комбинированных энергоустановок на основе солнечных, ветровых и гидравлических источников энергии.	353
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
О.Ё. Нурматов. Моделирование переходных режимов крупных насосных станций и их влияние на режим работы электроэнергетических систем.	359
А.С. Халилов. Оценка влияния ветровых станций на параметры энергетических систем	366
ПОМНИМ	
В. К. Кабулов	372
Г.Я. Умаров	375

**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. _____ №4

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. S.M. Turabdzhanov, DScTech, prof. Zh.B.Toshov

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

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

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

DSc, prof. F.A. Khoshimov DSc, prof. Chemborisova N.Sh. (Russia)
DSc, prof. Ishnazarov O.H. 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. Yuldoshev 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. Issues of integration of renewable energy sources in modern power systems.	17
T.H. Nasirov, Sh.V. Khamidov, H.A. Shamsiev, A.T. Mirzaev. Problems of Uzbekistan's energy development that require systematic analysis and solutions.	35
J.O. Obidzhonov. ASKUE is a new step in the evolution of control and accounting of electricity.	44
T.S. Gayibov, B.M. Pulatov. Method for selection of optimal composition of operating units in power plants by genetic algorithm.	49
A.D. Taslimov, M.V. Melikyziev. The deviation of city distribution network parameters from optimal values and recommendations for their selection.	55
O.V. Radionova. About using of non-intrusive monitoring for calculate of electric networks modes with voltage 0.4 - 10 kV.	61
S.E. Shaismatov. Determination of the level of non-sinusoidal voltage generated by electrical installations.	66
Sh.V.Khamidov, B.R.Normuratov. Mathematical model of power flow in a single-phase network using facts devices containing united power flow regulator UPFC.	73
Sh.Sh Latipov, U.M. Nabiev, I.B. Ikramdzhonov, Sh.A. Boltaev. Improvement of the algorithm for calculation of steady modes of electric power systems taking into account frequency change	80
K.G. Abidov, O.O. Zaripov. Analysis of the modes of electromechanical transients of an asynchronous motor during self-starting of pumping units.	86
M.M. Kholiddinova. FACTS technology is a tool for the intellectualization of the electric power industry.	93

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

D. N. Mukhiddinov, S. S. Sanaev. Analysis of the current state of water cooling systems used in industry.	100
M.A. Koroli, F.A. Hashimova. Analysis of the use of energy-saving technologies on heat sources in Uzbekistan.	107
X.S. Isaxodjayev, F.Sh. Umardjanova, Sh.S. Mavjudova. Development of a mathematical model of the heat and mass transfer process during vapor cooling.	117
N.O. Usmonov, I.O. Toshpulatov, S.K. Yarashov, D.T. Raxmatov. Development of a new evaporative aircooler made of polymer hollow fibers.	124
M. A. Nasretidinova, N. A. Yunusova. Ecological technology of water treatment at TPP.	131
I.A. Toshpulatov. Cooling of circulating water of refrigerating machines based on an indirect evaporative cooler.	138
B. Yunusov, U.E. Suvonova. Energy efficiency of the condenser system	144
L.M. Eshkuvatov. Experimental study of steam condensation on vertical finned tubes.	148
A.R. Ivanisova, Zh.Yu. Usmanov, B.B.Bakhodirov. Testing the heat pump operation in indoor air conditioning.	154

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

T.H. Nasirov, A. Troitsky. Energy efficiency improvement based on energy audit and energy management.	161
F.A. Hashimov, I.U. Rakhmonov, D.A. Zhalilova. Dynamic models for analysis and forecasting electric consumption levels of complex facilities with inter-production links.	166
M.Bobojanov, E.Bolte. Energy aspects of the transition to a "green" economy.	172
A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Y.A. Meliboev, O.Ch. Doniyorov, J.K. Ibragimov, X.I. Murodov. Nonlinearity of static characteristics of non contact high-current converters with longitudinally distributed parameters of monitoring and control systems.	176
N.B. Pirmatov, A.T. Panov. Energy saving by analysis of dynamic modes of asynchronous motors used in textile enterprises.	182

M.M. Tulyaganov Optimal control of the dynamic mode of an asynchronous electric drive taking into account thermal transients.	188
Salihjan S. Khalikov, Sarvar S. Khalikov. Application of a neural network for probabilistic analysis of safety during operation of an electric power substation.	194
F.A. Hashimov, I.U. Rakhmonov, D.A. Zhalilova. Methods for evaluating electric power saving reserves in industrial enterprises	200
G.N. Uzakov, Sh.K. Yakhshiboev. Energy saving in cooling systems of underground fruit and vegetable storages using a ground cold accumulator.	209
G.K. Ishankhodjaev, M.B. Sultanov. Development of information supply solution of functional tasks of energy saving management processes.	220
A.A. Mukolyans, A.D. Taslimov, A.A. Taubaldiev. Calculation of a technical and economic justification for implementing a expander -generator unit at a gas distribution station.	226
S.A. Abdukhalilov, V.V. Khakimov, B.A. Abdukhalilov. Some technical aspects and problems of implementation of the electric power generation system based on secondary steam of recovery boilers KUKP-10/40 and KUPZHV-20/40 Almalyk GMK JSC.	232
ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	
R.R. Avezov, F.S. Kasimov, G.K. Niyasov, A.E. Khaitmukhamedova, A.Y. Usmanov, S.A. Khudoiberdiev. Thermal efficiency coefficient of solar irradiation capacitive absorber of flat-plate solar water-heating collectors with bottom absorption of solar irradiation.	238
S.V. Evdokimov, A.A. Orlova. Criteria for assessment of reliability and technical conditions of hydraulic structures.	243
N.R. Avezova, K.A. Samiev, A.U. Vohidov, M.H. Dekhkonova, D.U. Abduamidov. Thermal room mode with energy-saving window fence.	250
N.F. Zikrillayev, E.B. Saitov. New class of solar photocell based on silicon with micro - and nanoclusters.	257
E.B. Saitov, J.B. Toshov. Portable autonomous solar power plant for individual use.	263
A.S. Dusiarov. Determination of the integral reflection coefficient of direct solar radiation of a flat glass reflector with a rear metal reflecting layer.	269
O.H. Polvonov, Kh.Z. Siddikov, R.A. Sitdikov. Improving energy efficiency by regulating the power of an automated photovoltaic device and using a tracking system.	275
A.M. Mirzabaev, B.B. Kamalov, O.R. Sydykov, Sh.Zh. Mahamadinov, O.G. Buronov. Calculation of the integration process of solar power plants into the central electric network.	281
O.H. Polvonov, A. Abdulaziz uulu, R.A. Sitdikov. Small power combined solar-wind autonomous power plant for remote and rural area consumers.	286
L.S. Suvonova. Manufacture of high-temperature electric heaters based on solar energy.	295
OIL AND GAS. FUEL RESOURCES	
B.I. Khozhiev, Sh.Sh. Shodmonov. Analysis of well testing results at the Hakkul field in order to increase hydrocarbon production.	302
U.S. Nazarov, M.A. Abdurakhimov, Sh.T. Nabiev, V.R. Mukhametshin. Increasing energy efficiency in oil and gas operations.	307
I.X. Xalimatov, J.K. Babalov, Sh.E. Shomurodov. Formation of the Bukhara-Khiva oil and gas region, the structure of qurayz and bitumen deposits around it.	313
A.I. Muradov, S.Sh. Khabibullaev. Increasing the efficiency of research during operation of underground gas storages.	319
G.M. Gulomova, E.B. Abdurakhmanov, M.S. Tillashaykhov, D.O. Nizamova. Study of adsorption energy properties of toluene vapors saturating adsorbent obtained on the basis of local coal.	325

N.U. Nuriddinova, M.S. Saidov, M.B. Aripkhodzhayeva. Improvement and bringing to a qualitatively new level of fire-technical expertise to establish the cause of a fire in electrical wiring with copper conductors.	329
ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS OF ENERGY	
M.M. Mukhammadiev, K.S. Juraev, Abdulaziz uulu Abdurauf, B.B. Makhmarasulov. Technical and economic justification of the use of microhydropower plants at the gate of a hydraulic structure.	334
O.J. Glovatsky, B. Hamdamov, A.B. Azimov, B.D. Hamidov, K.L. Inoyatova. Energy saving modes of hydropower plants.	340
A.B. Nasrulin. Hydroecological monitoring technique for optimal design and operation of small hydroelectric power plants.	346
M.M. Mukhammadiev, Abdulaziz uulu Abdurauf. Methods for determining the technical and economic indicators of combined power plants based on solar, wind and hydraulic energy sources.	353
SCIENTIFIC REPORTS	
O.E. Nurmatov. Modeling of transition modes of large pumping stations and their influence on the operating mode of electric power systems.	359
A.S. Khalilov. Assessment of the influence of wind stations on the parameters of power systems.	366
REMEMBER	
V. K. Kabulov	372
G.Ya. Umarov	375

**ВОПРОСЫ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****К.Р. Аллаев**

Мақолада ўзгарувчан қайта тикланувчи энергия (ҚТЭ) манбаларининг хозирги замон энергетик тизимларига тадбиқ қилиши масалалари ўрганилган. Электр энергиясини ишлаб чиқиши технологиялари – бу жамиятни ва иқтисодиёт тармоқларини ишончли равишда сифатли энергия билан таъминлаш усуллари хисобланади. Ананавий ва ўзгарувчан қайта тикланувчи энергия (ЎҚТЭ) манбаларининг ўзаро солиштириши орқали энергетик системасида энергия ва қувват қоплаш улушлари ва таъсирлари келтирилган. Электрик тизимида қўшимча пайдо бўладиган энергия манбалари тизмий эффект бериши кўрсатилган. Булар қаторига энергия истемолнинг чайқалиши, электр тизимининг динамик кўрсаткичларини ўзгариши ва бошқалар киради. Бундай факторлар электр энергиясининг ишлаб чиқариши ва истемол қилинишидаги нархларида ўз ифодасини топиши шартлиги кўрсатилган. Энергетикада ЎҚТЭнинг пайдо бўлиши, энергия тизимининг суткалик графикларида ўз ифодасини топади – бу графиклар настга тортилади ва умуман ўзгарувчанлик хосил бўлади, айниқса ҚТЭ ўчирилгандан кейин. ҚТЭнинг қуввати қанча катта бўлса, тизимнинг суткалик графиги шунча кўп настга тушади ва бу жараён диспетчерлик бошқарувга салбий таъсир кўрсатади. Бундай жараёнлар ўз вақтида ЎҚТЭни энергетик тизимига нотўғри ҳисоблар асосида тадбиқ қилинганлигини кўрсатади ва тизимнинг ишончли ишлашига салбий таъсир қилиши мумкин. Афсуски, бундай жараёнлар Калифорнияда (АҚШ) ва Англияда кузатилган. Электр энергетикасида тизмий қўшимча тўловлар катта тўртта қисимдан иборат бўлиши мумкинлиги кўрсатилган ва шулар қаторига қуйидагилар киради – захира (бошқариши тўловлари), истемолни текислаш тўлови, тизмий тўлов ва улаш тўловлари ва улар рақамлар орқали ифодаланган. Агарда ЎҚТЭ кичик миқдорда бўлиб, қуввати электр тизимининг умумий қувватининг (5-10)% ташкил қилса, диспетчерлик бошқарувига таъсири кам бўлади. Вахоланки, ЎҚТЭнинг қуввати (20-25)%дан ошса электр тизимининг диспетчерлик бошқарувга салбий таъсир кўрсатиши аниқланган.

В статье рассматриваются вопросы интеграции переменчивыми возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современные энергосистемы (ЭС). Отмечается, что технология производства электроэнергии – это способ удовлетворения общества и отраслей экономики надежной и качественной энергией и мощностью. Проанализированы и сравнительно оценены, вклады технологий генерации традиционными и переменчивыми возобновляемыми источниками энергии (VRE - variable renewable energy) в покрытии энергии и мощности в энергосистеме. Появление в электрической системе любых дополнительных источников энергии будет иметь системный эффект, в виде колебаний нагрузки, перегрузки и изменения динамических параметров электрической сети. Очевидно, что эти факторы должны найти свое отражение в стоимостных показа-

телях производства и потребления электроэнергии. В суточном графике нагрузки энергосистемы, являющимся неравномерным и с провалами, при добавлении в состав ЭЭ VRE, может появиться еще один провал, что усиливает неравномерность графика, в периоды отключения ВИЭ. Чем больше мощность VRE, тем больше провал графика нагрузки, с соответствующими трудностями диспетчерского управления энергосистемой. Несвоевременное и нерациональное решение вопросов сложного процесса интеграции ВИЭ в современные энергосистемы может поставить под угрозу надежность энергосистемы. В качестве примера рассмотрены процессы, происходящие в энергосистемах мира с ВИЭ, например, в Калифорнии (США) и Англии. Отмечается, что системные издержки часто подразделяются на следующие четыре категории: издержки на резервирование (называемые некоторыми исследователями «издержками на манёвренность» или «издержками на управляемость»), издержки на выравнивание графика нагрузок, сетевые издержки и издержки на подключение; приводятся их численные оценки. Показано, что интеграция малых объемов переменчивых ВИЭ в современные энергосистемы в пределах (5-10)% от суммарной мощности энергосистемы не создают особых проблем. Усложнения диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ВИЭ начинаются после достижения ими доли в (20-25)% и более от общей установленной мощности системы.

The article deals with the integration of variable renewable energy sources (RES) into modern energy systems. It is noted that electricity production technologies are a way to satisfy society and economic sectors with reliable and high-quality energy and power. The contribution of generation technologies by conventional and variable renewable energy sources (VRE) to the coverage of energy and power in the power system has been analyzed and compared. The appearance of any additional energy sources in the electrical system will have a systemic effect, in the form of load fluctuations, overloads and changes in the dynamic parameters of the electrical network. Obviously, these factors should be reflected in the cost indicators of electricity production and consumption. In the daily load schedule of the power system, which is uneven with dips, when VRE is added to its composition, another failure may appear, which increases the irregularity of the schedule during periods of RES shutdown. The higher the VRE power, the greater the failure of the load curve, with the corresponding difficulties in the dispatch control of the power system. Untimely and irrational solution of the issues of the complex process of integration of renewable energy sources into modern energy systems can jeopardize the reliability of the energy system. As an example, the processes taking place in the energy systems of the world with renewable energy sources, for example, in California (USA) and England, are considered. It is noted that system costs are often divided into four broad categories: reservation costs (also called “agility costs” or “manageability costs” by some researchers), load balancing costs, network costs and connection costs, and their numerical estimates are shown. It is shown that the integration of small volumes of changeable RES into modern power systems within (5-10)% of the total power of the power system does not pose a particular problem. Complications in the dispatching of power systems due to the insta-

bility of RES operation begin after they reach a share of (20-25)% or more of the total installed capacity of the system.

1. Общая характеристика проблемы. Технологии производства электроэнергии – это способы удовлетворения общества и отраслей экономики надежной и качественной энергией и мощностью. Необходимо сравнительно оценить, вклад технологий генерации традиционными и переменными возобновляемыми источниками энергии (VRE - variable renewable energy) в покрытии графиков энергии и мощности в энергосистеме [1].

В последние десятилетия наблюдается беспрецедентный рост ВИЭ, в частности, двух технологий генерации электроэнергии - солнечной фотоэлектрической (PV) и ветровой энергии, - с соответствующими глобальными долями в 4% и 7% установленных мощностей в 2020 году и среднегодовым приростом на 27% и 13% за последние 5 лет [10, 12, 13].

Установки с базовой нагрузкой (ТЭС, АЭС) способствуют выработке основного количества энергии, даже если их общая установленная мощность довольно низкая, потому что они работают непрерывно большую часть времени в течении дня и года. ГЭС и ГАЭС могут внести существенный вклад в обеспечение пиковых генерирующих мощностей, в то же время вкладывая относительно мало энергии [2].

Масштабный переход к ВИЭ и их внедрение в современные энергосистемы, в целом приводит к возрастанию системных затрат, так как, генераторы со стохастической выработкой, использующие энергию Солнца и ветра, требуют создания резервных генерирующих и/или накопительных мощностей [3].

Появление в электрической системе любых дополнительных источников энергии будет иметь системный эффект в виде колебаний нагрузки, перегрузки и изменения динамических параметров электрической сети. Очевидно, что эти факторы должны найти свое отражение в стоимостных показателях производства и потребления электроэнергии, а также параметрах, показывающих устойчивость и надежность энергосистемы [4].

Традиционно, ТЭС и АЭС работают в базе, и их загруженность по мощности в году составляет более (80-85)%, в то время как пиковые станции (ГЭС, ГАЭС) загружены примерно - (10-15)%, а загруженность возобновляемых источников энергии, по всей видимости, в начальном этапе составят не более (5-10)%.

В суточном графике нагрузки энергосистемы, являющейся неравномерным с провалами, при добавлении в ее состав VRE, может появиться еще один провал, что усиливает неравномерность графика, в периоды отключения ВИЭ. Чем больше мощность VRE, тем больше провал графика нагрузки, с соответствующими трудностями диспетчерского управления энергосистемой [5].

Более глубокий провал суточного графика нагрузки требует более резкого подъема, когда солнце садится, что часто бывает сделано с использованием станций, работающих на ископаемом топливе [17].

Добавление солнечной и ветровой энергии в сеть становится все менее и менее надежным для удовлетворения спроса на электроэнергию и сокращения выбросов углерода, если это производство электроэнергии не согласовано с накопителем энергии [17].

Существует ряд методов, с помощью которых можно решать вопрос выравнивания графика нагрузки энергосистемы при наличии в ее составе VRE [5]:

- увеличение резерва мощности и энергии в энергосистеме;
- расширение сетей;
- управление спросом;
- хранение энергии;

Основная задача управления электрической сетью состоит в том, чтобы сделать суточный график нагрузки максимально «ровным», без резких, кратковременных пиков потребления, снижая тем самым капитальные затраты на ввод в эксплуатацию оборудования пиковой генерации, а также экономя топливо за счет повышения эффективности работы, максимизации коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ТЭС и АЭС, работающих в базовой части графика.

Ровный график суточной нагрузки энергосистемы – это эффективный для энергетического оборудования график работы, уменьшение или полное отсутствие пиковых мощностей и избыточного резервирования, снижение сложности управления системой и как результат сдерживания роста цены за электроэнергию [6].

Поскольку станции базовой генерации (ТЭ, АЭС, ТЭЦ) не предназначены для частных запусков и остановок, такой режим работы для них всегда является избыточным и снижает их надежность.

Проблемы в сетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ВИЭ начинаются после достижения ими доли в 20-25 % от общей установленной мощности системы [7]. При доле VRE около 20% от суммарной мощности энергосистемы и ее структуры дополнительные затраты на интеграцию, например, переменной ветровой энергии составляют примерно (0,3–0,4) евроцент/кВт·ч [8].

2. Интеграция ВИЭ в энергетические системы. Этот процесс включает в себя планирование, разработку и внедрение технологий со стороны предложения и спроса, инфраструктуры, рынков и нормативно-правовой базы для содействия более широкому использованию возобновляемых источников энергии во всех секторах конечного использования, обеспечивая при этом устойчивые, безопасные, адекватные, надежные и доступные энергетические услуги [18].

Несвоевременное и нерациональное решение вопросов сложного процесса интеграции ВИЭ в современные энергосистемы может поставить под угрозу надежность энергосистемы. Здесь примером могут быть процессы, происходящие в энергосистемах мира с ВИЭ, например, в Калифорнии и Англии [1207, 1208]. Для решения интеграции ВИЭ доступны различные технологии, которые значительно различаются по своему эффекту и потенциалу. Весьма подробно эти вопросы изложены в фундаментальных работах [14-24, 29 и др.].

В этих работах рассмотрены вопросы интеграции ВИЭ в современные энергосистемы, их допустимая доля, с точки зрения надежности и устойчивости энергосистем, проблемы трансформации, финансирования и другие, и ответы на данные вызовы с конкретными примерами ряда стран.

Общим выводом этих исследований является то, что интеграция малых объемов переменчивых ВИЭ в современные энергосистемы в пределах (5-10)%

от мощности энергосистемы не представляет особой проблемы [14]. Этот вопрос более подробно рассмотрен ниже.

Проблема интеграции ВИЭ в энергосистемы комплексна – здесь взаимосвязаны технические, финансовые, организационные, правово-нормативные, социальные и другие вопросы. Наиболее важными являются доля ВИЭ в общем энергобалансе страны, наличие резервов по мощности и энергии в энергосистеме, типы источников ВИЭ и их обеспеченность потенциалом энергии (диапазон изменения скоростей ветра в данной местности и инсоляция солнечной энергии) и др.

Переменчивые возобновляемые источники энергии VRE, отличаются по различным аспектам от традиционных технологий генерации и могут быть суммированы следующими характеристиками [12]:

- выработка электроэнергии VRE изменяется из-за изменчивости его основных ресурсов (инсоляция солнечной энергии в течении дня и изменение скорости ветра);
- результат выработки электроэнергии непредсказуем;
- в отличие от обычных генераторов, генераторы VRE в большинстве своем несинхронного типа и др.

Эти характеристики создают проблемы в различных областях энергосистемы, такие как недостаточная выработка электроэнергии, отсутствие пропускной способности сети электропередачи и необходимость генерации для постоянного удовлетворения спроса на электроэнергию. В этом контексте проблема интеграции VRE отрицательно влияет на режимы и технико-экономические параметры энергосистемы. Чем больше доля ВИЭ в общей выработке электроэнергии, тем больше управление энергосистемы усложняется. Потенциальные последствия проблемы интеграции с технической точки зрения, такие как сброс нагрузки или отключения электроэнергии, нежелательны в любом случае [12].

В то же время производство электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии, снижает выбросы парниковых газов от энергетики и помогает бороться с изменением климата [17].

Существует два основных типа генерации переменных возобновляемых источников энергии (V-ВИЭ): распределенная генерация (D-ВИЭ), которая относится к малым возобновляемым источникам энергии и централизованная генерация (C-ВИЭ) в виде крупных станций, подключенные к электрической сети через линии передачи.

Мощности ВИЭ в D-ВИЭ генерации обычно варьируются от 5 до 500 кВт и выше. Эти распределенные ресурсы обычно расположены на территории дома или предприятия (например, солнечные панели на крыше), т.е. электричество генерируется для использования на месте [17]. При этом распределенные возобновляемые источники энергии могут значительно уменьшить потери энергии в электрической сети.

С экономической точки зрения удельная стоимость централизованных, крупных возобновляемых источников энергии, (C-ВИЭ), намного дешевле распределенных D-ВИЭ из-за эффекта масштаба. По состоянию на ноябрь 2018 года приведенная стоимость электроэнергии за МВт·ч малых солнечных панелей (например, на крыше) от 3,5 до 7 раз дороже по сравнению с электроэнергией, вырабатываемой крупной солнечной станцией. Централизованная генерация не

только дешевле, но оператору сети зачастую легче ею управлять. Однако по мере того, как все больше возобновляемых источников энергии интегрируется в электрические сети, их прерывистый характер может создавать проблемы для сетевых операторов с точки зрения прогнозирования и удовлетворения нагрузки [12].

По мере роста доли возобновляемых источников энергии, энергетические системы, которые были разработаны или спроектированы на основе традиционных источников энергии, могут потребовать комплексной реструктуризации, чтобы обеспечить полную реализацию преимуществ возобновляемых источников энергии [18].

Работа больших генераторов и турбин на электростанциях обеспечивает инерцию в системе и удерживает её в равновесии. А вот солнечные и ветровые электростанции работают по-другому, и инерции не обеспечивают. На начальных стадиях развития ВИЭ эта проблема не возникает. При снижении доли традиционных электростанций в выработке электроэнергии в случае наличия ВИЭ, снижается также и инерция энергосистемы, поэтому для обеспечения её стабильности требуются дополнительные решения, такие как, применение ветровых турбин с большими диаметрами, использование маховиков и др. [19]. Несогласованность принятых мер по обеспечению энергобаланса в энергосистеме может привести к нарушению электроснабжения потребителей. Рассмотрим примеры.

В табл. 1. приведен прогноз роста производства электроэнергии и его реализация в некоторых странах мира.

Таблица 1

Прогноз роста доли возобновляемых источников энергии в суммарной выработке электроэнергии и их реализация в некоторых странах мира [20,21]

Страна	Целевое обязательство, 2013 год		Фактически реализована, 2019 год, %
	%	Год реализации	
Австралия	20	2020	50
Австрия	34	2020	72
Бельгия	13	2020	20
Китай	15	2020	27
Дания	30	2025	50
Финляндия	38	2020	43
Франция	23	2020	21
Германия	18	2020	30
Нидерланды	14	2020	19
Новая Зеландия	90	2025	85
Испания	20	2020	37
Швеция	49	2020	55
Великобритания	15	2020	48
США	25	2025	17

3. Причины нарушения электроснабжения в Калифорнии (США) и Англии. Как отмечается в [11], самый населенный штат Калифорния (США), в 2020 году претерпел многочисленные веерные отключения электричества, затронувшие несколько миллионов человек. Этот кризис вскрыл проблему нехватки производственных мощностей и средств хранения электроэнергии, что в свою очередь стало последствием форсированного перехода штата на возобновляемые источники. Соответствующие электростанции не смогли в полной мере обеспечить спрос на электроэнергию штата.

На рис. 1 приведены изменения суточного графика нагрузки энергосистемы Калифорнии (США) с учетом внедрения ВИЭ.

Из рисунка по фактическим и прогнозным данным системного оператора Калифорнии видно, что с каждым годом, по мере увеличения в энергобалансе доли ВИЭ, растет пиковое потребление, происходит разуплотнение графика нагрузки [6]. При этом появление новых ВИЭ увеличивает глубину провала суточного графика нагрузки с 2013 по 2020 годы примерно с 20 ГВт до 12 ГВт (провал более 40%), что представляет определенные трудности не только для диспетчеров энергосистемы, но и для генераторов, работающих графика базе (ТЭС, АЭС).

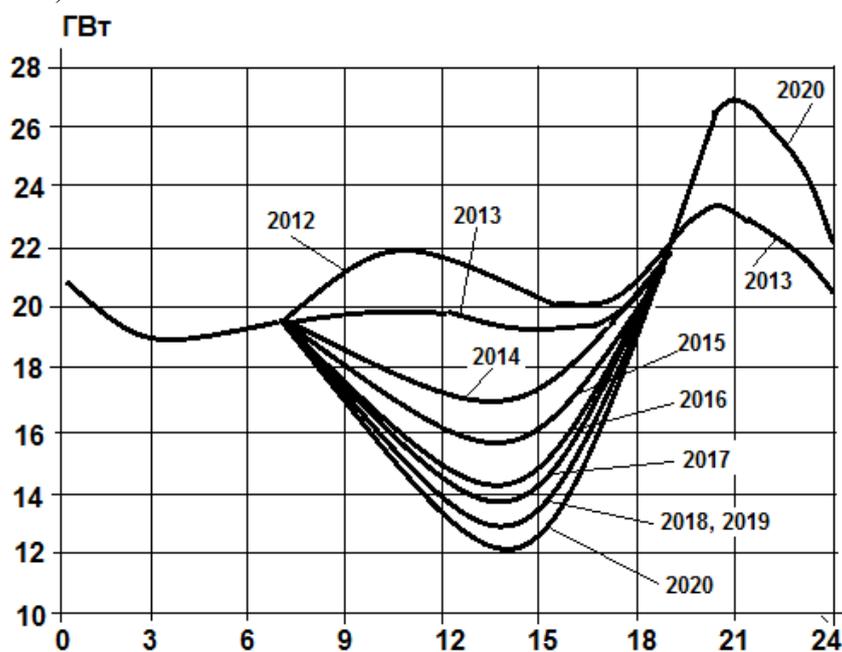


Рис. 1. Изменение суточного графика нагрузки энергосистемы Калифорнии с учетом внедрения переменных ВИЭ [6]

Традиционно при управлении энергосистемой стараются минимизировать расходы на дорогостоящую пиковую генерацию, в качестве которой используется ГЭС или ГАЭС, а в случае их отсутствия используется вращающаяся резервная мощность системы. Следовательно, при наличии VRE мощность резервирования должна увеличиваться, а экономические показатели энергосистемы ухудшаются ввиду дополнительных затрат на резервное топливо [5].

Причин такого энергетического кризиса в Калифорнии было множество. Во-первых, население за последние годы увеличилось на 13%, тогда как новых электростанций штат практически не строил, сыграли отрицательную роль комбинация дерегулирования и усиление регулирования одновременно. К этому нужно добавить, что Калифорния избавлялся от классических угольных ТЭС ввиду их низкой экологичности [11].

В 2019 году штат снова подвергся массовым отключениям - они затронули 2,5 млн. человек. Нынешний кризис, как и в 2000–2001 годах, вызван нехваткой генерирующих мощностей, и энергосистема штата, как и 20 лет назад, оказалась не готова к сохранению нормального энергообеспечения потребителей [11].

В качестве главной причины энергетических проблем Калифорнии называется переориентация всей энергосистемы на возобновляемые источники. Власти штата всячески поощряли переход как крупных энергокомпаний, так и частных пользователей на солнечную энергию. За последние 10 лет число домов, оборудованных солнечными панелями на крышах выросло почти в 20 раз и вплотную приблизилось к отметке 1 млн. В 2019 году общий объем выработки энергии солнечными электростанциями составил 28,5 гигаваатт-часов, а суммарная мощность отрасли - 12,3 гигаватта. Выработка этими источниками достигла 14,3% всей производимой электроэнергии. К началу 2020 года в штате осталась только одна угольная электростанция, мощность которой составила 63 мегаватта - менее 0,2% от всех электроэнергетических мощностей территории. Станции на природном газе суммарной мощностью 9 ГВт также были закрыты. (Этого было достаточно, чтобы обеспечивать электричеством 6,8 млн. домов) [11].

Проблема нестабильности возобновляемых источников плохо решалась, включая создание системы накопления энергии. Основной способ решить эту проблему - производство батарей. Нынешнего количества аккумуляторов для удовлетворения спроса было явно недостаточно. Их общая мощность в штате составляет 500 МВт, тогда как потребности оцениваются примерно в 12 ГВт - в 24 раза больше. Выпуск такого числа батарей обойдется примерно в 19 млрд. долларов. Необходимо отметить, что общая мощность всех батарей, произведенных в мире в 2021 году, составит только 4,6 ГВт [11].

Другой пример. В [23] расчет надежности ЭЭС проведен на примере аварии, произошедшей 09.08.2019 года в результате короткого замыкания в магистральных сетях энергосистемы Англии, доля ВЭС в которой составляет 30%. При этом отключились до 150 МВт маломощных объектов распределенной генерации, оффшорные ВЭС - 737 МВт и паровая турбина 244 МВт на парогазовой электрической станции (ПГЭС) Литл-Барфорд. Общая отключенная от сети генерация составила 1131 МВт. Несмотря на то, что в системе поддерживался оперативный резерв в размере мощности самого крупного энергоблока 1000 МВт, в начальный момент переходного процесса, когда от защиты по скорости снижения частоты в энергосистеме дополнительно отключились еще 350 МВт распределенной генерации, а из-за сбоя в работе выпускного клапана отключилась газовая турбина на ПГЭС Литл-Барфорд мощностью 210 МВт. Совокупный дефицит мощности достиг 1691 МВт. Частота упала до 48,8 Гц. Сработала автоматическая частотная разгрузка (АЧР), отключившая примерно 5% нагрузок потребителей энергосистемы (≈ 350 МВт). Установлено, что причиной произошедшей

аварии являются высокая доля ВЭС в структуре генерирующих мощностей и недостаточная величина «горячего» резерва.

В работе [23] последовательно исследованы причины этой аварии, приведшей к недоотпуску электроэнергии, величина которой составила (1,23—1,50) млн. кВт.ч, а суммарный ущерб потребителям – (12,3—15,0) млн. долларов, при значении удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии 10 долл/кВт.ч.

Исследовано также влияние удельного веса мощностей ВЭС, СЭС на величину вероятности ограничения нагрузок ЭЭС, суммарного ущерба потребителям, ущерба, обусловленного дефицитом генерирующей мощности и снижением частоты тока. Установлено, что с увеличением удельного веса ВИЭ вероятность ограничения нагрузок растет с темпом 0,6, т.е. **на каждые 10% увеличения доли ВИЭ вероятность нарушений электроснабжения увеличивается на 6%.**

Рассмотрен весьма важный вопрос - обоснование величины вращающегося резерва в энергосистеме при наличии в ее составе ВИЭ. Традиционно необходимый резерв в энергосистеме принимается равным мощности наиболее крупного энергоблока. Мощность самого крупного агрегата в рассматриваемой энергосистеме составляла 1000 МВт, и с учетом величины относительного среднеквадратичного отклонения случайных значений располагаемой и максимальной мощностей получается, что резерв должен быть не менее 1600 МВт [23].

Особенность ВЭС и СЭС в том, что при внешних коротких замыканиях из-за снижения остаточного напряжения в точках присоединения этих энергоустановок, входящие в их состав инверторы «опрокидываются» и их энергоагрегаты отключаются устройствами релейной защиты. На эту отключенную величину генерации уменьшится располагаемая мощность энергосистемы. Если вращающегося резерва не хватает, то возникнет дефицит мощности и снижение частоты. Если частота в ЭЭС окажется ниже некоторого критического значения (47,0-46,5) Гц, то начнут отключаться от сети малоинерционные ГТУ, а также газопоршневые энергоагрегаты (ГПЭУ). Это приведет к каскадному развитию системной аварии и так называемой «лавине» частоты - неуправляемого снижения частоты в системе с дальнейшим коллапсом в энергосистеме. При этом, чтобы избежать такого процесса в системе должен был быть горячий резерв не 1000 МВт, а 1700 МВт, чтобы компенсировать отключившиеся в результате аварии ветровые электростанции и не допустить отключения ГТУ из-за снижения частоты.

Вместе с тем, для того, чтобы держать дополнительный резерв в 700 МВт на парогазовых установках необходимо затратить в 7,5 раза меньше подсчитанного выше ущерба 15 млн. долларов. Другими словами создание резерва энергосистемы полностью окупается.

Таким образом, из рассмотренной аварии видно, что ущерб можно было предотвратить увеличением вращающегося резерва, что потребовало бы увеличения средств на его поддержание за счет дополнительного расхода топлива.

Сказанное выше можно полностью отнести к энергосистемам Узбекистана и СНГ, в которых, имеются дополнительные факторы, которые нельзя не учитывать. Главная особенность объединенной энергосистемы (ОЭС) СНГ, в состав которой входит и энергосистема Узбекистана, заключается в централизованном регулировании частоты выделенными электростанциями энергосистемы, в отли-

чие от западных энергосистем, где используется децентрализованное регулирование с участием всех энергоблоков [23].

4. Влияние возобновляемых источников энергии на системные издержки. Сдерживание роста средней глобальной температуры в пределах 2°C , в соответствии с Парижским соглашением, требует ограничения концентрации парниковых газов в земной атмосфере до уровня, соответствующего примерно 450 промилле (ppm) в эквиваленте CO_2 (450 частиц CO_2 , на миллион частиц воздуха). Для этого потребуются принятие мер первостепенной важности по декарбонизации процесса выработки электроэнергии, поскольку ожидается, что основная часть усилий по сокращению выбросов в течение трёх ближайших десятилетий придётся на электроэнергетический сектор [24]. По прогнозам, для этого необходимо к середине XXI века, чтобы выбросы углекислого газа предприятий электроэнергетического сектора стран-членов ОЭСР были снижены почти на 90 %. Средний уровень выбросов углекислого газа, при производстве электроэнергии в странах-членах ОЭСР, составляющий на сегодняшний день $430 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, должен быть снижен примерно до $50 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ к 2050 году [25]. Такие же задачи предстоит решать и развивающимся странам.

Решение этой задачи потребует быстрого и радикального преобразования энергосистем с развёртыванием низкоуглеродных технологий, таких как ядерная энергетика, гидроэнергетика и энергетика на основе переменчивых возобновляемых источников энергии.

Необходимо отметить, что использование переменчивых возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия, влечёт за собой ряд дополнительных издержек для всей энергосистемы, которые называются **системными издержками** [25].

Системные издержки энергосистемы (system cost) - выраженные в ценностных измерителях (долларах, суммах и др.) текущие затраты на производство электро- и теплоэнергии. Делятся на **постоянные** (на содержание оборудования, арендные платежи и т.д.) и **переменные составляющие**, обычно пропорциональные объёму выработанной электро- и теплоэнергии (на приобретение материалов и сырья, заработную плату и др.) [26].

Системные издержки возрастают при внедрении ВИЭ в энергосистемы, их величина зависит от доли ВИЭ и структурной готовности энергосистемы к приёму переменчивого источника мощности и энергии [14].

Общая эффективность переменчивых ВИЭ (**Value of VRE**) на системном уровне должна быть оценена, что при высоких долях ВИЭ, остальная часть электростанций энергосистемы должна в большей степени обеспечивать мощность, чем электроэнергию.

В работе [28] отмечается, что при внедрении переменчивых ВИЭ надо исходить из «**системной ценности**» (**SV — system value**) вырабатываемой ими электроэнергии, а не только **LCOE - средней расчётной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла электростанции**. То есть надо исходить из общей пользы, получаемой при добавлении в энергосистему солнечной или ветровой генерации.

Системная ценность внедрения переменчивых ВИЭ определяется сочетанием **положительных** и **отрицательных** факторов, включающих снижение сто-

имости топлива, сокращение выбросов двуокси углерода и других загрязняющих веществ, или более высокие затраты на дополнительную сетевую инфраструктуру и т.д. [28,29].

Следует отметить, что LCOE и SV предоставляют дополнительную информацию: LCOE фокусируется на уровне отдельной электростанции, тогда как SV учитывает эффекты на уровне энергосистемы.

Необходимо отметить, что содержание системных издержек с появлением переменных ВИЭ существенно изменились, и эти вопросы впервые были поставлены и детально изучались в фундаментальных работах Ассоциации ядерной энергии (АЯЭ) и Международного энергетического агентства (МЭА) [30 и др.]. Ввиду важности вопроса, кратко рассмотрим основные положения этих работ.

МЭА определило **шесть технических и экономических параметров**, характеризующих переменные ВИЭ и являющихся ключевым элементом при объяснении и понимании системных издержек, связанных с их внедрением. Выходную мощность переменных ВИЭ можно охарактеризовать следующим образом [24]:

- **изменчивая:** вырабатываемая мощность изменяется в зависимости от наличия ресурсов (ветра и солнечного света) и не зависит от спроса или потребностей системы. Изменчивость влечёт за собой значительные изменения в структуре остальной части системы, требующей диспетчерского управления для круглосуточного обеспечения надёжности энергоснабжения;

- **непредсказуемая:** невозможно точно спрогнозировать объём производимой энергии;

- **зависящая от местоположения:** качество доступных ресурсов не является одинаковым повсеместно и их транспортировка невозможна. Площадки, располагающие благоприятными условиями, часто находятся вдали от центров потребления;

- **асинхронная:** электростанции на основе переменных ВИЭ должны быть подсоединены к сети посредством преобразователей электроэнергии, они не синхронизированы с сетью напрямую;

- **модульная:** масштаб отдельных блоков переменных ВИЭ намного меньше, чем в случае традиционных способов генерации;

- **отличающаяся низким** уровнем переменных издержек: по завершении строительства электростанций, использующих переменные ВИЭ, уровень производственных издержек при выработке электроэнергии незначителен.

Дополнительные системные издержки, состоят из **четырёх** составляющих издержек на:

- резервирование (дополнительная резервная мощность);

- выравнивание нагрузок (увеличение количества элементов вращающегося резерва в энергосистеме.);

- сетевые издержки (расширение сети электропередачи, увеличение пропускной способности существующей сети);

- подключение к сети (подключение электростанции к ближайшей точке существующей сети).

Издержки на резервирование (или издержки на манёвренность) связаны с увеличением стоимости выработки электроэнергии для всей энергосистемы,

которое обусловлено изменчивостью выходной мощности переменных ВИЭ. Наличие в системе доли генерации на основе переменчивых ВИЭ обычно увеличивает изменчивость выработки электроэнергии традиционными генераторами ТЭС и ГЭС, выражающейся в более резких и частых изменениях их мощности. Следовательно, дополнительная нагрузка, также называемая эффектом манёвренности, ложится на другие электростанции, предусматривающие возможность диспетчерского управления, выражающаяся в большем числе пусков и остановов, повышении требований к обеспечению манёвренности, связанных с учащением циклов и более резкими изменениями мощности, что приводит к уменьшению производительности, увеличению износа оборудования и повышению издержек на выработку электроэнергии [24].

Издержки на выравнивание нагрузок при наличии в энергосистеме переменных ВИЭ, связаны с растущими требованиями к обеспечению стабильности системы вследствие непредсказуемости в выработке электроэнергии (непредвиденные остановки электростанции или ошибки при прогнозировании генерации). При использовании переменных ВИЭ издержки на выравнивание нагрузок в основном связаны с непредсказуемостью выходной мощности, которая может стать важным фактором при большом уровне мощности переменных ВИЭ в энергосистеме. Ошибки прогнозирования выработки электроэнергии такими ВИЭ могут потребовать увеличения мощности вращающегося резерва в энергосистеме [24]. Значения издержек на выравнивание нагрузок при наличии переменной ВИЭ находятся в диапазоне (2,1-4,7) евро/МВт·ч в Бельгии и в пределах (1,4-3,6) евро/МВт·ч - в странах центральной части Западной Европы. Во Франции достижение 30% доли в выработке электроэнергии переменными ВИЭ повысит уровень эксплуатационных резервов (3-4) раза, по сравнению с существующей [27].

Сетевые издержки отражают увеличение издержек на передачу и распределение электроэнергии ввиду распределённого характера и ограничений, связанных с местоположением электростанций, использующих переменные ВИЭ. Сетевые издержки включают в себя строительство новых элементов инфраструктуры (расширение сети электропередачи), а также увеличение пропускной способности существующей электрической сети (усиление сети). При использовании распределённых фотоэлектрических ресурсов, могут потребоваться капиталовложения в распределительные сети для регулирования обратных потоков мощности, вырабатываемой ВИЭ [24]. Издержки на передачу электроэнергии от ВИЭ имеют большой диапазон - от нескольких до (25–30) долл/МВт·ч [27].

Издержки на подключение к сети представляют собой издержки на подключение электростанции к ближайшей точке соединения с существующей сетью электропередачи. Уровень таких издержек может быть существенным, особенно при необходимости подключения отдалённых солнечных и ветровых электростанций с низкими коэффициентами загрузки [24].

Издержки на подключение иногда являются частью системных издержек, но иногда также включаются в издержки на уровне электростанции, использующихся при расчёте показателя LCOE. Издержки на подключение к сети могут нести либо застройщики электростанции, либо операторы передачи электроэнергии. В первом случае они представляют собой часть издержек на уровне

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

электростанции, а во втором случае — являются внешними эффектами, которые должны учитываться в системных издержках [24].

Усреднённые значения издержек на подключение источников электроэнергии в электрическую сеть, в разных странах находятся на уровне 0,5 долл/МВт·ч в случае газовой энергетики, 1 долл/МВт·ч в случае угольной энергетики, 2 долл./МВт·ч в случае атомной энергетики, 6 долл./МВт·ч в случае наземной ВЭУ, 14 долл/МВт·ч в случае фотоэлектрической СЭС, и около 20 долл/МВт·ч в случае морской ВЭУ.

Совокупность этих четырёх категорий составляет основную часть системных издержек. На рис. 2 приведены сравнительные данные системных издержек на уровне электрической сети для некоторых технологий генерации электроэнергии с уровнями замещения в 10 % и 30 %.

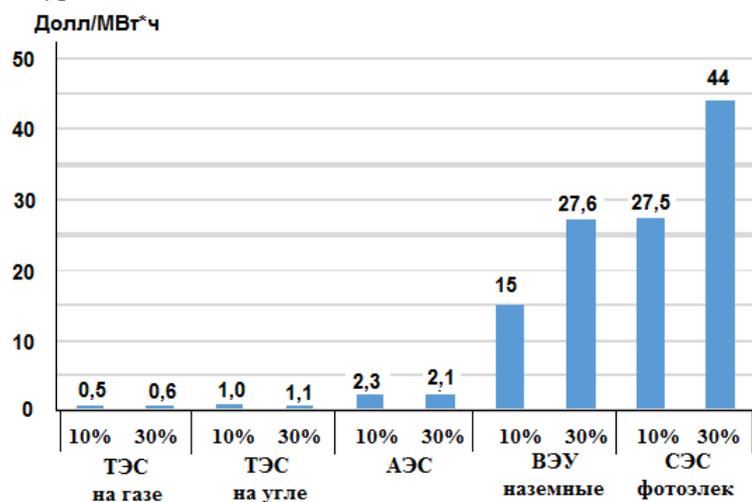


Рис. 2. Системные издержки на уровне электрической сети для некоторых технологий генерации электроэнергии с уровнями замещения в 10 % и 30 % [4]

При этом распределение системных издержек для переменных ВИЭ составляют [4]:

- для ВЭУ, при 10% замещении от установленной мощности энергосистемы, суммарные системные издержки примерно равны 15 долл/МВт·ч, в том числе: издержки на подключение – 6 долл/МВт·ч, издержки на передачу и распределение – 2 долл/МВт·ч, издержки на выравнивание нагрузки – 2,2 долл/МВт·ч, издержки на резервирование – 5 долл/МВт·ч;

- для ВЭУ, при 30% от установленной мощности энергосистемы, суммарные системные издержки примерно равны 27,5 долл/МВт·ч, в том числе соответственно: – 6,5 долл/МВт·ч, 6 долл/МВт·ч, 6,4 долл/МВт·ч, 9 долл/МВт·ч;

- для коммерческих фотоэлектрических СЭС, при 10% замещении от установленной мощности энергосистемы, суммарные системные издержки примерно равны 27,6 долл/МВт·ч, в том числе: издержки на подключение – 13,5долл/МВт·ч, издержки на передачу и распределение – 0,6 долл/МВт·ч, издержки на выравнивание нагрузки – 1 долл/МВт·ч, издержки на резервирование – 12,5 долл/МВт·ч;

- для коммерческих фотоэлектрических СЭС, при 30% замещении от установленной мощности энергосистемы, суммарные системные издержки примерно равны 44 долл/МВт·ч, в том числе соответственно: – 14 долл/МВт·ч, 3,5 долл/МВт·ч, 1,5 долл/МВт·ч, 26 долл/МВт·ч.

На рис. 3 приведены системные издержки на производство 1МВт·ч электроэнергии на основе переменных ВИЭ.

Долл./МВт·ч ВИЭ

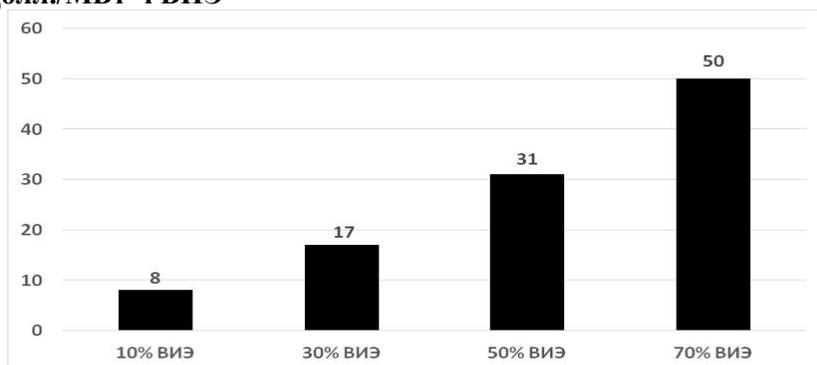


Рис. 3. Системные издержки на производство 1МВт·ч электроэнергии на основе переменных ВИЭ [27]

В то же время в традиционной энергосистеме (без ВИЭ) **дополнительные системные издержки равны нулю**, поскольку проблема изменчивости отсутствует, весь объём электроэнергии вырабатывается технологиями, предусматривающими возможность диспетчерского управления. Очевидно, что атомная и гидроэнергетика как важнейшие низкоуглеродные генерирующие технологии, допускают возможность диспетчерского управления при выработке прогнозируемой электроэнергии в больших объёмах в любое время, с нулевым уровнем выбросов углекислого газа, что отвечает требованиям Парижского Соглашения [27]. Следовательно, приведенные данные показывают усреднённые значения системных затрат для различных технологий производства электроэнергии и необходимость тщательного анализа влияния переменчивых ВИЭ не только на режим электрической системы, но и на технико-экономические параметры электрической системы.

Анализ (рис.3) показывает, что системные издержки существенно отличаются между традиционными технологиями выработки электроэнергии (ТЭС, АЭС, ГЭС) и переменчивыми ВИЭ.

При этом составляющие системных издержек для ВИЭ также существенно отличаются между собой. Системные издержки характерны для всех технологий, но объём данных затрат для атомных и других традиционных электростанций **на порядок ниже издержек**, обусловленных переменчивостью возобновляемых источников энергии [30].

В базовом сценарии с наименьшим уровнем издержек, исключающем использование переменных ВИЭ, ядерная энергия является основным низкоуглеродным источником электроэнергии и удовлетворяет около 75% совокупного спроса на электроэнергию при минимальной потребности в манёвренности [24].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В базовой энергосистеме системные издержки близки к нулю, поскольку проблема изменчивости отсутствует, и весь объём электроэнергии вырабатывается традиционными технологиями на базе ТЭС, АЭС и ГЭС, предусматривающие возможность диспетчерского управления.

При 10% доле генерации на ветровых и фотоэлектрических солнечных электростанциях системные издержки находятся в диапазоне менее 10 долл/МВт·ч электроэнергии, вырабатываемой переменными ВИЭ. При 30% доле ветровых и фотоэлектрических солнечных электростанций в энергобалансе энергосистемы, эти издержки составляют около 17 долл/МВт·ч электроэнергии, вырабатываемой ВИЭ.

Совокупные системные издержки, выраженные в долларах на единицу чистой электроэнергии, поступающей в сеть от переменных ВИЭ, соответствующие четырём сценариям с уровнями внедрения переменных ВИЭ, равными 10, 30, 50 и 75 % от суммарной выработки электроэнергии, отражены на рис. 4.

При 50% доле генерации ветровых и фотоэлектрических электростанций системные издержки увеличиваются с 28 до приблизительно 50 долл/МВт·ч, в зависимости от наличия в энергосистеме ресурсов манёвренности в виде межсистемных связей и управляемых гидроэнергетических источников.

Необходимо отметить, что подобная оценка, хотя подразумевает некоторую степень неопределённости, порядок величин издержек даёт представление о ее значимости при принятии решений при проектировании и строительстве переменных ВИЭ, что весьма важно в условиях Узбекистана, где разворачивается широкомасштабное внедрение переменчивых ВИЭ.

Все четыре категории системных издержек растут по мере внедрения переменных ВИЭ, но с разной скоростью. При доле генерации ВИЭ, равной 10%, увеличение совокупных издержек составляет лишь около 5 % по сравнению с соответствующим показателем эталонной энергосистемы, в которой используются только традиционные генерирующие мощности, предусматривающие возможность диспетчерского управления, что в среднемасштабной энергосистеме соответствует дополнительным издержкам в размере около 2 млрд. долл/год.

При уровне внедрения переменных ВИЭ, равном 30%, издержки возрастают примерно до 8 млрд. долларов в год, т. е. на 21 % по сравнению с базовым сценарием. Достижение более амбициозных уровней внедрения переменных ВИЭ приводит к значительно более высоким издержкам. Совокупные издержки увеличиваются более чем на 15 млрд. долларов в год, если 50% производства электроэнергии обеспечивается за счёт переменных ВИЭ, что соответствует дополнительным 42% издержек по сравнению с базовым сценарием.

Наконец, достижение заданного 75% уровня внедрения переменных ВИЭ предполагает почти двукратное увеличение издержек на производство электроэнергии - до 70 млрд. долларов в год, что на 33 млрд. долларов превышает уровень базового сценария.

Таким образом, **суммарные издержки энергосистемы при наличии переменных ВИЭ 10%, 30%, 50%, 75% могут вырасти в пределах 5%, 22%, 55%, 91%, по сравнению с базовым сценарием, соответственно.**

Системные издержки,
долл/МВт·ч

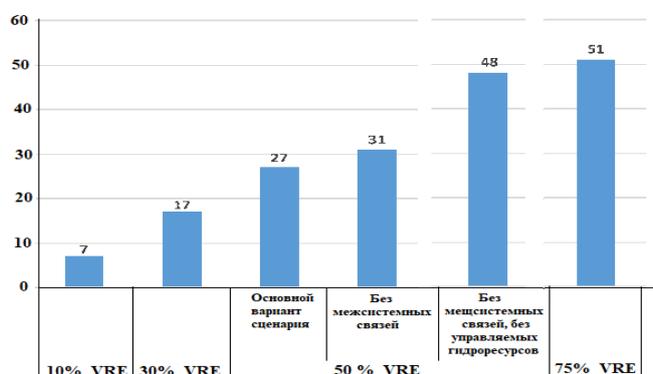


Рис. 4. Системные издержки на производство 1 МВт·ч электроэнергии на основе переменчивых ВИЭ [24]

Важнейшими категориями системных издержек, связанных с использованием переменных ВИЭ, являются повышенные издержки на распределение и передачу вследствие малой мощности электростанций и отдалённости от центров нагрузки, издержки на выравнивание нагрузок для обеспечения готовности к непредсказуемым изменениям скорости ветра и интенсивности солнечного излучения, а также, что более важно, возможные издержки на обеспечение надёжности снабжения остальной части системы в периоды полной или частичной невозможности использования ветровой и солнечной энергий.

Следовательно, влияние изменчивости генерации ветровых и фотоэлектрических электростанций на издержки электроэнергетической системы надо рассматривать, как дорогостоящую надстройку над системными издержками существующей энергосистемы.

Основным преимуществом ядерной энергетики, как низкоуглеродного источника энергии, в условиях экономической конкуренции с ветровой и фотоэлектрической энергетикой является то, что АЭС предусматривают возможность диспетчерского управления, т.е. с их помощью можно надёжным и прогнозируемым образом производить большие объёмы электроэнергии в режиме базовой нагрузки, без выбросов углекислого газа.

В будущих электроэнергетических системах потребуется сочетать все доступные технологии низкоуглеродного производства электроэнергии: генерацию на основе ядерной, ветровой и фотоэлектрической энергий, а также гидроэнергии и, возможно, энергии ископаемого топлива, сопровождающейся улавливанием, использованием и хранением углекислого газа для достижения экологических целей наиболее эффективным образом.

Таким образом, переменчивость, присущая таким источникам энергии, как ветровая и фотоэлектрическая энергии подразумевает, что издержки системы в целом будут продолжать расти. Вклад ядерной энергетики и гидроэнергетики как важнейших низкоуглеродных генерирующих технологий в решение данной проблемы, заключается в их способности в любое время прогнозируемым образом и низком уровне выбросов углекислого газа производить большие объёмы электроэнергии. Эти факторы, по рекомендации МЭА и АЯЭ, должны быть изучены и учтены при принятии решений по проектированию и строительству перемен-

тивных ВИЭ в государствах, где предполагается применение ВИЭ, в том числе и Узбекистане.

Литература

1. 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.
2. The Power of Transformation: Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems. Paris. 2014. - 268 p.
3. Интернет энергии (IDEA – Internet of Distributed Energy Architecture). (<http://csr-nw.ru/projects/ongoing/internet-energii-idea-internet-distributed-energy-architecture/>).
4. Полные затраты на производство электроэнергии. Париж. ОЭСР. 2018. - 215 с. (www.oecd-neo.org/pub).
5. Безгин С. Геоэнергетика: влияние ВИЭ на стабильность энергосистем. (<https://bezgin.su/articles/140-jenergetika/58241-geojenergetika-vlijanie-vije-na-stabil-nost-jenergosistem>. 13.04.2018).
6. Тимофеев Д. Найти Грааль или накормить всех семью хлебами. О новом слове в языке энергетиков - гибкости (energy flexibility) в контексте западной и восточной институциональных матриц. / Сб. Цифровая энергетика: видение, практики, технологии. - М. / Под. Ред. И.С. Холкина. Инфраструктурный Центр EnergyNet. Информационно-аналитические работы 2018. - 213 с.
7. Ветроэнергетика. (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика>).
8. Сидорович В. Интеграция ВИЭ в энергосистему: практика, мифы и легенды. (<http://renew.ru/integration-of-res-into-the-energy-system-practice-myths-and-legends/13.06.2017>).
9. Renewables 2019 global status report. Paris: REN21. 2019. 336 p.
10. Sinsel S., Riemke R. & H.Hoffmann. Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources – a review. Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources – a review. 2019. Renewable Energy, 145, pp. 2271-2285.
11. Мигунов Д. И спустилась Тьма. Самый передовой штат США (Калифорния) не может вырваться из блэкаутов. (<https://centrasia.org/newsA.php?st=1598361300.25.08.2020>).
12. Simon R. Sinsel, Rhea L. Riemke, Volker H. Hoffmann. Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources – a review. (https://www.researchgate.net/publication/334241521_Challenges_and_solution_technologies_for_the_integration_of_variable_renewable_energy_sources-a_review.2020).
13. Energy Information Administration, Installed Electricity Capacity, Int. Energy Stat. (2018). <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/> (accessed April 18, 2018).
14. The Power of Transformation: Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems. OECD/IEA. 2014. 238 p.
15. Renewable Energy Integration Challenges and Solutions. Editor: Jahangir Hossain and Apel Mahmud. Springer Science+Business Media Singapore 2014. 438 p.

16. Getting Wind and Sun onto the Grid A Manual for Policy Makers. OECD/IEA. Paris. 2017. 69 p.
17. Kathryne Cleary, Karen Palmer. Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid. Washington April 15, 2020. 5 p.
18. Energy systems integration and enabling technologies. (https://www.ren21.net/gsr-2020/chapters/chapter_06/chapter_06/).
19. Сидорович В. Гибкость — необходимое и ключевое свойство энергосистемы. (<https://renew.ru/flexibility-is-a-necessary-and-key-property-of-the-power-system/~:text=ВВ.10.12.2017>).
20. N. K. Roy and H. R. Pota. Integration of Green Energy into Power Distribution Systems: Study of Impacts and Development of Control Methodology. Renewable Energy Integration Challenges and Solutions. Book in Green Energy and Technology · December 2013. Chapter 10. 209-237 p. DOI: 10.1007/978-981-4585-27-9.
21. К концу 2020 года в Китае на долю ВИЭ придется около 27% объема электрогенерации. (<https://www.eprussia.ru/news/base/2020/6615768.htm>).
22. Getting Wind and Sun to the Grid. A Manual for Policy Makers. OECD/IEA. Paris. 2017. 69 p.
23. Насиров Т.Х., Непомнящий В.А., Шамсиев Х.А. Влияние ветровых и солнечных электростанций на управляемость и надежность функционирования энергосистем. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2020,- №3-4. -С. 25-37.
24. Стоимость декарбонизации: издержки в энергосистемах с большими долями ядерной и возобновляемой энергии. /Агентство по ядерной энергии, № 7299. ОЭСР. Париж. 2019. 228 с. (www.oecd-neo.org).
25. Суточный график нагрузки энергосистемы Узбекистана на лето 2030 года (летний аксимум). (https://r.mail.ru/cls1074201/auth.mail.ru/cgi-bin/logout?next=&lang=ru_RU&Page=https%3A%2F%2Fmail.ru%2F%3Ffrom%3Dlogout).
26. Электроэнергетика: термины и определения. Некоммерческое партнерство «Инновации в электроэнергетике». СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ СТО 70238424.27.010.001-2008. - Москва. 2008, - 655 с.
27. Energy intensity of economies.
28. Next Generation Wind and Solar Power. From cost to value. Full report. OECD/IEA. Paris. 2016. 182 p.
29. Сидорович В. Интеграция ВИЭ в энергосистему: практика, мифы и легенды. (<http://renew.ru/integration-of-res-into-the-energy-system-practice-myths-and-legends/13.06.2017>).
30. Полные затраты на производство электроэнергии. Агентство по ядерной энергии, № 7298. ОЭСР. Париж. 2018. 215 с. (www.oecd-neo.org).

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.311

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ УЗБЕКИСТАНА, ТРЕБУЮЩИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И РЕШЕНИЯ

Т.Х. Насиров, Ш.В. Хамидов, Х.А. Шамснев, А.Т. Мирзаев

O'zbekiston Respublikasida so'nggi yillarda elektr energiyasi iste'molining dinamik o'sishi (yiliga 8-9 foiz) mamlakatimiz energetika tarmog'i oldiga iqtisodiyot tarmoqlari va aholining elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojini to'liq qondirish bo'yicha murakkab vazifalarni qo'ymoqda. Yangi ishlab chiqarish quvvatlarining ishga tushirilishiga va elektr tarmoqlarining mustahkamlanishiga qaramay, 2020-2021 yillar kuz-qish davri elektr ta'minoti bilan bog'liq muammolar saqlanib qolayotganini ko'rsatdi. Mualliflarning fikricha, bu muammolar, ayniqsa, mamlakatda qayta tiklanadigan energiya manbalarini keng miqyosda joriy etishni hisobga olsak, yanada murakkablashadi. Ushbu maqolaning maqsadi - energetika sohasidagi mavjud muammolarni ta'kidlash va ularni hal etish choralari taklif qilish..

Динамичный рост электропотребления Республики Узбекистан в последние годы (по 8-9% ежегодно) ставит перед энергетиками страны непростую задачу в полноценном обеспечении потребностей экономики и населения в электрической энергии. Несмотря на вводы новых генерирующих мощностей и усиление электрических сетей, проблемы в энергоснабжении, имевшие место в осенне-зимний период 2020-21 гг., показали, что принимаемых мер явно недостаточно. По мнению авторов, эти проблемы будут еще более усложняться, особенно с учетом широкомасштабного внедрения в республике возобновляемых источников энергии. Целью настоящей статьи является осветить имеющиеся в энергетической отрасли проблемы и предложить меры по их преодолению.

The dynamic growth of electricity consumption in the Republic of Uzbekistan in recent years (8-9% annually) poses a difficult task for the power engineers of the country to fully meet the needs of the economy and the population in electrical energy. Despite the commissioning of new generating capacities and the strengthening of electric grids, the problems in power supply that took place in the autumn-winter period 2020-21 showed that the measures taken are clearly not enough. According to the authors, these problems will become even more complicated, especially taking into account the large-scale introduction of renewable energy sources in the republic. The purpose of this article is to highlight the existing problems in the energy industry and propose measures to overcome them.

Согласно концепции развития энергетической отрасли общая потребность республики в электроэнергии к 2030 году возрастет до 120,8 млрд. кВт.ч или в 1,86 раза (+55,8 млрд. кВт.ч) по сравнению с 2019 годом (65,0 млрд. кВт.ч), т.е. в среднем 5,8% в год. До 2024 года в республике планируется ввод 9 паро-газовых установок (ПГУ) суммарной установленной мощностью 6010 МВт, 5 газотурбинных установок (ГТУ) общей мощностью 844 МВт, угольных блоков суммар-

ной мощностью 620 МВт, ГЭС суммарной мощностью 613 МВт, а также возобновляемых источников энергии (ВИЭ) общей мощностью 4000 МВт [1-2].

Касаясь текущей ситуации в электроэнергетике, отметим следующие проблемные вопросы, влияющие на устойчивое обеспечение потребителей электроэнергией и энергетическую безопасность республики.

Зимний максимум 2020/21 гг. в Узбекистане выдался критически тяжелым. Причина этого не только в более сильных холодах по сравнению с предыдущими несколькими годами. Нехватка газа, на котором работает подавляющая часть генерирующих мощностей Узбекистана, ощущалась уже летом 2020 года. Исходя из этого, необходимо было накопить мазутное топливо для обеспечения электростанций при проблемах с газом, которые ожидалось более тяжелыми, чем в предыдущие годы. Был создан запас мазута, вдвое больший по сравнению с прошлым годом (300 тыс.т), но с учетом более холодной зимы, а также выполнением ремонтных работ на блоке 800 МВт Талимарджанской ТЭС и отсутствием возможности задействовать резервные мощности в Центральной части энергосистемы из-за проблем с газоснабжением, его оказалось недостаточным, причем в значительных объемах, что в результате привело к дефициту электрической энергии и мощности в осенне- зимний период 2020/21г.г.

С учетом данного опыта, а также из года в год растущего электропотребления и ситуации газоснабжением тепловых станций можно сделать следующий вывод: для обеспечения энергобезопасности страны необходимо подготавливать резервы мазута в объемах, под которые были построены действующие мазутохранилища на электростанциях – не менее 1 млн. тонн. Акционерному обществу "Тепловые электрические станции" (АО «ТЭС»), при необходимости, нужно произвести капитальный ремонт и/или модернизацию этих мазутохранилищ.

С целью предотвращения удорожания отпускного тарифа с тепловых станций целесообразно продумать вопросы:

- о предоставлении АО «ТЭС» льготных кредитов для приобретения мазута и/или освобождения от таможенных пошлин при его ввозе;
- обязать АО «ТЭС» заблаговременно заключать на тендерной основе прямые (без посредников) договора с поставщиками для приобретения мазута и запасных частей.

Проблемы, подобные текущим, имели место в 2010-14 годы, когда в утвержденных балансах топлива и энергии республики, были допущены просчеты. Ситуация с балансами была выправлена лишь после того, как казахской стороной были установлены высокие тарифы за внеплановую энергию, не санкционированно взятую из Казахстана, и сопряженные с нею услуги по регулированию мощности. В настоящее время топливно-энергетический баланс разрабатывается Министерством энергетики совместно с Министерством экономики и промышленности Республики Узбекистан, необходимо в срочном порядке усилить потенциал соответствующих работников, занимающихся данным вопросом, чтобы не повторять допущенных просчетов.

Главной особенностью электроэнергетики было то, что в любой момент времени выработка и потребление электроэнергии должны быть равны друг другу. В последние годы появились различные технологии накопления энергии, которые позволяют сохранить излишки энергии и использовать накопленную

энергию тогда, когда в системе ощущается недостаток энергии. Промышленного применения в больших объемах эти технологии еще не получили, в первую очередь из-за высокой стоимости, доля их мала, и поэтому диспетчеры ведут режим исходя из требований соблюдения баланса генерации и потребления.

Отметим, что электроэнергия, обусловленная этим перетоком, является товаром, который необходимо либо купить, либо успеть вернуть до конца расчетного периода (в энергетике за расчетный период принят месяц). Услуги по компенсации небалансов мощности (на загрузку при дефиците и на разгрузку при избытке мощности) также являются возмездными и подлежат оплате, причем при больших отклонениях их стоимость резко возрастает, т.к. для компенсации небалансов необходимо будет востребовать более дорогие резервы мощности. Чтобы читатель имел представление об уровне цен, вспомним ситуацию в 2014 году, когда узбекская энергосистема из-за просчетов в планировании была в зимний период остродефицитной и купила услуги за регулирование мощности в объеме, соизмеримом со стоимостью внепланово купленной электроэнергии (суммарно порядка 70 млн. дол. США).

Кроме финансового вопроса, при больших дисбалансах энергетики сталкиваются с большими техническими проблемами, а именно, с сохранением устойчивости параллельной работы энергосистем или их частей. В указанный выше несбалансированный период для сохранения устойчивости электрической связи, соединяющей Объединенную энергосистему Центральной Азии (ОЭС ЦА) с Единой энергосистемой (ЕЭС) Казахстана и ЕЭС России, за сутки до 50 раз срабатывала АНМ (автоматика ограничения набросов мощности) с отключением потребителей по линиям 35-110 кВ от САОН (специальной автоматики отключения нагрузки), т.е. целыми регионами. Понятно, что, если большие дисбалансы будут иметь перманентный характер, в течение всего года, то это будет не только стоить больших денег энергосистеме, но и грозить целостности параллельной работы в составе энергообъединения.

Как отмечено выше, проблемы с газоснабжением тепловых электрических станций имели место не только при резком похолодании, но и в теплые дни, когда его дефицит ощущался в пиковые часы нагрузок.

Дело в том, что техническое состояние существующей газотранспортной системы АО «Узтрансгаз» таково, что она позволяет обеспечивать газом электростанции в режиме, при котором разность между минимальным потреблением газа в провальные часы нагрузок и максимальным потреблением в часы максимума не превышает 250-300 тыс. м³, т.е. когда требуется подъем нагрузки на станциях для покрытия роста потребления природный газ в необходимом объеме и давлении становится недоступным.

На существующих энергоблоках конденсационного типа, которые в основном используются энергосистемой для разгрузки/загрузки, требуется 32 тыс.м³/час газа для выработки 100 МВт. Это означает, что газотранспортная система в существующих условиях может обеспечить подъем нагрузки на тепловых станциях всего лишь порядка 1000 МВт, в то время как за последние годы потребность в пиковом наборе нагрузке выросла до 1500 МВт и продолжает расти.

В связи с этим необходимо принять меры по переводу газотранспортной системы из режима среднесуточных поставок в режим гибких поставок в соот-

ветствии с суточным графиком энергосистемы. Эта проблема также значительно усложнится в связи с планируемым крупномасштабным внедрением ВИЭ в энергосистему, особенно солнечных станций, которым присуще такое свойство как прерывистость, т.е. полное исчезновение в часы вечернего максимума нагрузок. Прерывистость солнечных электростанций (СЭС) приведет к тому, что потребность в пиковой мощности вырастет кратно так как *днем* для приема мощности от СЭС необходимо разгружать тепловые станции, *вечером* дополнительно к подъему мощности, связанному с ростом нагрузки, потребуются компенсировать исчезающую мощность СЭС. При необеспечении требуемой компенсации возникнет дефицит мощности и значительные ограничения потребления электрической энергии.

Введенная в сентябре 2021 года в эксплуатацию солнечная фотоэлектрическая станция (ФЭС) в Навоийской области мощностью 100 МВт и планируемая к вводу до конца текущего года станция такой же мощности в Самаркандской области должны позволить наработать опыт по указанной выше проблеме. К слову, по оценкам экспертов, введенная в работу ФЭС в Навоийской области является одним из лучших проектов среди внедренных в энергосистемах за последние годы, реализация которой была осуществлена при содействии Всемирного Банка.

Отсутствие соответствующей инфраструктуры в газотранспортной системе республики (подземные газохранилища - ПХГ, резервуары для хранения газа - газгольдеры, при необходимости, терминалы СПГ - сжиженного природного газа) может создать значительные трудности для предусмотренной Концепцией масштабной интеграции ВИЭ в энергосистему Узбекистана.

Для создания вышеупомянутой гибкой газотранспортной системы необходимо:

а) сооружение при тепловых станциях газгольдеров, которые должны аккумулировать газ в провальные часы нагрузок и предоставлять его в пиковые часы;

б) увеличить количество ПХГ в республике (для сравнения, в Узбекистане всего 2 работающих ПХГ, в то время как в Италии, имеющей соразмерную территорию - 21 ПХГ);

в) проработать вопросы использования терминалов сжиженного газа там, где для ПХГ нет условий;

г) при необходимости перейти на вынужденный режим ежедневного сжигания мазута в часы подъема нагрузки в вечерний максимум, когда будут иметь место ограничения по скорости набора нагрузки на отдельных станциях из-за нехватки газа. Естественно, для этого необходимо будет сохранить в рабочем состоянии часть существующих традиционных энергоблоков, которые могут работать как на газе, так и на мазуте. Для повышения эффективности энергоблоков целесообразно их модернизировать, увеличивая их мощность за счет технологии репауринага (дополнения газотурбинными установками);

д) наряду с широкой интеграцией ВИЭ устанавливать в энергосистеме, а также при строящихся СЭС, накопители энергии в объемах, достаточных:

- в первую очередь для снижения скорости подъема нагрузки тепловыми станциями до величин, обусловленных режимом газотранспортной системы;

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- для компенсации флуктуаций, вызванных погодными факторами;
- для перераспределения энергии из более дешевой части суточного графика в дорогие пиковые часы.

При этом необходимо:

- определить специальными исследованиями допустимую долю ВИЭ в составе генерирующих мощностей Узбекистана, безопасную для сохранения устойчивой работы энергосистемы в составе ОЭС ЦА, а также необходимый объем строительства накопителей электрической энергии;

- изучить наиболее перспективные виды накопителей энергии. Следует отметить, что в мировой практике наиболее популярными являются (по нашему мнению, в силу соответствующего пиара) все более дешевеющие литий-ионные батареи, которые, между тем, имеют высокую степень деградации (до 5% в год), малое время работы после полного заряда, а также сравнительно небольшой жизненный цикл. Целесообразно обратить внимание на накопители с долговременным использованием, таких как гидроаккумулирующие станции или гравитационные накопители энергии. Последние, по сути, представляют собой «сухие» гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), где вместо воды потенциальная энергия создается за счет поднятия бетонных блоков и в пересчете на жизненный цикл оказываются в 1,5 раза дешевле ГАЭС и в 4 раза дешевле электрохимических батарей.

В этом отношении примечателен опыт Италии, где по состоянию к 2017 году было построено 5000 МВт ГАЭС, что составляет четверть от мощности работающих солнечных станций. Эти ГАЭС позволяют иметь регулирующий диапазон в 10000 МВт и решить проблему с набросами мощности на слабый, с электрической точки зрения, интерфейс с основной частью европейской энергосистемы [5, 8-14].

В настоящее время допустимый наброс несбалансированной мощности из ОЭС ЦА в сторону России, при аварийном отключении большой нагрузки равен 500 МВт, а из России в сторону ОЭС ЦА, при аварийных отключениях энергоблоков - всего лишь 300 МВт. С учетом этого фактора, при строительстве новых ПГУ большой мощности (до 650 МВт в настоящее время) необходимо в проекте закладывать автоматику по компенсации небалансов, которые будут появляться при аварийных отключениях данных энергоблоков. Как показывает опыт, этот фактор игнорируется во всех проектах, выполненных в последнее время.

Масштабное внедрение возобновляемых источников энергии без исследования их влияния на устойчивость энергосистемы может привести так называемым «блэкаутам», которые происходят в странах, имеющих достаточно большую долю ВИЭ, несмотря на то, что в этих странах очень хорошо развитая энергетическая инфраструктура и передовые рыночные механизмы (США, Австралия, Испания и т.д.). Большая доля ВИЭ в энергосистеме без решения вопросов балансировки приведет к потере управляемости и, как следствие, несбалансированным режимам энергосистемы, которая будет отражаться на межгосударственных сечениях, что в конечном итоге поставит энергетическую безопасность страны в зависимость от других энергосистем.

Наиболее сложная проблема, ожидаемая при интеграции ВИЭ в энергосистему - обеспечение скорости набора нагрузки энергоблоками (ramping, по английской терминологии) в часы максимумов суточного графика, при

нерешении которой ежедневно будут возникать ситуации с некомпенсированными набросами мощности, исчисляемой гигаваттами, на интерфейс ЕЭС России - ЕЭС Казахстана.

При недостаточности мер, принимаемых узбекской энергосистемой по компенсации своих небалансов, на данном интерфейсе будут постоянно возникать аварийные ситуации с перегрузом межгосударственных линий электропередач, которые могут привести к глубоким ограничениям потребления электрической энергии не только по энергосистеме Узбекистана, а также и в других энергосистемах ОЭС ЦА. Данное обстоятельство приведет к ущербу не только от ограничений внутри республики, а также к финансовым претензиям по компенсации ущерба со стороны соседних государств. При непринятии достаточных мер по решению этой ежедневно возникающей проблемы на повестку дня может быть вынесен вопрос об отделении ОЭС ЦА от ЕЭС России и ЕЭС Казахстана [6, 7].

В последние годы в Узбекистане ввод новых генерирующих мощностей осуществляется в подавляющем большинстве случаев в виде ПГУ, которые рассчитаны на работу в базовом режиме, а также малых ГЭС, работающих на водотоке. С учетом обозначенной выше проблемы целесообразно применение технологий, позволяющих работать в регулирующем режиме (в теплоэнергетике – это ПГУ «Н» класса, ГТУ на базе авиационных двигателей, газопоршневые генераторы, в гидроэнергетике - средние и крупные ГЭС с водохранилищами, в том числе ГАЭС). В этом вопросе наметился сдвиг – в 2021 году в Ташкентской области планируется ввод высокоманевренной ПГУ на 470 МВт и в 2022 году газопоршневые агрегаты общей мощностью 230 МВт. Понятно, что для их эффективной работы требуется обратить особое внимание на обеспечение этих станций необходимым объемом газа без ущерба другим станциям в этом регионе.

Для обеспечения регулирования графика нагрузки энергосистемы необходимо внедрение практики управления спросом, которое подразумевает действия потребителей по снижению их потребления электроэнергии в целях обеспечения надежности энергосистемы на условиях экономического стимулирования. Введение таких потребителей-регуляторов позволит смягчить преодоление аварийных ситуаций в энергосистеме, таких как резкое увеличение потребления электрической энергии при изменениях погоды или аварийные отключения энергоблоков.

При выборе месторасположения новых станций практически не выполняется анализ комплексного развития экономики, развития промышленности по причине отсутствия такой информации. В результате выбор места строительства новых станций и проектирование выдачи мощности новых станций осуществляется без должного анализа передачи электроэнергии в сеть, что может привести необоснованным расходам на сетевое строительство или их недостаточности для выдачи полной мощности электрической станции. Для решения этой задачи необходимо ускорить разработку генеральной схемы развития энергетической отрасли Узбекистана.

Кроме того, при вводе новых ПГУ параметры систем регулирования генераторов на станциях устанавливаются на основе стандартных тестовых завод-

ских испытаний, без учета места установки блоков в энергосистеме. Как показывает опыт ввода в работу ПГУ-2 на Тахиаташской ТЭС, это может привести синхронным качаниям мощности в энергосистеме (неоднократно имело место на транзите Тахиаташская ТЭС - ПС Зарафшан), что представляет опасность для всей объединенной энергосистемы, снижая ее устойчивость и надежность. Для анализа таких ситуаций и возможной корректировки систем регулирования генераторов блоков целесообразно использовать опыт России и Казахстана, в энергосистемах которых подключение любого генерирующего агрегата в энергосистему допускается после сертификационных испытаний и настройки автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов в специализированном центре г. Санкт-Петербурга.

Касательно возможности решения вопроса регулирования мощности с помощью соседних энергосистем, обладающими значительными гидроресурсами, следует отметить, что резервы мощности у них ограничены:

- в Кыргызстане резервов осталось порядка 150-200 МВт;
- в Таджикистане резервов порядка 700-1000 МВт.

Их, конечно, можно учитывать при интеграции СЭС, но нужно помнить, что:

а) услуги по регулированию не бесплатны. При больших объемах услуг, их стоимость соизмерима с поставками электроэнергии;

б) Кыргызстан и Таджикистан связаны обязательствами по проекту CASA-1000, следует ожидать, что свободных резервов после того, как этот проект начнет работать, практически не будет.

С учетом этого следует продумать вопрос об совместном освоении значительного гидропотенциала, который имеется в Таджикистане и Кыргызстане, участием в строительстве таких крупных гидрообъектов как Рогунская ГЭС (3600 МВт) или Камбаратинская ГЭС-1 (1900 МВт). Обладание достаточного объема акций этих объектов необходимо Узбекистану не только для решения энергетических потребностей, но и для обеспечения ирригационной безопасности страны.

Рассмотренные выше вопросы, связанные с регулированием мощности, станут еще более актуальными в связи со строительством атомной станции, которая будет работать в базовом режиме. Здесь необходимо отметить, что в связи из года в год ухудшающейся ситуации с газообразным и жидким топливом для электростанций, альтернативы этому строительству нет – все вопросы, связанные со строительством АЭС нужно ускорить-

Отметим, что экономические последствия в процессе перехода на альтернативные энергоносители должны быть заранее просчитаны. Так, резкий рост цен на природный газ в Европе вызван ускоренным отказом от угольных электростанций. Необходимо принять меры по наращиванию мощностей, работающих на угле, причем не только в энергетике, но и в других отраслях, в том числе в коммунально-бытовом секторе. С этой целью желательно рассмотреть вопрос модернизации энергоблоков на Ново-Ангренской ТЭС с возможностью сжигания на них и других углей, кроме ангреноского бурого угля (причем без «подсветки» газом), и работы в режиме, допускающем достаточный диапазон регулирования.

Обеспечение квалифицированными кадрами. Большинство из перечисленных проблем не решаются из-за того, что в отрасли имеет место дефицит квалифицированных кадров. Система подготовки кадров оторвана от производства, ВУЗы и техникумы слабо используют потенциал производителей. Целесообразно создать отраслевые учебные заведения, передав соответствующие учебные заведения с баланса Министерства высшего и среднего специального образования на баланс Министерства энергетики, что позволит поднять и осовременить их материально-техническую базу, привлекать ведущих отраслевых специалистов для обучения студентов, более качественно и целенаправленно проводить производственные практики на рабочих местах, наладить систему повышения квалификации специалистов отрасли и т.п.

Необходимо воссоздать Центр переподготовки персонала, коренным образом усилив его материально-техническую базу и технологию подготовки специалистов. В качестве примера можно привести Академию КЕРСО в Сеуле, где обучающиеся, которым созданы все условия по проживанию, могут ознакомиться с самым современным технологическим оборудованием. В качестве одного из критериев сохранения работником своего места является выполнение требования обязательной стажировки раз в три года всех специалистов КЕРСО, независимо от занимаемой должности. Думается, очень полезный опыт, необходимый для внедрения в узбекской энергосистеме.

Выводы. Энергетика является базовой отраслью страны, от ритмичной работы которой зависят все другие отрасли. Для обеспечения энергобезопасности страны необходимо особое внимание уделить топливообеспечению электрических станций, в особенности резервным топливом (уголь и мазут), которое должно позволить восполнить дисбалансы по поставке газа, неизбежно возникающие в условиях резкоконтинентального климата в Узбекистане.

Широкомасштабная интеграция ВИЭ в энергосистему, будущий ввод АЭС ставит задачу повышения мобильной генерации в республике, что невозможно без создания гибкой газотранспортной системы, а также систем накопления энергии.

Необходимо вовлечение потребителей в процесс регулирования нагрузки энергосистемы в целях обеспечения надежности работы на основе экономического стимулирования.

Целесообразно участие Узбекистана в строительстве крупных гидрообъектов в соседних странах, чтобы обезопасить интересы как ирригации, так и энергетики республики.

Особое внимание необходимо обратить на систему подготовки и переподготовки кадров, без которых успешное функционирование энергетической отрасли невозможно.

Литература

1. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. Министерство энергетики РУз, 2020. Источник: официальный сайт Министерства энергетики Республики Узбекистан – <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77>

2. Energy of Uzbekistan: transition to market relations and increasing generation. <https://energy.media/2021/09/26/energetika-uzbekistana-perehod-na-gynochnye-otnosheniya-i-narashhivanie-generatsii/Uzbekistan Energy Market>.
3. Положение о Министерстве энергетики Республики Узбекистан (Приложение к Постановлению КМ РУз от 09.02.2019 г. N 108)
4. Постановление Президента Республики Узбекистан от 27.03.2019 года №ПП4249 «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан».
5. ENTSO-E TransparencyPlatform. Информация о генерации Италии с онлайн сайта ENTSO-E, <https://transparency.entsoe.eu/generation>
6. Т.Х. Насиров, В.А. Непомнящий, Х.А. Шамсиев. Влияние ветровых и солнечных электростанций на управляемость и надежность функционирования энергосистем.
7. Шамсиев Х.А. Влияние ВИЭ на функционирование ОЭС ЦА и региональную торговлю в регионе Центральной Азии. /Семинар по регуляторным и правовым вопросам. Алматы, 2018. Источник: официальный сайт Региональной программы USAID «Энергия будущего».
8. Flexible Gas Markets for Variable Generation. A EURELECTRIC report, May 2014. http://www.elecpor.pt/pdf/06_05_2014_EURELECTRIC_flexiblegasmarketpaper_final_lr.pdf
9. http://energo-cis.ru/zasedaniya_soveta/ Электроэнергетический Совет Содружества Независимых Государств. Основные показатели работы энергосистем. Ежеквартальные Информационные бюллетени.
10. [www://carecprogram.org/uploads/CAPS-Modern-condition-and-outlook-ru](http://www.carecprogram.org/uploads/CAPS-Modern-condition-and-outlook-ru).
11. https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Events/20110623-7RECA_S3_KShamsiev_ru.pdf
12. 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: ФГБУ, ИСЭМ СО РАН. – Иркутск, 2017. -С. 34-36.
13. Meeting of the task force Regional Electricity cooperation between central and South Asian Countries. https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Events/20090421-4RECA_S3_KShamsiev_ru.pdf
14. Shamsiev Kh.A. The Unified Energy System of Central Asia: Prospects for Regional Trade. // 26th meeting of the ESCC CAREC. –Ashgabat, March 13–14, 2018.

*Представлено МННО КДЦ “Энергия” и
Институтом проблем энергетики
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК 620.9

**АСКУЭ - НОВЫЙ ШАГ В ЭВОЛЮЦИИ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ****Ж.О. Обиджонов**

Мақолада Ўзбекистон Энергетика вазирлигининг “Худудий электр тармоқлари” АЖти томонидан, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 23 октябрдаги №ПП-3981 Қарори ва Вазирлар Маҳкамасининг №594 2020 йил 28 сентябрдан эълон қилинган “Электр энергиясини ҳисобга олиши ва назорат қилишининг автоматлаштирилган тизимини жорий этишни жадаллаштириши чора-тадбирлари тўғрисида” номли Қарорлари асосида олиб борилаётган ишлар тўғрисида маълумот берилган. Бажарилган ишлар электр энергияси истемолининг автоматлаштирилган тизимини (ЭЭИАТ) ташиқ қилишига йўналтирилган. Бугунги кунга келиб, давлатимиз электр энергия истемолчиларида 7 миллион 392 ўлчаши асбоблари ўрнатилганлиги тақдланган. Бу рақам, белгиланган режанинг 99,6% фойизини ташиқ қилиб, истемолчилардаги эски ўлчаши асбоблари янги тизимга уланган электрон ўлчашасбоблари билан таъминланганлиги эълон қилинган. Амалга оширилган режалар, истемолчиларни электр энергияси билан ишончли таъминлаида катта ижобий ўзгаришларга олиб келиши кўрсатилган. Биринчи навбатда истемолчиларни ўлчаши асбоблари билан таъминланганлиги, энергетика тизимининг суткалик графигини текислаиша ва ўз вақтида электр энергияси учун тўловларни амалга оширишига имкон беради. Асосий ютуқлардан бири, электр энергия исрофини ва энергияни ноқонуний истемол нуқтаси топилади ва чегаралинади ва бундай жараён қаерда ва қанчалик бўлаётганини аниқланади.

В статье отмечается, что в республике акционерным обществом “Региональные электрические сети” при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, ведутся работы по установке приборов учета, совместимых с системой АСКУЭ на основании постановления Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2018 г. №ПП-3981, а также постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан от 28 сентября 2020 года №594 «О мерах по ускорению внедрения автоматизированной системы учета и контроля электроэнергии». Утверждается, что на сегодняшний день в стране установлено порядка 7 миллионов 392 тысяч приборов учета. План предусматривает замену в общей сложности около 7,4 миллиона приборов учета, а это означает, что около 99,6 процентов приборов учета потребителям были заменены современными счетчиками. Показано, что в результате этой работы произойдут заметные изменения в системе энергоснабжения государства. Прежде всего, это позволит управлять нагрузкой системы в пиковые часы и предотвращать образование задолженности, обеспечивая потребителей электроэнергией на предоплатной основе. Главное - это максимально предотвращать коммерческие потери при

распределении электроэнергии, определив посредством программного обеспечения: где в каких сетях или регионах возникают чрезмерные потери.

The article notes that in the republic, the joint-stock company "Regional Electric Networks" under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan is working on the installation of metering devices compatible with the ASKUE system on the basis of the decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated October 23, 2018 No. PP-3981, as well as the resolution Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan dated September 28, 2020 No. 594 "On measures to accelerate the implementation of an automated system for metering and automation of electricity." It is claimed that today about 7 million 392 thousand metering devices have been installed in the country. Considering that the plan provides for the replacement of a total of about 7.4 million metering devices, this means that about 99.6 percent of the metering devices for consumers have been replaced system-compatible counters. It is shown that as a result of this work, noticeable changes will occur in the state's energy supply system. First of all, this will allow to manage the load of the system during peak hours and prevent the formation of debt, providing consumers with electricity on a prepaid basis. The main thing is to prevent commercial losses in the transmission of electricity as much as possible by determining through the software through which network or regions excessive losses occur.

Переход экономики на рыночные методы хозяйствования предъявляет жесткие требования к достоверности и оперативности учета электрической энергии. Эти требования могут быть удовлетворены только путем создания автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), оснащенных современными приборами учета потребления электрической энергии.

Современные АСКУЭ являются масштабными системами, выполняющими одновременно измерение и учет количества энергии и энергоресурсов различного рода по территориально распределенным точкам. И работающими в реальном времени с последующей передачей информации по уровню иерархии чesкому. Особую значимость АСКУЭ получила в электроэнергетике [1].

Рынок АСКУЭ был оценен в 7,75 млрд долларов США в 2019 году и, как ожидается, достигнет 17,0 млрд долларов США к 2025 году. Интеллектуальные счетчики представляют собой революционную технологию для коммунальной отрасли. Внедрение АСКУЭ является приоритетом для многих коммунальных предприятий.

В свою очередь, общество в целом извлекает выгоду из внедрения АСКУЭ во многих отношениях. Один из способов - повысить эффективность поставки и использования энергии, что окажет благоприятное воздействие на окружающую среду. Это может ускорить использование "распределенной генерации", что, в свою очередь, может стимулировать использование экологически чистых источников энергии.

Основным преимуществом АСКУЭ является содействие реагированию на спрос и новаторские тарифы на электроэнергию. В периоды высокого спроса на энергию, его небольшое снижение приводит к относительно значительному

снижению рыночной цены на электроэнергию. А снижение спроса поможет избежать веерных отключений. По данным Edison Electric Institute (EEI), прямые затраты (например, затраты на электроэнергию) в связи с отключениями электроэнергии в развитых странах могут оцениваться в десятки миллионов долларов. Потери бизнеса и потребителей могут быть во много раз выше. Следовательно, способность реагировать на спрос может принести обществу выгоду в миллиарды долларов. Накопленные выгоды могут варьироваться в зависимости от типа инициированных программ реагирования на спрос. Даже простое смещение спроса с часов пик за счет тарифов на время использования может иметь серьезные преимущества, включая снижение затрат как для энергетических предприятий, так и для потребителей за счет отсрочки строительства новых дорогостоящих объектов пиковой генерации. Полномасштабное внедрение АСКУЭ приводит к устранению старых и устаревших электромеханических (индукционных) счетчиков, которые имеют тенденцию неправильно измерять электроэнергию по мере старения. Современные счетчики АСКУЭ сохраняют свою точность с течением времени, обладают функцией самоконтроля, что упрощает выявление неточных измерений, неправильной установки и, особенно, краж электроэнергии.

Сегодня в республике акционерным обществом “Региональные электрические сети” ведутся работы по установке приборов учета, совместимых с системой АСКУЭ на основании постановления Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2018. №ПП-3981 [2], а также постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан от 28 сентября 2020 №594 [3].

Таблица 1

Этапы внедрения проекта АСКУЭ в Узбекистане

Номер этап и период реализации	Регион Узбекистана	Общее кол-во счетчиков (млн.ед.)
№1 (2012-2018 гг.)	Бухарская, Джизакская и Самаркандская области	1, 537
№2 (2013-2017 гг.)	г. Ташкент, Ташкентская и Сырдарьинская области	1, 624
№3 (2014-2017 гг.)	Республика Каракалпакстан, Навойская и Хорезмская области	1,043
№4 (2016-2020 гг.)	Андижанская, Кашкадарьинская, Наманганская, Сурхандарьинская и Ферганская области	3,212
На 01.01.2021 г.	Всего:	7,418

На сегодняшний день в стране установлено порядка 7 миллионов 392 тысяч приборов учета. Учитывая, что план предусматривает замену в общей сложности около 7,4 миллиона приборов учета, это означает, что около 99,6 процентов приборов учета потребителям были заменены системно-совместимыми счетчиками.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

На данный момент к биллинговой системе подключено более 7 миллионов 126 тысячи установленных приборов учета, что означает, что расчеты с подключенными к биллинговой системе потребителями производятся в автоматическом режиме и имеется возможность получать и контролировать информацию по счетчикам.

Следует отметить, что основная цель внедрения системы АСКУЭ - обеспечение прозрачности отношении между потребителем и поставщиком, уточнение расчетов за отпущенную электроэнергию, а также усиление платежной дисциплины за электроэнергию, использованную потребителями; получение и анализ необходимой информации при распределении электроэнергии в разрезе потребителей и трансформаторов, вместе с этим одновременно проведение работ по модернизации на основе этой информации.

Кроме того, с помощью этой системы предотвращаются посторонние вмешательства в приборы учета потребителей, случаи незаконного использования электрической энергии.

К тому же, во многих случаях после отключения потребителей-должников от сети имело место повторное подключение этих потребителей обратно. Система АСКУЭ предотвращает подобное незаконное вмешательство. Например, приборы учета не подключаются автоматически, даже если потребитель погасит долг. Для этого после принятия мер специалистами энергосбытовых предприятий, прибор учета будет включен.

В то же время система служит для идентификации трансформаторных подстанций, сетей, работающих с большими нагрузками, для предотвращения аварий, проведения дальнейших модернизационных и строительных работ и что наиболее важно, для обеспечения бесперебойного питания наших потребителей.

Общая стоимость проекта составляет \$ 587,3 млн. Первая фаза проекта была профинансирована Азиатским банком развития и составила \$ 150 млн.

На сегодняшний день установлено более 7 млн современных приборов учета за счет собственных средств компании и инвестиций ряда международных организаций. Электронные приборы учета поставляются южнокорейской компанией “КТ Corporation”, а также местными производителями СП ООО “Электрон Хисоблагич” и ИП ООО «Тошэлектроаппарат».

Использование приборов учета электроэнергии, подключенных к автоматизированной системе, в первую очередь создает удобство для граждан. В то время как предыдущие приборы учета хранили небольшой объем данных, то новые приборы учета, подключенные к системе, имеют возможность хранить около 40 типов данных, кроме того «умные» приборы учета предназначены для обслуживания потребителя сроком до 25 лет, разработаны местными компаниями и, таким образом, соответствуют климатическим условиям.

«Центром автоматизации учета электроэнергии» АО «Региональными электрическими сетями» в г.Ташкент сдан в эксплуатацию 20 августа 2020 года проект, реализуемый АО «Региональные электрические сети», южнокорейской корпорацией “КТ Corporation” и Азиатским банком развития (АБР), который важен тем, что способствует дальнейшему расширению энергетического сектора страны, в частности, использованию инновационных технологий и решений в сфере электроснабжения.

Необходимо отметить, что центр позволяет хранить данные потребителей электроэнергии в разрезе республики, областей, районов (городов), а также формировать почасовые, суточные, месячные и годовые балансы электроэнергии, производить расчеты в многотарифном режиме.

Кроме того, доступна возможность полностью автоматического отключения потребителей с задолженностью и повторного подключения их обратно после оплаты за потребленную электроэнергию, удаленного перепрограммирования приборов учета электроэнергии, обработки данных приборов учета потребителей и управления энергосистемой.

Южнокорейской компанией “КТ Corporation” произведена поставка серверного оборудования центра, произведенного в ведущих странах, таких как Корея, Китай, Сингапур и США, рассчитанного на подключение 8 млн. потребителей, с возможностью увеличения их количества в будущем до 20,0 млн.

Вместе с этим, созданы «Малые дата-центры» в региональных электрических сетях и районных (городских) энергосбытовых компаниях. Эти «Малые дата-центры» обеспечивают стабильную работу системы АСКУЭ. Также после завершения проекта планируется открытие сервисных центров по обслуживанию приборов учета в каждом районе.

Стоит отметить, что в результате этой работы произойдут заметные изменения в системе энергоснабжения. Прежде всего, это позволит управлять нагрузкой системы в пиковые часы и предотвращать образование задолженности, обеспечивая потребителей электроэнергией на предоплатной основе. Главное - это максимально предотвратить коммерческие потери при передаче и распределении электроэнергии, определив посредством программного обеспечения, через какую сеть или регионы возникают чрезмерные потери.

Литература

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-3384 от 13.11.2017 г. “О мере ускоренному внедрению автоматизированной системк контроля и учета электрической энергии и природного газа”.

2. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-3381 от 23.10.2018 г. “О мере ускоренному развитию и обеспечению финансовой устойчивости электроэнергетической отрасли”.

3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистана № ПКМ-594 от 28.09.2020 г. “О мерах ускоренного внедрения автоматизированной системк учета и контроля электроэнергии”.

Представлена АО «Региональные электрические сети», Узбекистан

УДК: 631.314

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА РАБОТАЮЩИХ АГРЕГАТОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Т.Ш. Гайибов, Б.М. Пулатов

Ushbu maqolada genetik algoritm asosida elektr stansiyalarida ishlovchi agregatlar tarkibini tanlashning yangi algoritmi taklif qilingan. Unga ko'ra muammoni hal qilish ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda optimallashtirishda ishtirok etuvchi stansiyalarning umumiy energetik xarakteristikalari quriladi. Ikkinchi bosqichda barcha cheklov shartlarini hisobga olgan holda energetika tizimining yuklama grafigini barcha stansiyalar tomonidan genetik algoritm yordamida optimal qoplash orqali ishlovchi agregatlarning optimal tarkibi aniqlanadi. Natijaning yuqori aniqligi shundan iboratki, jadval ko'rinishida berilgan ma'lumotlarni energiya tavsiflaridan bevosita foydalanish va genetik algoritmning ko'p ekstremumli muammolarni hech qanday soddalashtirishsiz hal qilish imkoniyati mavjudligidir.

В данной статье предлагается новый алгоритм выбора состава работающих агрегатов в электростанциях на основе генетического алгоритма, в определенной степени отвечающий современным требованиям. Решение проблемы осуществляется в два этапа. На первом этапе строятся обобщенные энергетические характеристики объектов, участвующих в оптимизации. На втором этапе на основе оптимального покрытия графика нагрузки энергосистемы всеми станциями по полученным их обобщенным энергетическим характеристикам с учетом всех ограничивающих факторов генетическим алгоритмом определяется оптимальный состав работающих агрегатов. Высокая точность результата обеспечивается прямым использованием энергетических характеристик станций, обычно задаваемых в табличной форме, и способностью генетического алгоритма решать многоэкстремальные задачи без каких-либо упрощений.

In this paper, we propose a new algorithm for selection the composition of operating units in power plants based on a genetic algorithm, which, to a certain extent, meets modern requirements. The solution to the problem is carried out in two stages. At the first stage, generalized energy characteristics of the plants participating in the optimization are constructed. At the second stage in basis of optimal coverage of the power system load schedule by all plants according to their obtained generalized energy characteristics taking into account all limiting factors, by the genetic algorithm the optimal compositions of the operating units are determined. High accuracy of the result is ensured by the direct use of energy characteristics of plants, usually set in a tabular form, and the ability of the genetic algorithm to solve multi-extreme problems without any simplifications.

Для описания сущности алгоритма рассмотрим энергосистему, содержащую только тепловые электростанции (ТЭС), участвующие в оптимизации. Так

как, данная методика расчета предусматривает учет гидроэлектростанций (ГЭС), участвующих в оптимизации через неопределенные множители Лагранжа λ , представляющих собой топливные эквиваленты расхода в них воды. При их известных значениях перемножением на характеристики расходов воды соответствующие ГЭС в расчетном смысле приводятся в эквивалентные ТЭС, как в [2-5]. А учет других видов электростанций осуществляется существующими методами, которые не влияют на эффективность предлагаемого алгоритма.

Целевая функция, которая минимизируется, представляется как суммарные топливные издержки по энергосистеме за рассматриваемый период планирования T :

$$F = \sum_{t=1}^{n_T} \sum_{i=1}^n [B_{it}(P_{it}, c_{it}) + B_{it}^{\Pi}(\tau_{it}, c_{it})], \quad (1)$$

где n , n_T - число ТЭС, участвующие в оптимизации и расчетные интервалы в рассматриваемом периоде планирования режима энергосистемы T , соответственно; P_{it} , B_{it} - мощности и топливные издержки i -й ТЭС в t -м интервале периода планирования; c_{it} - сочетание работающих агрегатов в i -й ТЭС в t -м интервале; τ_{it} - время простоя агрегата i -й ТЭС после останова и пускаемого в t -м интервале; B_{it}^{Π} - топливные издержки, связанные с пуском агрегата i -й ТЭС, оставленном в отключенном состоянии на время τ_{it} .

Зависимость пускового расхода топливных издержек от времени простоя является нелинейной [1,2,4,7]. Однако, как показано в [1,5,6], при времени простоя агрегата не превышающем 20 ч., зависимость B_{it}^{Π} от τ_{it} примерно линейная, которая проходит через начала координатных осей. В таком случае, задаче оптимизации для периода планирования можно свести к задаче поинтервальной оптимизации, когда она решается отдельно для каждого из них. При этом целевая функция для любого интервала представляется в следующем виде:

$$F = \sum_{i=1}^n [B_i(P_i, c_i) + B_{oi}^{\Pi}(c_i)], \quad \text{где } B_{oi}^{\Pi} = \frac{B_i^{\Pi}}{\tau_i}. \quad (2)$$

При минимизации полученной функции учитываются ограничения по количеству одновременно пускаемых агрегатов, минимальным и максимальным возможным мощностям станций:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad (3)$$

балансу активной мощности в энергосистеме:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i - P_n - \pi = 0 \quad (4)$$

и предельным допустимым потокам мощностей в контролируемых линиях электропередач (ЛЭП):

$$P_l^{\min} \leq P_l \leq P_l^{\max}, \quad l \in L, \quad (5)$$

где W - функция небаланса активной мощности в энергосистеме; P_n - суммарная активная нагрузка по энергосистеме; π - суммарные потери активной мощности в электрических сетях энергосистемы; L - множество ЛЭП, по которым контро-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

лируются потоки активной мощности; P_l , P_l^{\min} , P_l^{\max} - расчетный и заданные предельные значения потока активной мощности по l -й контролируемой ЛЭП.

При использовании для расчета потока мощности в ЛЭП коэффициентов распределения мощностей узлов электрической сети выражение для P_l представляется как линейная функция нагрузок расчетных станций:

$$P_l = \sum_{i \in \Gamma} C_{li} P_i - \sum_{j \in H} C_{lj} P_j + P_{l0}, \quad (6)$$

где Γ , H - множества генерирующих и нагрузочных узлов в электрической сети; C_{li} , C_{lj} - коэффициенты распределения мощностей узла i -го генерирующего и j -го нагрузочного узлов по l -й контролируемой ЛЭП; P_{l0} - свободный член линеаризованного выражения потока мощности.

Рассматриваемая задача является задачей целочисленного программирования. В предлагаемом алгоритме она решается на основе использования методов математического программирования. При этом расчеты выполняются в два этапа. На первом этапе по заданным энергетическим характеристикам отдельных агрегатов станций строятся их обобщенные энергетические характеристики для возможных сочетаний работающих агрегатов. В этих характеристиках учитываются пусковые расходы агрегатов при переходе с увеличением мощности от одного состава на другой. На втором этапе расчета решается для всех интервалов периода планирования описанная выше оптимизационная задача с учетом ограничений генетическим алгоритмом. При этом используются полученные на первом этапе обобщенные энергетические характеристики станций. Если в качестве энергетических характеристик агрегатов задаются характеристики относительных приростов (ХОП) топливных издержек в них, то ХОП топливных издержек для конкретного сочетания агрегатов получаются суммированием абсцисс характеристик входящих в это сочетание агрегатов, как в [3-6].

С процедурой построения обобщенных энергетических характеристик описанным алгоритмом ознакомимся на примере ТЭС, имеющей два возможных сочетания агрегатов с соответствующими ХОП топливных издержек (1 и 2 на рис. 1,а). Анализируя эти ХОП по рис. 1,а придем к следующим выводам: при мощностях станции, в диапазоне $P_1^{\min} - P_2^{\min}$, единственно возможным составом работающих агрегатов является состав соответствующий сочетанию 1, а в диапазоне $P_1^{\max} - P_2^{\max}$ - соответственно, состав, соответствующий сочетанию 2. Для определения мощности станции, при котором надо перейти от одного состава агрегатов к другому, в диапазоне $P_2^{\min} - P_1^{\max}$, следует сравнить расходы топливных издержек B_1 и B_2 , определяемых для условий работы 1 и 2, соответственно. При этом B_2 должен включать в свой состав пусковой расход вновь включаемого агрегата B_{o2}^n . Например, если при мощности P_2^{\min} $B_1 > B_2$, то в этой же точке осуществляется переход к составу с сочетанием 2. В противном случае ищется точка перехода в указанном диапазоне, при котором $B_1 = B_2$. Если в пределах этого диапазона остается $B_1 < B_2$, то мощностью, при которой осуществляется вынужденный переход к составу с сочетанием 2, является P_1^{\max} .

На рис.1 приведены полученные на основе расчета по описанному алгоритму обобщенная ХОП расхода топливных издержек (рис.1,а) и соответствующие расходные характеристики издержек (рис.1,б) для рассматриваемого примера. В общем случае на электростанциях имеется множество возможных соста-

вов агрегатов. Если на такой станции по техническим условиям не разрешен одновременный пуск двух и более агрегатов, то задача определения точки перехода на очередной состав упрощается за счет исключения рассмотрения состава работающих агрегатов, предусматривающих пуск двух и более агрегатов.

Таким образом, для диапазона регулирования мощности электростанции определяются все точки перехода от одного состава к другому и, соответственно, оптимальные зоны работы каждого состава. В общем случае, для регулируемого диапазона электростанции определяются все точки перехода от одного состава к другому и, соответственно, зоны работы каждого сочетания состава. В точке перехода из состава оборудования 1 на следующую 2 выполняется условия:

$$\int_{P_1^{min}}^{P_{12}} b_1(P_1) dP_1 = \int_{P_2^{min}}^{P_{12}} b_2(P_2) \cdot dP_2 + B_{02}^{\Pi}, \quad (7)$$

где P_{12} – мощность станции в точке перехода; B_{02}^{Π} – пусковой расход топливных издержек для очередного агрегата к составу 1.

Получаемые в результате такого расчета обобщенные ХОП электростанций имеют пилообразный (рис. 1,а), а расходные характеристики кусочно-квадратичный (рис. 1,б) вид. Поэтому задача оптимизации с такими характеристиками станций становится многоэкстремальной.

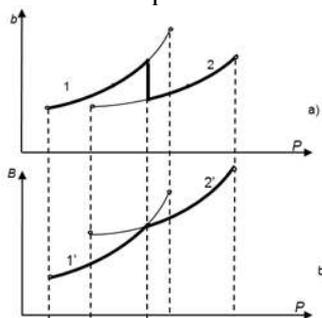


Рис. 1. Построение обобщенных характеристик относительного прироста затрат на топливо (а) и затрат на топливо (б) ТЭС

Таким образом после получения обобщенных энергетических характеристик электростанций выполняется второй этап расчета. Здесь целевая функция, которая представляет собой сумму обобщенных характеристик потребления ТЭС, участвующих в оптимизации:

$$F = \sum_{i=1}^n B_i(P_i) \rightarrow \min, \quad (8)$$

при соблюдении всех упомянутых выше ограничений сводится к минимуму. Предложенный алгоритм предусматривает использование генетического алгоритма, позволяющего решить полученную многоэкстремальную задачу и найти глобальный минимум при выполненных ограничениях. Обычно в качестве энергетических характеристик станций в задачах оптимизации режимов, задаются характеристики относительных приростов расхода условного топлива или топливных издержек в табличной форме. Поэтому для приведения к удобному виду для расчетов часто, на их основе строят расходные характеристики и ап-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

проксимируют их квадратичными функциями [2,3,5], которые имеют погрешности и, соответственно, уменьшают эффект от оптимизации. Предлагаемый алгоритм предусматривает использования табличных энергетических характеристик станций без их аппроксимации. При этом, значения расходов топливных издержек при различных мощностях станций определяются непосредственно по этим табличным зависимостям. В связи с этим здесь используется генетический алгоритм с вещественным кодированием переменных как в работе [8].

Эффективность описанного алгоритма исследована на примере выбора оптимального состава работающих агрегатов на трех ТЭС при покрытии ими суммарного графика энергосистемы. Для удобства суммарный график нагрузок энергосистемы представлен четырьмя характерными интервалами (табл. 1). Тепловые электростанции ТЭС-1, ТЭС-2 и ТЭС-3 имеют по 5, 12 и 7 однотипных агрегатов, соответственно. ХОП расхода условного топлива по одному агрегатов ТЭС приведены в табл. 2.

Таблица 1

График суммарной нагрузки энергосистемы

$t, ч$	1	2	3	4
$P_{ит.} \text{ МВт}$	3500	4000	4500	4200

Таблица 2

Характеристики относительных приростов условного топлива энергоблоков ТЭС

ТЭС – 1 $B_0=35,2 \text{ т.у.т.}$	$P_1, \text{ МВт}$	100	108	115	130	159	188	210
	$b_1, \frac{\text{т.у.т.}}{\text{МВт} \cdot \text{ч}}$	0,301	0,303	0,305	0,307	0,309	0,330	0,332
ТЭС – 2 $B_0=28,5 \text{ т.у.т.}$	$P_2, \text{ МВт}$	80	96	109	110	160		
	$b_2, \frac{\text{т.у.т.}}{\text{МВт} \cdot \text{ч}}$	0,316	0,317	0,319	0,334	0,3341		
ТЭС – 3 $B_0=50,0 \text{ т.у.т.}$	$P_3, \text{ МВт}$	150	240	270	271	300		
	$b_3, \frac{\text{т.у.т.}}{\text{МВт} \cdot \text{ч}}$	0,295	0,296	0,297	0,300	0,3001		

Для оценки эффективности предложенного алгоритма был получен оптимальный эталонный результат задачи, основанный на выборе и сравнении всех возможных комбинаций действующих агрегатов электростанций. Сравнение их с результатом, приведенным в табл. 3, показало их полное совпадение.

Таблица 3

Результат выбора оптимального состава действующих агрегатов на ТЭС

$t, ч.$	ТЭС -1		ТЭС -2		ТЭС -3		Суммарный расход у.т. за t-й интервал, т.у.т./ч.
	Число работающих агрегатов	P, МВт	Число работающих агрегатов	P, МВт	Число работающих агрегатов	P, МВт	
1	5	1050	3	350	7	2100	1131,3
2	5	1050	6	850	7	2100	1302,1
3	5	1050	9	1350	7	2100	1473,0
4	5	1050	7	1050	7	2100	1370,2

Таким образом, предложенный алгоритм выбора оптимального состава работающих агрегатов в электростанциях на основе генетического алгоритма позволяет надежно получить решение задачи с высокой точностью.

Сущность выше предлагаемого алгоритма описана для условий использования детерминированных исходных данных о состоянии системы. В условиях вероятностного характера и частичной неопределенности используемой исходной информации, данный алгоритм можно реализовать на основе использования описанных в работе [7, 8] расчетных процедур.

Выводы

1. Предложен новый алгоритм выбора оптимального состава работающих агрегатов на электростанциях энергосистем на основе генетического алгоритма, который позволяет получить оптимальное решение задачи с достаточной надежностью и точностью.

2. Повышение точности решения обеспечивается за счет оптимизации с непосредственным использованием реальных энергетических характеристик станций, задаваемых обычно в табличном виде.

3. Для реализации описанного алгоритма выбора оптимального состава работающих агрегатов на электростанциях с непосредственным использованием их энергетических характеристик, задаваемых в табличном виде, целесообразно применить генетический алгоритм с вещественным кодированием переменных.

Литература

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/ Под общ. ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. –М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Yamin, H.Y.: Review on methods of generation scheduling in electric power systems. Electric Power Syst. Res. 69(2-3), 227-248 (2004).
3. Фазылов Х.Ф., Насиров Т.Х., Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: «Молия», 1999.
4. Насиров Т.Х., Т.Ш. Гайбов Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Фан ва технология», 2014.
5. Алябышева Т.М., Моржин Ю.И., Протопопова Т.Н., Цветков Е.В. О методах оптимизации режимов энергосистем и энергообъединений// Электрические станции. – Москва, 2005. – №1 – С. 44-49.
6. Tulkin Gayibov, Bekzod Pulatov: Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. E3S Web of Conference 209, 07014 (2020). ENERGY-21.
7. T. M. Mohan, T. Nireekshana: A Genetic Algorithm for Solving Optimal Power Flow Problem. In: 2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), pp.1438-1440. Coimbatore, India. (2019), doi: 10.1109/ICECA.2019.8822090.
8. Tulkin Gayibov, Behzod Pulatov. Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithm. E3S Web of Conferences 264, 04045 (2021). CONMECHYDRO-2021.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК.621.316.1

ШАҲАР ТАҚСИМЛОВЧИ ТАРМОҚ ПАРАМЕТРЛАРИНИ ОПТИМАЛ ҚИЙМАТЛАРДАН ОҒИШИ ВА УЛАРНИ ТАНЛАШ БЎЙИЧА ТАВСИЯЛАР

А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев

Мақолада шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг параметрларини оптимал қийматлардан оғиши мавжуд усулларни таҳлил қилиш орқали аниқланган. Аниқланган параметрларнинг оптимал қийматлари бўйича барча шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал ҳолатини қуриш мумкин. Шаҳар тақсимловчи электр тармоқлари параметрларининг оптимал қийматини аниқлаш масалалари ҳозирги кунда долзарб ҳисобланади. Шаҳар ҳудуддаги тақсимловчи электр тармоқлар параметрларининг оптимал қиймати электр тармоқларида бўладиган техник-иқтисодий кўрсаткичларга таъсир этади. Ушбу элементларнинг параметрларини тўғри танлаш эса тармоқ параметрларининг оптимал қийматлари оғиши қоидаларини таҳлил қилишни талаб этади.

Юқорида кўрсатилгандек, шаҳар тақсимловчи электр тармоғининг параметрларини танлаш, бундай тармоқнинг идеал тузилмасига нисбатан оптимал таҳлили (ишлаб чиқилган тамойиллар ва оптимал қуриш алгоритмлари) натижалари асосида амалга оширилади. Мисол учун, асосий параметрлар (ўрта ва кучланиши 1000 В гача бўлган тармоқ кабелларининг кесим юзалари ($F_{\text{ўк}}$, $F_{\text{пк}}$), трансформатор подстанция (ТП) ва таъминот манбасидан чиқувчи линиялар сони ($M_{\text{ўк}}$, $M_{\text{пк}}$)) бизга маълум. Яъни, ушбу параметрлар электр юктамаларининг зичлиги бир хил бўлган ҳудудлар учун доимийдир.

В статье на основе анализа определяется отклонение параметров городских распределительных сетей от их оптимальных значений. Выявление оптимальных значения параметров позволяют определить оптимальное состояние распределительных электрических сетей города. Поэтому в настоящее время актуальным является вопрос определения оптимального значения параметров городских распределительных сетей. При этом оптимальные значения параметров распределительных электрических сетей на территории города влияют на технико-экономические показатели городских электрических сетей. Для правильного подбора параметров этих элементов необходим анализ отклонения параметров от их оптимальных значений.

Выбор параметров городской распределительной сети основан на результатах оптимального анализа (разработанные принципы и оптимальные алгоритмы построения) и на сравнении с идеальной структуре такой сети. Например, нам известны основные параметры (сечения кабелей среднего напряжения и напряжения до 1000 В ($F_{\text{сн}}$, $F_{\text{нн}}$), мощность трансформаторной подстанций (ТП) и количество линий, отходящих из источника питания линий ($M_{\text{сн}}$, $M_{\text{нн}}$)). То есть эти параметры постоянны для территорий, где одинакова плотность электрических нагрузок.

The article deviation of the parameters of the city distribution power grid from the optimal values was determined by analyzing the existing methods. It is possible to build the optimal state of all city distribution power networks according to the optimal values of the specified parameters. The issues of determining the optimal value of the parameters of the city distribution power grid are currently topical. The optimal value of the parameters of the distribution power grid in the urban area affects the technical and economic indicators that will be in the power grid. The correct selection of the parameters of these elements requires an analysis of the rules of deviation of optimal values of network parameters.

The choice of parameters of the city distribution power network, as shown above, is based on the results of an optimal analysis (developed principles and optimal construction algorithms) with respect to the ideal structure of such a network. For example, the main parameters (cross-section surfaces of network cables with medium and voltage up to 1000 V (F_{OV} , F_{PV}), transformer substation (TP) and the number of outgoing lines from the supply source (M_{OV} , M_{PV})) are known to us. That is, these parameters are constant for areas where the density of electric charges is the same.

Кириш. Ҳозирги кунда шаҳарларнинг ривожланиши ва улардаги электр энергия истеъмолчилар сонининг ортиши тақсимловчи электр тармоқларининг оптимал параметрларини танлаш ва тармоқларда бўладиган техник-иқтисодий йўқотилишларнинг олдини олиш масалалари муҳим ҳисобланади [1, 2].

Шаҳар тақсимловчи электр тармоғининг оптимал параметрлари орқали тармоқнинг математик моделини тавсифлаш ҳақиқий дискрет техник-иқтисодий параметрларни узлуксиз кўринишда тасвирлаш билан боғлиқ.

Тақсимловчи электр тармоқ элементларининг параметрларини танлаш ушбу элементлар параметрларининг стандарт қийматларининг дискрет шкаласига қатъиян мос келиши керак. Параметрлар оптимал қийматлардан четга чиқса, тармоқнинг умумий харажатлари ортади. Техник-иқтисодий ҳисоб-китобларда вариантларнинг умумий харажатлари 2-5% оралиқдан четга чиқса, улар тенг иқтисодий ҳисобланади [5, 6].

Асосий қисм. Шаҳар тақсимловчи тармоқ параметрларини оптимал қийматлардан оғиши ва уларни танлаш масалаларини ечиш учун мақсадли функцияни минимал нуктаси атрофида чегараланишларни ҳисобга олиб оптимал параметрларни аниқлаш керак бўлади.

Бунда тақсимловчи электр тармоқ параметрларининг стандарт қийматларини танлаш усули қуйидагича бўлади [3].

Электр юклама зичлиги ўзгаришига нисбатан энг кам ўзгарувчан параметрлар, ушбу параметрларнинг стандарт қийматларининг дискрет шкаласига мос келадиган оптимал нуктасида ўрнатилади.

Электр юкламалар зичлиги (σ) ўзгарганда сезиларли даражада ўзгарадиган параметрларни σ ни кичик оралиғида ўрнатиш ва доимий деб қабул қилиш мумкин.

Шаҳар шароитида номинал қуввати 1000 кВА дан юқори бўлган трансформаторлардан фойдаланиш маъқул бўлмагани учун юқори юклама зичликларида S_{III} нинг оптимал қийматдан камайиши томонига амалга ошириш

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

керак. Катта юклама зичликлариди ($\sigma \geq 10$ мВА/км²) $F_{ПК}$ оптималдан (150-120 мм²) кичик қийматларга чекиниши тенг иқтисодийлик доирасида ТП қувватини камайтириш учун янада қулай шароит яратади.

Электр юклама зичлигининг барча кўриб чиқилган ўзгариш ораликлари қуйидаги хусусиятларга кўра бир нечта характерли интервалларга бўлинади:

а) танланган стандарт кесим юзасининг $F_{ПК}$ оптималдан катта бўлган σ ни ўзгариш доираси (5 мВА/км² гача);

б) танланган стандарт кесим юзасининг оптималдан кичик бўлган σ ни ўзгариш доираси, бунда кучланиш йўқотилиши бўйича чекловлар ҳали ҳам фаол (5 дан 10 мВА/км² гача);

в) ТП нинг оптимал қуввати 1000 кВА дан юқори бўлган қийматигача ҳамда кабел кесим юзасини қизиш чеклови бутун доирасида кучланиши 1000 В гача бўлган линиядан узатилиши мумкин бўлган максимал қувват оралиғи.

Айтиб ўтиш лозим, $S_{ТП}^o$ нинг оптимал қиймати $F_{ПК}^o$ га нисбатан 1000 В гача тармоқ ва ТП кўрсаткичлари бўлган K_s, β_T параметрлар ўзгаришига кўпроқ сезгир (1а-расмга қаранг). Жумладан, ТП нинг солиштира харажати 1000 В гача тармоқ солиштира харажатига нисбати ТП оптимал қуввати қийматини белгиловчи энг муҳим кўрсаткич ҳисобланади [4]. Масалан, “КТПН” туридаги ТП тўпламидан (ТП таннархини тахминан 50-60% га камайтириш) фойдаланиш ТП оптимал қувватини 60-70% га камайтиради. Шундай қилиб, “КТПН” учун трансформатор қувватининг стандарт қийматларини “ягона серияли” ТП га нисбатан бир қадам кичик танлаш тавсия этилади [7, 8, 12].

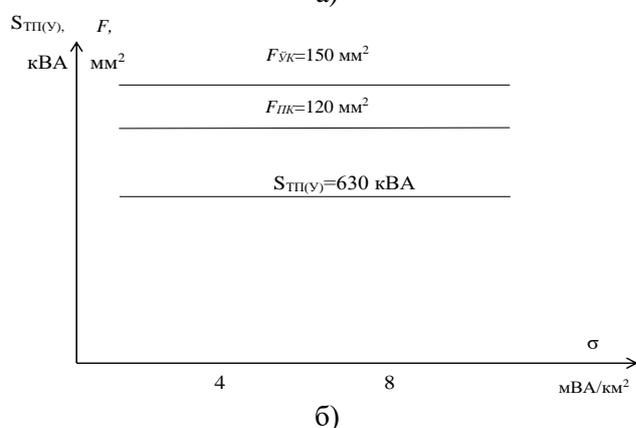
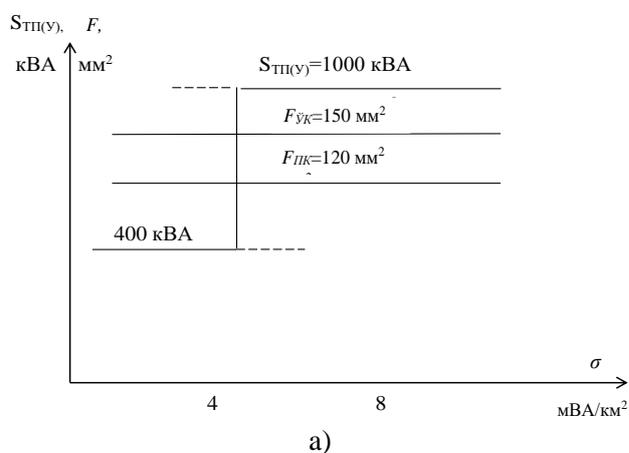
Ҳар қайси вариант учун оптимал параметрларнинг стандарт қийматлари ва харажатлар ошиши турли ўзгаришлари учун келтирилган (1-жадвалга қаранг).

1-жадвал

Оптимал параметрларнинг стандарт қийматлари ва оптимал қийматга нисбатан умумий харажатларнинг ўзгариши (бир трансформаторли ТП, сиртмоқ схемаси)

$S_{ТП}, \text{кВА}$		400		630			1000		
$\sigma, \text{мВА/км}^2$	$F_{ПК}, \text{мм}^2$	95	120	95	120	150	95	120	150
2	$M_{ПК}$	4	3	6	5	4	10	9	7
	$\Delta z\%$	0,5	0,8	3	2,8	5,0	4,7	3,6	4,0
4	$M_{ПК}$	3	2	6	4	3	8	7	5
	$\Delta z\%$	2,9	2,4	3,6	0,5	1,0	2,7	2,5	2,7
8	$M_{ПК}$	3	2	5	3	2	6	5	4
	$\Delta z\%$	4,7	3,9	3,6	1,4	1,1	1,1	0,3	0,3
12	$M_{ПК}$	3	2	4	3	2	5	4	3
	$\Delta z\%$	4,2	3,5	5,0	3,0	2,8	1,5	0,8	0,3

1-расмда рухсат этилган параметрлар тўпламининг оптимал қийматлари кўрсатилган.



1-расм. Шаҳар тақсимловчи электр тармоқларини ривожлантиришда оптимал параметрлар

Таъминлаш манбасининг қуввати $S_{ТМ} < 2 \times 80$ мВА дан кичик бўлганда σ дан қатъий назар $F_{УК}$ ни бир хил деб танлаш мумкин. Бунинг сабаби биринчидан, $\sigma < 30$ мВА/км² бўлганда кесим юзанинг стандарт қийматларининг икки ёки уч поғона оралиғида ўзгариши, яъни юклама зичлиги ўзгарганда $F_{УК}$ кам ўзгаришида; иккинчидан, $F_{УК}$ ва $M_{УК}$ параметрлар бир вақтнинг ўзида икки-уч поғона оралиғида ўзгариши билан тармоқларда умумий харажатларнинг деярли кам ўзгаришидадир (ўртача кучланишли тармоқларда харажатлар ўзгариши 1-2% ва тақсимловчи электр тармоқ бўйича 0,3% ни ташкил этади).

Шундай қилиб, ўрта кучланишли тармоқ кабелни кесим юзаси ва ушбу кучланишдаги чиқувчи линиялар сонини, таъминот манба қувватининг берилган ўзгармас қийматида, σ ни ўзгаришининг барча оралиғида бир хил деб қабул қабул қилиш мумкин. Таъминот манбаи қуввати ўзгарганда $M_{УК}$ маълум бўлган ифодага қўра аниқланиши керак [4, 10].

Икки трансформаторли ТП да кучланиши 1000 В гача тармоқларнинг икки магистрал схемалар учун линиянинг ҳар бир кабелни кесим юзаси $F_{ПК}$ параметрини бир хил қилиш имконияти таҳлил қилинди [9, 11]. Юклама зичлиги 5 дан 30 мВА/км² гача ўзгарганда $F_{ПК}$ кесим юзасининг оптимал қиймати 120-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

185 мм² стандарт қийматлар оралиғида, яъни фақат бир ёки икки поғонага ўзгаради. 12-16 мВА/км² гача юклама зичлигида $F_{ИК}=2 \times 120$ мм², 16 мВА/км² дан юқори юклама зичликлари учун эса 2×150 мм² қўллаш мақсадга мувофиқдир. 30 мВА/км² ёки ундан юқори юклама зичликларида оптимал параметрларни қўшимча таҳлил қилиш талаб этилади (ўрта кучланишли тармоқда юқори номинал кучланишни қабул қилиш, бошқа схемаларни қўллаш, 1000 В гача тармоқни қайта қуриш ва бошқалар).

Икки магистралли тармоқ схемалари учун ТП оптимал қувватини қуйидагича қабул қилиш мумкин: $\sigma=5-12$ мВА/км² оралиқда ўзгарганда, – ТП учун 2х630 кВА ёки 2х400 кВА; $\sigma=10-30$ мВА/км² оралиқда ўзгарганда – ТП учун 2х1000 кВА ёки 2х630 кВА.

Хулоса. Кучланиши 1000 В гача бўлган битта икки магистралли линиянинг бири орқали узатиладиган оптимал қувват 200-250 кВА оралиқда бўлади. Бу танланган 120 ёки 150 мм² кабел кесим юзаларининг авариядан кейинги режимдаги қизиш шарти бўйича рухсат этилган қийматдан бироз паст (20-30% га) бўлади.

Агар тармоқ элементлари кўрсаткичлари қабул қилинган ушбу тадқиқотдагидан сезиларли даражада фарқ қилса, тақсимловчи тармоқнинг оптимал параметрлари хар хил бўлади. Лекин қуйидагилар сақланиб қолади: электр юклама зичлигининг катта ўзгариш оралиғида 1000 В гача тармоқ кабел линиялари кесим юзасини кичик ўзгарувчанлиги, юклама зичлигининг ортиши билан ТП ўрнатилган қувватини ошиши [11, 12].

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 23 ноябрдаги ПҚ-2661-сон «2017-2021 йилларда паст кучланишли электр тармоқларини янада модернизация қилиш ва янгилаш дастури тўғрисида» ги Қарори.
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Харакатлар Стратегияси тўғрисида» ги Фармони.
3. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах: учебное пособие / Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина. — Харьков: Факт, 2014. — 88 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с.
5. Хазиев Д. Н. Унифицированная методика выбора сечений кабельных линий до 1 кВ // Электрика. 2002. — С. 32-35.
6. Таслимов А.Д. Снижение потерь электроэнергии в связи с глубокой унификацией сечений кабелей распределительных сетей.//Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2009. - № 3-4. - С. 83-88.
7. Таслимов А.Д. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2019. – 148 с.
8. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Муродов Б.К. Программа комплексной технико-экономической модели унификации сечений кабелей городских

распределительных электрических сетей 1000В// Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №05721. 18.09.2018.

9. Taslimov A.D., Melikuziev M.V., Najimova A.M., Alimov A.A. Economic load intervals for selection of cable sections for agricultural purpose // E3S Web of Conferences. 216 (2020) 01159. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601159>.

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

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

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

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.9:621.311

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕИНТРУЗИВНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ
РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 – 10 кВ**

О.В. Радионова

Maqolada iste'molchilar va ularning tarmoqlari rejimlarini hisoblash uchun nointruziv monitoring usullaridan foydalanish bo'yicha innovatsion taklif tasvirlangan. 0,4 - 10 kV kuchlanishli sanoat va kommunal iste'molchilarning tarmoqlari rejimlarining haqiqiy hisob-kitoblari uchun nointruziv monitoring ma'lumotlarini olish va qayta ishlashning mumkin bo'lgan usullari va bosqichlari tahlil qilinadi. Respublikamiz sharoitlari uchun dastlabki bosqichda o'rnatilgan elektron smart hisoblagichlar imkoniyatlariga ega ENXAT dan foydalanish taklif etiladi.

В статье описывается инновационное предложение по использованию методов неинтрузивного мониторинга потребителей и их сетей для расчётов их режимов. Анализируются возможные пути и этапы получения и обработки данных неинтрузивного мониторинга для оперативных расчётов режимов сетей промышленных и коммунальных потребителей напряжением 0,4 – 10 кВ. Предлагается для условий нашей республики на начальном этапе использование АСКУЭ с возможностями установленных электронных интеллектуальных счётчиков.

The article describes an innovative proposal for the use of methods of non-intrusive monitoring of consumers and their networks for calculating their modes. Possible ways and stages of obtaining and processing non-intrusive monitoring data for actual calculations of the modes of networks of industrial and municipal consumers with a voltage of 0.4 - 10 kV are analyzed. It is proposed for the conditions of our republic at the initial stage the use of ASKUE with the capabilities of installed electronic smart meters.

Введение. Электроэнергетика в мире и Узбекистане претерпевает существенные изменения, обусловленные внедрением инноваций четвертой промышленной революции. В [1] отмечается, что четвертую промышленную революцию определяет взаимодействие в цифровой, физической и биологической областях; что инновации способны не только повышать эффективность и результативность деятельности компаний, но и радикальным образом трансформировать рыночную среду, приводя к серьезным изменениям технико-экономических парадигм и организационных моделей, в том числе и в электроэнергетике. Автоматизация, развитие киберфизических систем, промышленного Интернета и цифровых технологий кардинально преобразовывают традиционный технологический и организационный уклад в электроэнергетике [2-5].

Цель настоящей работы – анализ возможностей повышения эффективности энергосистемы посредством использования неинтрузивного мониторинга

режима сетей 0,4 – 10 кВ, а также формулирование эффектов от использования такой технологии для электроэнергетики Республики Узбекистан.

Расчёты и анализ установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) являются стержнем всех видов расчётов, проводимых при оптимизации их режимов, анализе надёжности, устойчивости, электромагнитных и электро-механических переходных процессов и др. [6-10]. Исходя из современных требований развития и эксплуатации электрических сетей, точного определения состояния сети для оптимального управления, необходимо использовать инновационные методы оперативного расчёта режимов [10-11], особенно это касается электрических сетей напряжением 0,4 - 10 кВ (сети более высокого напряжения имеют соответствующее измерительно-информационное обеспечение).

В работе предлагается использование технологии неинтрузивного мониторинга для расчётов режимов сетей 0,4 – 10 кВ, которые редко осуществляются на практике. Повышение эффективности таких сетей представляет существенный интерес как для ЭЭС (поставщиков электроэнергии), так и для потребителей.

О технологии неинтрузивного мониторинга. Неинтрузивный мониторинг – достаточно новое понятие, используемое многими странами в разных сферах, в том числе в электроэнергетике. Использование неинтрузивного мониторинга нагрузки (Non-intrusive load monitoring, NILM) позволяет удалённо определять нагрузки потребителей (промышленных, коммунальных, сельскохозяйственных и др.), значительно повышая информативность о режимах их сетей [9-13].

Понятие NILM было впервые предложено Джорджем Уильямом Хартом из Массачусетского технологического института в начале 1980-х годов, а в 1989 году был запатентован технологический процесс. Автор характеризовал свою технологию следующим образом [11]: «NILM разработан для мониторинга электрической цепи, содержащей несколько независимых приборов. С помощью специфического анализа сигналов силы тока и напряжения оцениваются количество и вид отдельных нагрузок, их индивидуальное потребление энергии и другие соответствующие статистические данные. Для установки сенсоров и проведения измерений не требуется доступ к отдельным приборам, что обеспечивает очень удобный и эффективный способ сбора данных о нагрузках по сравнению со способом размещения сенсоров на каждом из приборов. Полученные данные о конечном потреблении электроэнергии чрезвычайно важны для потребителей, энергоснабжающих компаний, органов управления и производителей приборов».

NILM - это метод анализа совокупных данных об электрической нагрузке, полученных при помощи измерения величин силы тока и напряжения в одной точке, с последующим разделением совокупной нагрузки на нагрузки отдельных устройств.

В момент своего появления технология не получила должного внимания ввиду сложности реализации: вычислительные мощности ЭВМ для обработки данных не были достаточными. С течением времени идеей заинтересовались многие ученые, были проведены исследования, как технических аспектов, так и

особенностей применения и внедрения. В настоящее время технология NILM получила в мире достаточное развитие и продолжает бурно совершенствоваться.

Подходы к неинтрузивному мониторингу ЭЭС для анализа её режимов. Для нашей страны необходим поэтапный подход к развитию NILM в сфере энергетики. Такой подход должен быть согласован с принятыми в Узбекистане нормативно – правовыми документами и используемыми стандартами [5,14,15].

В первую очередь необходимо, чтобы в процессе неинтрузивного мониторинга ЭЭС и её подсистем были оперативно дифференцированы различные виды режимов: установившийся, дефицитный, утяжелённый, предаварийный, переходный, аварийный и др., и определены текущие их показатели, определяющие вид режима во временном и пространственном диапазонах.

Мониторинг нагрузки необходим для решений по управлению энергопотреблением, позволяя получать статистику энергопотребления для конкретного устройства, которую в дальнейшем можно использовать для разработки стратегий планирования нагрузки для оптимального использования энергии. Детальный мониторинг энергопотребления может быть достигнут путём развёртывания интеллектуальных измерителей на каждом интересующем устройстве; однако это влечёт за собой дополнительную стоимость оборудования и сложность установки. Неинтрузивный мониторинг нагрузки (NILM) - привлекательный метод для дезагрегирования энергии, поскольку он может отличать устройства от агрегированных данных, полученных из точек измерения. Таким образом, система NILM и связанные с ней методы и приёмы, позволяют дезагрегировать измерения энергии. Поэтому необходимо использовать современные сигнатуры нагрузки и алгоритмы дезагрегации, необходимые для распознавания устройств (сигнатура подразумевает указание качественных и различных количественных характеристик нагрузки конкретного объекта).

Рассмотрим алгоритмизацию расчёта режима на основе данных неинтрузивного мониторинга ЭЭС на простых примерах. Речь пойдёт о моделировании и последующем мониторинге установившихся (стационарных) режимов ЭЭС с известной схемой сети. Ограничимся симметричными трёхфазными сетями, так как ассиметричные схемы методом симметричных составляющих можно свести к симметричным схемам прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Для линейной симметричной трёхфазной схемы, содержащей пассивные элементы, можно написать:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{1A} \\ \dot{U}_{2A} \\ \vdots \\ \dot{U}_{nA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{1A,1A} & Z_{1A,2A} & \cdots & Z_{1A,nA} \\ Z_{2A,1A} & Z_{2A,2A} & \cdots & Z_{2A,nA} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{nA,1A} & Z_{nA,2A} & \cdots & Z_{nA,nA} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{I}_{1A} \\ \dot{I}_{2A} \\ \vdots \\ \dot{I}_{nA} \end{pmatrix}; \quad (1)$$

где Z – матрица параметров расчётной схемы.

Для определения коэффициентов системы (1) необходимо составить на основе данных, полученных неинтрузивным мониторингом, соответствующие уравнения, которые можно решить с использованием условия симметрии и, тем самым, осуществить расчёт режима сети.

Иначе говоря, весь процесс расчёта сети при использовании данного подхода разделяется на три этапа:

- сбор данных мониторинга;

- обработка и анализ данных;
- расчёты режимов сети.

Все этапы достаточно хорошо изучены, нет существенных проблем в моделировании, алгоритмизации и программировании.

Для упрощения можно считать, что параметры сети (R – активное сопротивление, L – индуктивность, C – ёмкость) имеют линейную зависимость от напряжения, тока, температуры и др. Установившиеся режимы цепей, содержащих только линейные пассивные элементы, и не меняющиеся по модулю и фазе источники тока, описываются линейными алгебраическими уравнениями установившегося режима. Установившиеся режимы ЭЭС с нелинейными источниками описываются соответствующими нелинейными алгебраическими уравнениями. Таким образом, можно производить расчёты режимов ЭЭС любой сложности сети. В данном случае очевидно, что имеется возможность расчёта режимов сети на основе данных, полученных неинтрузивным мониторингом.

Заключение. В условиях Республики Узбекистан необходимо продолжать научные и прикладные исследования по неинтрузивному мониторингу электрических сетей напряжением 0,4 – 10 кВ, что позволит эффективно решать многие задачи оптимального управления её режимами в условиях цифровизации, интеллектуализации, децентрализации, появления просьюмеров, широкого использования альтернативных и возобновляемых источников энергии.

Необходимо использование исследованных и разработанных методов расчётов симметричных, несимметричных, сложносимметричных режимов [6-10]; при этом также должны использоваться концепции интеллектуальных экспертных систем [16-17], многокритериальных методов оптимизации и другие, повышающие эффективность ЭЭС [18].

В качестве начального этапа необходимо использовать внедрение АСКУЭ (АИИСКУЭ) в нашей республике путём доработки и коррекции программного обеспечения электронных счётчиков и концентраторов, внедрения недостающих алгоритмов и программ распознавания схем, оборудования и режимов электрических сетей ЭЭС и её подсистем, что позволит эффективно осуществлять неинтрузивный мониторинг и расчёты режимов сетей.

Литература

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. -М.: Эксмо, 2016, -208 с.
2. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием активного потребителя / под ред. Бушуева В.В. -М.: Энергия, 2013. -84 с.
3. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание второе, исправленное и дополненное. -М.: ООО «КомНьюс Групп», 2019, -368 с.
4. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. -Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2021. -952 с.
5. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».

6. Фазылов Х.Ф., Насиров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. –Т.:Молия. 1999. -370 с.
7. 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.
8. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Моделирование режимов электрических систем. –Т.: Fan va texnologiya. 2016. -336 с.
9. Радионова О.В. Математические модели и алгоритмы для комплексного анализа режимов электроэнергетических систем. //Электротехнические системы и комплексы. Международный сборник научных трудов. –Магнитогорск: МагГТУ. 2012. –С.231-234.
10. Радионова О.В. К вопросу комплексного анализа режимов электроэнергетических систем. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Т. 2013. - №3-4. –С.168-172.
11. Кузьмин П.С. Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения. //Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019;10(4) –С.306-319. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-4-306-319>.
12. Сытдыков Р.А. Управление спросом на электроэнергию и режимы электроэнергетических систем // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, 2009, № 3-4. -С. 42-47.
13. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ - ИСЭМ / отв. ред. Н.И. Воропай. -Новосибирск: Наука, 2010. -686 с.
14. Арипов А. Узбекистан вступил в этап цифровой трансформации // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.sputniknews.uz.com/politics/20180204/7420594/Aripov-uzbekistan-vstupil-v-etap-tsifrovoy-ekonomiki.html> / (дата обращения: 10.03.2018).
15. Постановление Президента Республики Узбекистан от 02.09.2018 №ПП-3927 «Об образовании Фонда поддержки развития цифровой экономики “Цифровое доверие”».
16. Насиров Т.Х., Сытдыков Р.А., Радионова О.В. Разработка экспертной системы для управления режимами электроэнергетических систем. //Проблемы информатики и энергетики. –Т. 2002. -№3. –С.21-26.
17. Башлыков И.А., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. -М.:МЭИ, 1994. -198 с.
18. Насиров Т.Х., Гайибов Т.Ш., Ситдилов Р.А., Васильев В.Г. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. –Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2020. -276 с.

*Предоставлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.314

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ
СОЗДАВАЕМОГО ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ****С.Э. Шаисматов**

Maqolada elektr energiyasi sifati, xususan, elektr ta'minoti tizimidagi kuchlanish nosinusoidalligi masalalari ko'rib chiqildi. Yuqori garmonikani tarqalishning asosiy manbalari va ularning elektr tarmog'iga ta'siri keltirildi. Mualliflar tomonidan algoritm ishlab chiqilgan bo'lib, unga asosan ta'minlovchi tarmog'ining nosinusoidalligiga ta'sir qiluvchi maxsus qurilmalar uchun non-sinusoidallik koeffitsientini hisoblash uchun dasturiy mahsulot ishlab chiqilgan.

В статье рассмотрены вопросы качества электроэнергии, в частности - несинусоидальность напряжений в системе электроснабжения. Приведены основные источники распространения высших гармоник и их влияние на электрическую сеть. Представлен алгоритм, на основе которого разработан программный продукт расчёта коэффициента несинусоидальности для специальных устройств, воздействующих на несинусоидальность питающей сети.

The article deals with the issues of electricity quality, in particular, non-sinusoidal voltages in the power supply system. The main sources of propagation of higher harmonics and their influence on the electrical network are presented. An algorithm has been compiled on the basis of which a software product has been developed for calculating the non-sinusoidal coefficient for special devices that affect the non-sinusoidal nature of the supply network.

За последние годы проблеме повышения качества электроэнергии уделяется большое внимание.

Параметры режима работы электрических сетей непрерывно меняются, причём эти изменения носят случайный характер. Особенно это относится к распределительным электрическим сетям. Причиной таких изменений является случайный характер изменения нагрузок. Это приводит к тому, что показатели качества электроэнергии также носят случайный характер. Кратковременные нарушения нормальных режимов могут потребовать значительных дополнительных затрат. В этой связи используются интегральные показатели качества электроэнергии, определяющие нахождение рассматриваемого параметра внутри допустимых пределов с заданной вероятностью, и таким образом позволяют избежать дополнительных затрат [1].

В данной статье уделено внимание вопросу определения уровня высших гармонических составляющих тока и напряжения, как наиболее сложному для инженерной оценки фактору.

Необходимо отметить, что основными формами воздействия высших гармонических составляющих тока и напряжения на элементы системы электроснабжения являются:

- увеличение токов и напряжений гармоник вследствие резонанса;
- снижение эффективности процессов генерации, передачи и использования электроэнергии вследствие дополнительных потерь;
- ускоренное старение изоляции электрооборудования;
- ложная работа устройств релейной защиты и автоматики.

С показателями качества электроэнергии непосредственно связаны условия работы электроприёмников. Несинусоидальность напряжения влияет на все их виды. Вызвано это не только тепловым дополнительным нагревом электроприёмников от высших гармоник тока, но и тем, что высшие гармоники образуют составляющие прямой последовательности (1, 4, 7-я и др.), обратной последовательности (2, 5, 8-я и др.) и нулевой последовательности (гармоники кратные трём). Эти последовательности различаются порядком чередования фаз напряжения (тока), чем и вызвано различие в их влиянии на работу электроприёмников. В частности, токи нулевой последовательности создают дополнительное подмагничивание стали в электрических машинах, что приводит к ухудшению характеристик этих электроприёмников и дополнительному нагреву статоров асинхронных двигателей и магнитопроводов трансформаторов. Обычно высшие гармоники напряжения, суммируясь с основной гармоникой, способствуют повышению действующего значения напряжения на зажимах электроприёмников [2].

Источниками высших гармоник в системах электроснабжения являются электроустановки с нелинейными характеристиками [3]: вентильные преобразователи, дуговые сталеплавильные печи, сварочные установки, трансформаторы с нелинейными вольтамперными характеристиками и др.

Методика расчёта коэффициента несинусоидальности напряжения k_U основывается на вычислении в любой точке питающей сети действующих значений коммутационных искажений напряжения, что равносильно учёту всех высших гармоник [4]. Следовательно, для определения k_U при работе вентильных преобразователей нет необходимости определять уровни отдельных гармоник. При этом удаётся избежать ошибки, возникающей при учёте только определённого числа высших гармоник.

Методика позволяет вычислять k_U в любой точке питающей сети, используя параметры, полученные при вычислении токов короткого замыкания, и основывается на следующих допущениях: проводимости элементов питающей сети считаются неёмкостными. При этом допущении ошибка в расчёте не превышает 10–15%. Предполагается, что в узлах сети, расположенных в непосредственной близости от вентильных преобразователей, отсутствуют батареи конденсаторов, предназначенные для компенсации реактивной мощности; не учитываются аномальные гармоники.

Коэффициент несинусоидальности напряжения питающей сети определяется по формуле [5]:

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_{ном}} 100. \quad (1)$$

Общий коэффициент несинусоидальности питающей сети при работе вентильных преобразователей может быть определён по формуле [5]:

$$k_U = 100 \cdot x_c \sqrt{\frac{0.955 \cdot \sin \varphi}{x_c + x_{np}}} - 0,91; \quad (2)$$

где $x_c = \frac{S_{np}}{S_{кз,б}}$ – эквивалентное сопротивление системы в относительных единицах, приведённое к мощности преобразователя S_{np} , т. е. сопротивление от условной точки сети бесконечной мощности до точки сети, в которой определяется k_U ; $S_{кз}$ – мощность короткого замыкания в точке, в которой определяется k_U ; x_{np} – индуктивное сопротивление цепи преобразователя в относительных единицах, приведённое к S_{np} , т. е. сопротивление от точки возникновения коммутационных короткого замыкания до точки, в которой определяется k_U .

Формула (3) справедлива для преобразователей с любой последовательностью чередования фаз.

Кроме коэффициента несинусоидальности ГОСТ нормирует коэффициенты n -ой гармонической составляющей. Согласно [6]:

$$k_{U(n)} = \frac{U_n}{U_{ном}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

При определении k_U особое внимание следует обращать на x_{np} . Чаще всего требуется определять k_U на шинах питания мощных тиристорных преобразователей. Под преобразователем подразумеваются выпрямительный мост (или их группа) и питающий понижающий трансформатор.

В этом случае x_{np} равно сопротивлению преобразовательного трансформатора и определяется по формуле [5]:

$$x_{np} = \frac{u_{к\%}}{100} \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) \frac{S_{np}}{S_{ном,Т}}; \quad (4)$$

где $S_{ном,Т}$ – номинальная мощность преобразовательного трансформатора; k_p – коэффициент расщепления обмоток этого трансформатора; $u_{к\%}$ – сквозное напряжение КЗ трансформатора, приведённое к полной номинальной мощности трансформатора.

Для двухобмоточных трансформаторов, применяемых в шестифазных (трёхфазных мостовых) схемах выпрямления, $k_p=0$, трёхобмоточных трансформаторов, применяемых в преобразователях, выполненных по двенадцатифазной схеме, в общем виде:

$$k_p = \frac{u_{к(нн1-нн2)}}{u_k};$$

где $u_{к(нн1-нн2)}$ – напряжение короткого замыкания между расщепленными вторичными обмотками трансформатора.

В общем случае для трансформаторов с расщепленными обмотками $k_p=0 \div 4$, если ветви низшего напряжения трансформатора имеют хорошую электромагнитную связь друг с другом, $k_p=0$; если обмотки низкого напряжения не имеют магнитной связи друг с другом или преобразователь выполнен по схеме с двумя трансформаторами, имеющими разные схемы соединения, то $k_p=4$.

Действующее значение высшей гармоники напряжения в любой точке питающей сети при работе преобразователя с любой последовательностью чередования фаз выпрямления может быть определено по формуле [5]:

$$U_n = \frac{m}{\pi \cdot n} \cdot U_{ном} \frac{x_c}{x_c + x_{np}} \sin \varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma), \quad (5)$$

где $\gamma = \frac{3(x_c + x_{пр})}{m \cdot \sin\varphi}$ – угол коммутации, рад.

Действующее значение тока любой гармоники в цепи преобразователя определяется из выражения [5]:

$$I_n = \frac{m}{\sqrt{3}\pi} \cdot \frac{S_{пр}}{U_{ном}(x_c + x_{пр})} \cdot \sin\varphi \cdot \sin(n \cdot \gamma). \quad (6)$$

При работе группы вентильных преобразователей порядок расчета k_U следующий. По приведённым формулам определяются уровни высших гармоник напряжения для каждого преобразователя.

Одинаковые гармоники напряжения всех преобразователей геометрически суммируются $\dot{U}_{n\Sigma} = \sum_{i=2}^p \dot{U}_{ni}$.

Затем определяется коэффициент несинусоидальности:

$$k_{U\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^p U_{n\Sigma}^2}}{U_{ном}} 100.$$

Особое внимание необходимо обращать на количество учитываемых гармоник, чтобы избежать ошибки в вычислении k_U . Чем больше количество преобразователей и фаз выпрямления, тем большее количество гармоник необходимо учитывать [5]:

$$p = n_{max} = 4qm + 1; \quad (7)$$

где n_{max} – наибольшая гармоника; q – число работающих преобразователей; m – число фаз выпрямления.

Искажения питающего тока и напряжения при работе дуговых сталеплавильных печей возникают за счёт нелинейной характеристики дуги и за счёт нелинейной характеристики печного трансформатора, работающего при повышенных значениях магнитной индукции. Уровень высших гармоник тока при работе дуговых сталеплавильных печей сравнительно невелик, особенно по сравнению с высшими гармониками, генерируемыми вентильными преобразователями. Однако с ними следует считаться, так как мощность дуговых печей постоянно растёт.

На основании экспериментальных исследований [5] получено соотношение для определения максимальных значений уровней отдельных гармоник тока при работе дуговых печей:

$$I_n = \frac{I_T}{n^2}; \quad (8)$$

где I_m – ток печного трансформатора в расчётном режиме (для расчёта максимальных значений гармоник надо брать в расчёт номинальный ток печного трансформатора); $n=2, 3, 4, 5, \dots$ – номер соответствующей гармоники. Из соотношения видно, что достаточно в расчётах учитывать только до 7-й гармоники, так как остальные гармоники малы.

Для группы одинаковых дуговых сталеплавильных печей (ДСП):

$$I_{n,г} = I_n \sqrt[4]{N}; \quad (9)$$

где N – число печей, одновременно работающих в режиме расплавления.

Для группы печей разной мощности:

$$I_{n,г} = I_{n,max} \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{n,гi} / S_{n,гmax}}, \quad (10)$$

где $S_{n,Ti}$ – мощность i -го печного трансформатора; $S_{n,Tmax}$ – наибольшая мощность трансформатора в группе дуговых печей; $I_{n,max}$ – ток n -ой гармоники печного трансформатора наибольшей мощности; N – общее число работающих печей.

Для определения k_U в соответствующей точке сети необходимо определить уровни напряжения отдельных гармоник, генерируемых ДСП. Фазное напряжение гармоники в расчётной точке питающей сети находится из выражения:

$$U_n = \frac{\sqrt{3} I_n n U_{ном}^2}{S_K} \quad (11)$$

где I_n – действующее значение фазного тока n -ой гармоники; n – порядковый номер гармоники; $U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение в расчётной точке; S_K – мощность КЗ в расчётной точке.

Общий коэффициент несинусоидальности в расчётной точке при работе дуговых сталеплавильных печей, %,

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_2^7 U_n^2}}{U_{ном}} 100; \quad (12)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение основной частоты в расчётной точке.

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока.

Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам. Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

В общем случае для единичной установки электросварки переменного тока токи гармоник (рекомендуется учитывать только третью и пятую гармоники [5]) равны:

$$I_n = S_{ном,т} \beta_{св} \sqrt{ПВ} / (n^2 U_{ном}); \quad (13)$$

где $S_{ном,т}$ – номинальная мощность трансформатора; $\beta_{св}$ – коэффициент загрузки; $ПВ$ – продолжительность включения.

Определение токов гармоник, генерируемых установками дуговой электросварки постоянного тока, аналогично определению гармоник для вентильных преобразователей. Токи гармоник (рекомендуется учитывать только 5, 7, 11, 13-ю гармоники) единичной установки дуговой электросварки постоянного тока определяются по формуле:

$$I_n = \frac{I_{св}}{n}; \quad (14)$$

где $I_{св}$ – номинальный первичный ток установки.

Для группы установок электросварки независимо от режима работы суммарные отдельные токи гармоник определяются согласно [5]:

$$I_{n,\Gamma} = \sqrt{\sum_i^N I_{ni}^2}; \quad (15)$$

где I_{ni} – ток n -й гармоники i -й установки; N – общее число работающих установок.

Для оценки влияния сварочных нагрузок на сеть предприятия определяется общий коэффициент несинусоидальности по формуле, %,

$$k_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=5}^{18} U_n^2}}{U_{\text{ном}}} 100; \quad (16)$$

где U_n – напряжение n -й гармоники.

Ниже приведена структура алгоритма расчёта коэффициента несинусоидальности для специальных электроустановок (рис. 1).

Результат. Составлен алгоритм, на основе которого разработан программный продукт расчёта коэффициента несинусоидальности для специальных устройств, воздействующих на несинусоидальность питающей сети. При вводе необходимых значений, выполняется расчёт в соответствии с алгоритмом (рис.1), программа выдаёт результат на монитор в процентах. Следовательно, программный продукт позволяет реализовать оценку коэффициента несинусоидальности кривой напряжения. На данный программный продукт получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ [7].

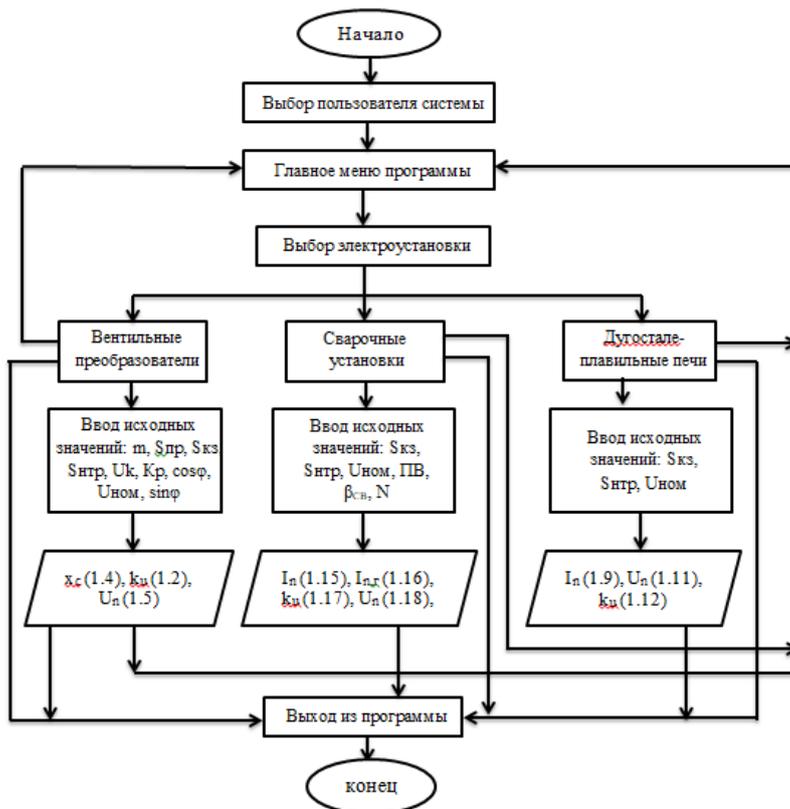


Рис. 1. Структура алгоритма расчёта коэффициента несинусоидальности для специальных электроустановок



Рис. 2. Главное меню (а) и процесс работы (б) программы определения коэффициентов несинусоидальности напряжения, создаваемой электроустановками

Таким образом, предлагаемый программный продукт позволяет оценивать коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в диапазоне от 0,1 до 100%.

Литература

1. Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х. и др.: Обеспечение качества электрической энергии. Монография. -Ташкент:Фан ва технология, 2019.
2. <https://poisk-ru.ru/s63289t1.html>.
3. Карташев И.И., Тульский В.Н. и др. Управление качеством электроэнергетики / под ред. Ю.В. Шарова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 320 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 2014.
5. Качество энергии в электрических сетях / Куско А., Томпсон М.: пер. с англ. Рабодзян А.Н. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
6. Суднова В.В. Качество электрической энергии. - М.: ЗАО «Энергосервис», 2000. - 80 с.
7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 077323. Программа ЭВМ для оценки показателей качества электроэнергии "Алгоритм определения уровня несинусоидальности напряжения, создаваемые электроустановками / Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э., Абдуллаев А.А., Камолиддинов С.С., Холиддинова М.М.

Предоставлено АО
«Теплоэлектропроект», Ташкент

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА МОЩНОСТИ
В ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ FACTS,
СОДЕРЖАЩИХ STATCOM**

Ш.В. Хамидов, Б.Р. Нормуратов

FACTS kontseptsiyasining g'oyalarini rus va amerikalik olimlar taklif etgan. Mashhur elektr energetik olim V.A.Venikov sinxron mashinalarning o'z-o'zidan tebranish sharoitlarini tahlil qilib, elektr uzatish liniyalarida bo'ylama sig'imli kompensatsiyani qo'llashni, reaktiv qarshiligi to'g'ri sozlanmagan oraliqlarda sinxron kompensatorlarni o'rnatishni ko'rsatdi. 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. Hingorani quyidagi fikrni bildirdi: sinxron mashinalardagi elektromexanik jarayonlarga ta'sir qilish o'rniga, ularning xususiyatlarini tubdan yaxshilash uchun o'zgaruvchan tokni uzatish uchun zamonaviy yuqori voltli o'zgartirish texnologiyasidan foydalanish, 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 qilishning 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 uskunalari 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 afzalliklari tufayli FACTS texnologiyasi butun dunyo bo'ylab elektr jihozlari ishlab chiqaruvchilari, kommunal xizmat ko'rsatuvchi kompaniyalar va tadqiqot tashkilotlari tomonidan ma'qullanmoqda.

Идеи концепции FACTS заложены российскими и американскими учеными. Известный ученый-электроэнергетик В.А. Веников, анализируя условия самораскачивания синхронных машин показал, что применение продольной емкостной компенсации ЛЭП, установкой промежуточных синхронных компенсаторов, реактивное сопротивление которых не отрегулировано должным образом, может приводить к таким 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 различных ЛЭП, подробно обсуждалась учеными в работах 1950-1970 годов, при этом были предложены достаточно эффективные способы их решения. Вместе с тем, 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 установившихся, так и переходных режимах ЭЭС. Новая реальность создания сетей электропередач 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 на 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.

The ideas of the FACTS concept were laid by Russian and American scientists. 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 synchronous 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 crea-

tion 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 управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS (*Flexible Alternative Current Transmission System*) обладает способностью управлять токами, сопротивлениями, углами фазовых сдвигов узловых напряжений, другими параметрами. Рассмотрены три вида устройств – STATCOM (*Static Synchronous Compensator*), SVC (*Static Var Compensator*), TCSC (*Thyristor Controlled Series Capacitor*) [1].

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. STATCOM 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. STATCOM является ключевым устройством FACTS поперечной компенсации, основан на использовании источника напряжения, в качестве которого применяется мостовой преобразователь напряжения [2]. Наиболее важным является тот факт, что технология FACTS открывает новые возможности для управления потоками мощности как существующих, так и в новых или модернизируемых ЛЭП.

Эти возможности возникают благодаря способности исполнительных устройств технологии FACTS управлять взаимосвязанными параметрами, определяющими функционирование ЛЭП, включая сопротивление, ток, углы фазовых сдвигов между напряжениями в узлах сети, затухание колебаний на различных частотах и т.д. Устройства FACTS могут обеспечить пропускную способность ЛЭП вплоть до допустимого предела термической стойкости проводов.

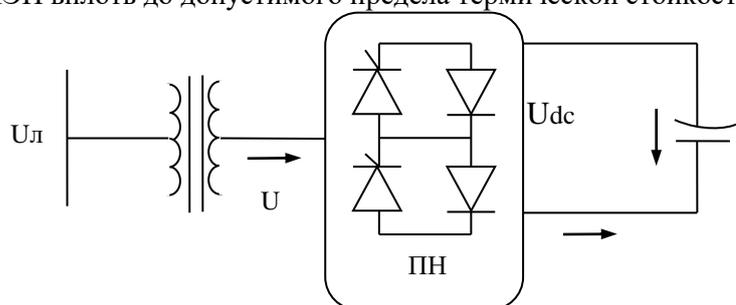


Рис.1. Схема STATCOM с преобразователем напряжения

На рис.1 приведена упрощённая схема STATCOM. Постоянное напряжение от конденсатора C_{dc} 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 \underline{U} . При превышении значения выходного напряжения ПН \underline{U} по отношению к напряжению в линии \underline{U}_l формируется опережающий ток. В этом случае STATCOM работает в емкостном режиме и происходит генерация реактивной мощности. При уменьшении значения выходного напряжения \underline{U} ниже напряжения в линии \underline{U}_l формируется запаздывающий ток и STATCOM работает в индуктивном режиме. В этом случае потребление происходит реактивной мощности. При равенстве напряжений $\underline{U}_l = \underline{U}$, перетока мощности не происходит.

Графики зависимости передаваемой активной мощности P от фазового угла δ и реактивного тока I_q в относительных единицах для STATCOM 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.

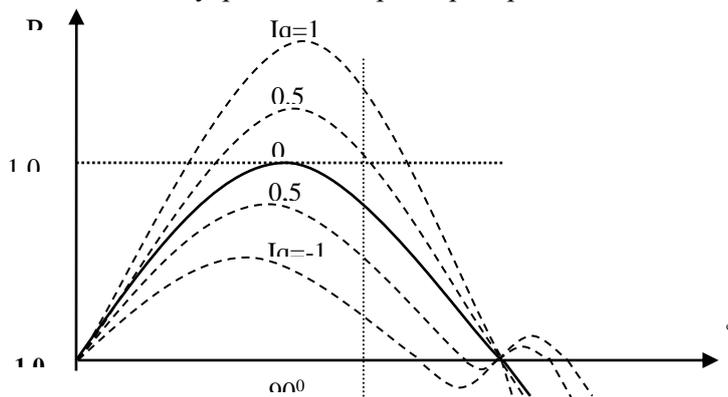


Рис. 2. Зависимость передаваемой активной мощности STATCOM от фазового угла δ

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 дополнение к нему в STATCOM 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 [3-4].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Устройство STATCOM хорошо описывается моделью синхронного источника напряжения. В отличие от статического компенсатора реактивной мощности SVC, STATCOM является источником реактивной мощности для всего диапазона работы ЭЭС и обеспечивает более надежный механизм управления энергосистемой.

Для получения математической модели в задаче расчета потока мощности, воспользуемся схемой замещения устройства STATCOM на рис. 3.

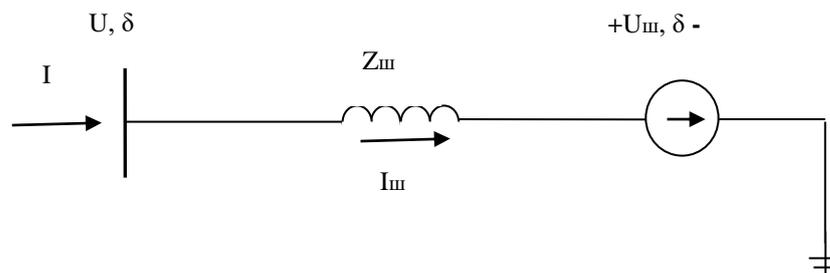


Рис. 3. Схема замещения STATCOM

Получив уравнения потока мощности для STATCOM, принимая следующее представление источника напряжения [5]:

$$E_{ш} = U_{ш} (\cos \delta_{ш} + j \sin \delta_{ш}).$$

На основании шунтового соединения, показанного на рис. 3, можно записать уравнение мощности:

$$S_{ш} = U_{ш} I_{ш}^* = U_{ш} Y_{ш}^* (U_{ш}^* - U_1^*). \quad (1)$$

После выполнения преобразований получаем следующие уравнения для активных и реактивных мощностей:

$$\begin{aligned} P_{ш} &= U_{ш}^2 G_{ш} + U_{ш} U (G_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta) + B_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta)); \\ Q_{ш} &= -U_{ш}^2 G_{ш} + U_{ш} U (G_{ш} \sin(\delta_{ш} - \delta) - B_{ш} \cos(\delta_{ш} - \delta)); \\ P &= U^2 G_{ш} + U_{ш} U (G_{ш} \cos(\delta - \delta_{ш}) + B_{ш} \sin(\delta - \delta_{ш})); \\ Q &= -U^2 G_{ш} + U_{ш} U (G_{ш} \sin(\delta - \delta_{ш}) - B_{ш} \sin(\delta - \delta_{ш})). \end{aligned}$$

Если напряжение $U_{ш}$ и фазовый угол δ принять величинами, близкими к постоянным, то приведенная к линейному виду интегрированная модель статического синхронного компенсатора STATCOM будет иметь вид [6]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta P_{ш} \\ \Delta Q_{ш} \end{bmatrix}^{(i)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial U} U & \frac{\partial P}{\partial \delta_{ш}} & \frac{\partial P}{\partial U_{ш}} U_{ш} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial U} U & \frac{\partial Q}{\partial \delta_{ш}} & \frac{\partial Q}{\partial U_{ш}} U_{ш} \\ \frac{\partial P_{ш}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{ш}}{\partial U} U & \frac{\partial P_{ш}}{\partial \delta_{ш}} & \frac{\partial P_{ш}}{\partial U_{ш}} U_{ш} \\ \frac{\partial Q_{ш}}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_{ш}}{\partial U} U & \frac{\partial Q_{ш}}{\partial \delta_{ш}} & \frac{\partial Q_{ш}}{\partial U_{ш}} U_{ш} \end{bmatrix}^{(i)} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \\ \Delta \delta_{ш} \\ \Delta U_{ш} \end{bmatrix}^{(i)}. \quad (2)$$

Заключение. Предложенная унифицированная математическая модель расчета потока мощности в электроэнергетической системе с актуальными типами устройств FACTS, позволяет синтезировать типы устройств, исходя из их функциональных предназначений и заложенных принципов.

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. Технология и устройства FACTS: Учеб. Пособие / М.Ш.Мисриханов, В.Н.Рябченко / ФБГОВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. -Иваново, 112 - 217 с.
3. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Управляемые гибкие электропередачи переменного тока и их применение в электроэнергетических системах: Монография /ТашГТУ имени Ислама Каримова. -Ташкент: Издательство «Navg'o'z», 2019. -216 с.
4. Хамидов Ш.В. Состояние и перспективное развитие ОЭС Центральной Азии. / Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сборник научных трудов 89 заседания Международного научного семинара имени Ю.А. Руденко. – Издательство: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2017.
5. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Хамидов Ш.В. Управляемые гибкие электропередачи переменного тока FACTS // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, -№ 1.
6. Хамидов Ш.В. Параллельные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, -№1.
7. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. -Т: Молия.2013.-388 с.
8. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Последовательные устройства технологии управляемых гибких электропередач переменного тока FACTS. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2019, №2.
9. Hingorani, N.G. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) - Overview / N.G. Hingorani // Paper presented at the Panel Session of FACTS. IEEE PES 1990 Winter Meeting. Atlanta, 1990.
10. Hingorani, N.G. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / IEEE Press, 2000.
11. Kundur, P.P. Power System Stability and Control / P.P. Kundur. – N.Y.: McGraw-Hill, 2000.
12. Laguna-Velasco, R. Asignacion de cargos por el porteo deflujos de potencia active 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.
13. Mathur, R.M. Thyristor-based facts controllers for electrical transmission systems / R.M. Mathur, R.K. Varma. – Piscataway: IEEE Press, 2002.
14. Huang, Z.Y. Application of unified power flow controller in interconnected power systems – modeling, interface, control strategy, and case study / Z.Y. Huang [и др.] // IEEE – 2000. – Vol. 15, № 2 – 3 817-824.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

15. Song, Y.H. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) / Y.H. Song, A.T. Johns. – London: IEEE Press, 1999.
16. Stagg, G.W. Computer Methods in Power System Analysis / G.W. Stagg, A.H. El-Abiad. – N.-Y.: McGraw-Hill, 1968.
17. Weedy, B.M. Electric Power Systems / B.M. Weedy. – Chichester: John Wiley & Sons, 1987.
18. Wood, A.J. Power Generation, Operation and Control / A.J. Wood, B.F. Wollenberg. – Chichester: John Wiley & Sons, 1984.
19. Shukhrat Khamidov, Sunnatilla Tillaev, Bahrom Normuratov. “Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devices”- Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems”(RSES2020); <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601103>.
20. 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.
21. 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 621.311.12

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА
УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ****Ш.Ш Латипов, У.М. Набиев, И.Б. Икрамджанов, Ш.А. Болтаев**

Ushbu maqola elektr energetika tizimi (EET) ning barqarorlashgan holatini, chastota o'zgarishini hisobga olib optimallashtirish algoritmini takomillashtirishga bag'ishlangan. EET holatlarini chastota o'zgarishini hisobga olib hisoblashning ko'plab mavjud usullari balanslovchi stantsiyani quvvati orqali amalga oshirishni nazarda tutadi, ya'ni. kuchlanish va chastotasi doimiy bo'lgan cheksiz quvvatli shinalarni. Shunga ko'ra, bunday EETda aktiv quvvat balansi ushbu birlik tomonidan ta'minlanadi va shu bilan nominal chastota saqlanadi. Bunday EETning barqaror holatlarini tugun tenglamalari usullari bilan hisoblash uchun muammoning matematik tavsifida balanslovchi tugun uchun tenglama chiqarib tashlanadi. Bu, mos ravishda, qolgan tugunlar uchun tenglamalarning chiziqli bog'liqligini istisno qiladi. Haqiqatda, balanslovchi stantsiyasini ishga tushirish bilan bog'liq bo'lgan bunday taxmin balanslash blokida yetarlicha katta quvvatni boshqarish diapazoniga ega bo'lgan yagona chastotani rostlovchi stantsiya mavjudligida o'zini oqlaydi. Biroq, ko'p hollarda, EETda bir nechta stantsiyalar chastotani rostlash jarayonida ishtirok etadi. Quvvat nomutanosibli ular o'rtasida turbina tezligini regulyatorlarining statik xususiyatlariga ko'ra taqsimlanadi. Bundan tashqari, aktiv quvvatning nomutanosibli tufayli chastota o'zgarishi bilan iste'molchilarning yuklamari ham ularning statik tavsiflariga muvofiq o'zgaradi. Bunday EETning barqaror holatlarini hisoblash chastotaning o'zgarishini hisobga olgan holda tegishli matematik modellar - tugun tenglamalaridan foydalanish asosida amalga oshirilishi kerak. Buning uchun muammoni matematik tavsiflashda muvozanatlash birligi uchun tugun tenglamasi ham ishtirok etadi. Bundan tashqari, stantsiyalarning turbina tezligini regulyatorlarining statik xususiyatlariga va yuklarning statik tavsiflariga muvofiq blokning quvvatining o'zgarishini hisobga olish uchun tugun tenglamalariga qo'shimcha komponentlar kiradi.

Данная статья посвящена вопросам краткосрочного прогнозирования нагрузки в энергосистеме. Многие существующие методы расчета установившихся режимов ЭЭС предусматривают ввод балансирующего узла, т.е. шины бесконечной мощности, напряжение и частота которой являются неизменными. Соответственно, баланс активной мощности в такой ЭЭС обеспечивается этим узлом и, тем самым, поддерживается номинальная частота. Для расчета установившихся режимов таких ЭЭС методами узловых уравнений в математическом описании задачи исключается уравнение для балансирующего узла. Этим исключается, соответственно, линейная зависимость уравнений для остальных узлов. В реальности такое допущение, связанное с вводом балансирующей станции, оправдано в условиях наличия в балансирующем узле единственной частотно-регулирующей станции с достаточно - большим диапазо-

ном регулирования мощности. Однако, в большинстве случаев в ЭЭС частотно-регулирующими являются несколько станций. Небаланс мощности распределяется между ними согласно статическим характеристикам регуляторов скорости их турбин. Кроме того, по мере изменения частоты, вызванного небалансом активной мощности, изменяются также нагрузки потребителей в соответствии с статическими характеристиками. Расчеты установившихся режимов таких ЭЭС должны осуществляться на основе использования соответствующих математических моделей – узловых уравнений с учетом изменения частоты. Для этого, в математическом описании задачи участвует также узловое уравнение для балансирующего узла. Кроме того, для учета изменения мощности узла, в соответствии со статическими характеристиками регуляторов скорости турбин станций и статическими характеристиками нагрузок, в узловое уравнение входят дополнительные составляющие.

This article is devoted to the issues of short-term forecasting of the load in the power system. Many existing methods for calculating the steady-state modes of EPS provide for the introduction of a balancing unit, i.e. tires of infinite power, the voltage and frequency of which is constant. Accordingly, the balance of active power in such an EPS is provided by this unit and thus the nominal frequency is maintained. To calculate the steady-state modes of such EPS by the methods of nodal equations, the equation for the balancing unit is excluded in the mathematical description of the problem. This excludes, respectively, the linear dependence of the equations for the remaining nodes. In reality, such an assumption, associated with the commissioning of a balancing station, is justified in the presence of a single frequency-regulating station in the balancing unit with a sufficiently large power control range. However, in most cases, several stations are frequency-regulating in EPS. The power imbalance is distributed between them according to the static characteristics of their turbine speed controllers. In addition, as the frequency changes, caused by the unbalance of active power, the loads of consumers also change in accordance with their static characteristics. Calculations of the steady-state modes of such EPS should be carried out on the basis of the use of appropriate mathematical models - nodal equations, taking into account the change in frequency. For this, the nodal equation for the balancing unit is also involved in the mathematical description of the problem. In addition, to take into account the change in the unit power in accordance with the static characteristics of the turbine speed controllers of the stations and the static characteristics of the loads, additional components are included in the nodal equations.

Введение. Оптимальное планирование краткосрочного режима энергосистемы предусматривает определение для каждого интервала времени рассматриваемого периода оптимальных значений всех регулируемых параметров, обеспечивающих выполнение всех ограничивающих условий и установленных критериев. При этом, при планировании, как исходные данные должны быть учтены влияния устройств автоматического регулирования и управления в случаях отклонения параметров или состояний от их принятых значений.

В задачах планирования краткосрочных режимов энергосистем ряд исходных параметров, в частности нагрузки узлов, определяются прогнозированием соответствующими методами, имеющими, естественно, некоторые погрешности.

В первую очередь, по этим причинам реальные режимы энергосистем могут заметно отличаться от запланированных. В результате они могут стать неоптимальными, а в некоторых случаях даже недопустимыми.

Отклонение реальной нагрузки энергосистемы в отдельных её узлах приводит к появлению небаланса активной мощности и соответствующему отклонению частоты от номинального значения. Отклонение частоты приводит к изменению нагрузок потребителей в соответствии с их статическими характеристиками и станций в соответствии со статическими характеристиками регуляторов скорости их турбин. В связи с этим, планирование режимов энергосистем должны быть осуществлено с учетом возможных отклонений нагрузок узлов от их прогнозированных значений и соответствующих отклонений частоты в энергосистеме.

Алгоритм оптимизации. В условиях линейности статических характеристик такие уравнения в форме баланса мощностей для любого i -го нагрузочного узла имеют следующий вид [1-4]:

$$g_{ii}U_i^2 - U_i \sum_{j \in J_i} U_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) + P_{n,i} - K'_i \Delta f = 0 ; \quad (1)$$

$$-b_{ii}U_i^2 - U_i \sum_{j \in J_i} U_j (g_{ij} \sin \delta_{ij} - b_{ij} \cos \delta_{ij}) + Q_{n,i} - K''_i \Delta f = 0 ; \quad (2)$$

где g_{ii} , g_{ij} , b_{ii} , b_{ij} - собственные и взаимные активные и реактивные проводимости узлов i и j ; U_i , U_j - модули векторов напряжений узлов i и j ; $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ - разность фазовых углов векторов напряжений узлов i и j ; $P_{n,i}$, $Q_{n,i}$ - активная и реактивная нагрузки узлов, соответствующие номинальной частоте; K'_i , K''_i - статические коэффициенты нагрузки по частоте, которые определяют относительное изменение мощностей при изменении частоты на $\Delta f = f_n - f$; f_n , f - номинальное и фактическое значения частоты.

Узловые уравнения для генерирующих узлов также представляются аналогично (1) и (2). Только в место $P_{n,i}$ и $Q_{n,i}$ участвуют генерируемые активные и реактивные мощности, соответствующие номинальной частоте, с обратными знаками, а K'_i , K''_i являются коэффициентами статических характеристик регулятора скорости турбины генератора (или статической характеристики эквивалентной турбины для электростанции) в этом узле.

Таким образом, при исключении балансирующего узла и вводе узлового уравнения в форме баланса активной мощности в число неизвестных, определяемых расчетом установившегося режима ЭЭС, входит также отклонение частоты Δf . В результате задача сводится к определению установившегося режима при ненормальной частоте f с учетом изменения мощностей всех узлов, зависящих от частоты [5-7].

Отклонение частоты в ЭЭС, вызываемые небалансами активной мощности в ней, приводит к изменению мощностей нагрузок и их перераспределению между генераторами в соответствии со статическими характеристиками регуляторов скорости турбин.

В общем случае от частоты зависят не только мощности узлов, но расчетные параметры электрической сети. Кроме того, мощности узлов изменяются в

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

соответствии со статическими характеристиками по напряжению. Поэтому, в общем случае, узловые уравнения в форме баланса активной и реактивной мощностей для любого узла можно представить в следующем виде [9-11]:

$$g_{ii}(f)U_i^2 - U_i \sum_{j \in J_i} U_j [g_{ij}(f) \cos \delta_{ij} + b_{ij}(f) \sin \delta_{ij}] + P_i(U_i, f) = 0; \quad (3)$$

$$-b_{ii}(f)U_i^2 - U_i \sum_{j \in J_i} U_j [g_{ij}(f) \sin \delta_{ij} - b_{ij}(f) \cos \delta_{ij}] + Q_i(U_i, f) = 0. \quad (4)$$

При этом статические характеристики нагрузок как функции напряжения и частоты могут описываться полиномами вида [8]:

$$\left. \begin{aligned} P_i(U_i, f) &= P_i(U_i) [1 + c_1(f_* - 1) + c_2(f_* - 1)^2] \\ Q_i(U_i, f) &= Q_i(U_i) [1 + d_1(f_* - 1) + d_2(f_* - 1)^2] \end{aligned} \right\}; \quad (5)$$

где $f_* = f / f_*$ - значение частоты в относительных единицах; $P_i(U_i)$, $Q_i(U_i)$ - статические характеристики нагрузок по напряжению, определяемые как [12-15]:

$$\left. \begin{aligned} P_i(U_i) &= (c_2 U_i^2 / U_{н,i}^2 + c_1 U_i / U_{н,i} + c_0) P_{н,i} \\ Q_i(U_i) &= (d_2 U_i^2 / U_{н,i}^2 + d_1 U_i / U_{н,i} + d_0) Q_{н,i} \end{aligned} \right\}; \quad (6)$$

где c_0, c_1, c_2 и d_0, d_1, d_2 - коэффициенты полиномов, аппроксимирующих статические характеристики $P(U)$ и $Q(U)$, соответственно; $U_{н,i}$, $P_{н,i}$, $Q_{н,i}$ - номинальное напряжение, активная и реактивная мощности при номинальном напряжении i -го узла.

Результаты расчетных экспериментов. Для анализа эффективности описанной расчетной модели с учетом изменения частоты рассмотрена, в частности, задача расчета установившегося режима ЭЭС, схема которой представлена на рис. 1 с учетом изменения частоты.

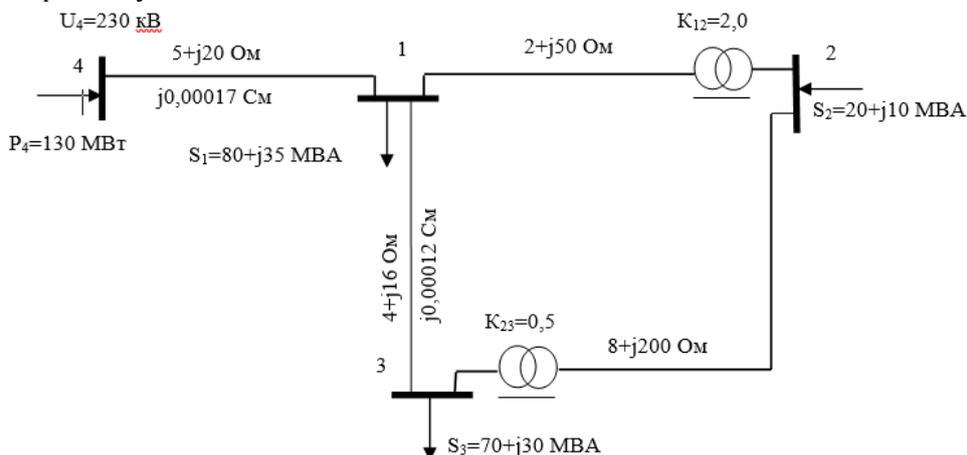


Рис. 1. Расчетная схема ЭЭС

Для сравнения в табл. 1 приведены результаты расчета установившегося режима ЭЭС без учета изменения частоты, т.е. выделением балансирующей станции с заданными $U_4=230$ кВ, $\delta_4=0$ рад.

Таблица 1

Результаты расчета установившегося режима ЭЭС без учета изменения частоты

Узел	U_i , кВ	δ_i , рад.	P_i , МВт	Q_i , МВАР
1	222,58	-0,0464	80,0	35,0
2	112,31	-0,0291	-20,0	-10,0
3	219,42	-0,0664	70,0	30,0
4	230,00	0,0000	-132,40	-50,44
Суммарные потери мощности: $\Delta S = 2,40 + j10,012$ МВА				
Отклонение частоты: $\Delta f = 0,000$				

В табл. 2. приведены результаты расчета установившегося режима электрической сети с учетом изменения частоты. При этом, для удобства не учтены статические характеристики нагрузок по напряжениям узлов, т.е. принято, что мощности узлов не зависят от их напряжений. Для всех узлов принято также $K_i'' = 0$.

Статические характеристики нагрузок по частоте и регуляторов скорости турбин генерирующих узлов приняты как линейные со статическими коэффициентами:

$$K_1' = 0,2; K_2' = 0,15; K_3' = 0,2; K_4' = 0,15.$$

Таблица 2

Результаты расчета установившегося режима ЭЭС с учётом изменения частоты

Узел	U_i , кВ	δ_i , рад.	P_i , МВт	Q_i , МВАР
1	222,64	-0,0456	79,33	35,00
2	112,34	-0,0279	-20,58	-10,00
3	219,49	-0,0655	69,33	30,00
4	230,00	0,0000	130,50	50,23
Суммарные потери мощности: $\Delta S = 2,34 + j9,80$ МВА				
Отклонение частоты: $\Delta f = 3,345$ Гц				

Оценки полученных результатов расчета установившегося режима электрической сети позволяет сделать вывод о том, что небаланс активной мощности в ЭЭС приведет к отклонению частоты от номинальной на 3,345 Гц. В результате, в соответствии со статическими характеристиками нагрузок по частоте и регуляторов скорости турбин в генерирующих узлах происходит изменение их мощностей на соответствующие величины и тем самым восстановится номинальная частота в ЭЭС.

Закключение. Таким образом, в общем случае, учет изменения частоты в ЭЭС приводит к существенному изменению нагрузок и генерируемых мощностей в соответствии со статическими характеристиками нагрузок по частоте и регуляторов скоростей турбин генераторов. В связи с этим, планирование краткосрочных режимов ЭЭС в условиях наличия в них нескольких станций, участвующих в регулировании частоты и нагрузок, мощности которых изменяются в соответствии со статическими характеристиками, должны быть осуществлены с учетом изменения частоты.

Литература

1. Методы оптимизации режимов энергосистем. В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.; Под ред. В.М. Горнштейна. – М.: Энергия, 1981. – 336 с.
2. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
3. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Ташкент: Молия, 1999. – 370 с.
4. Фазылов Х.Ф., Юлдашев Х.Ю. Оптимизация режимов электроэнергетических систем. – Ташкент: Фан, 1987. – 152 с.
5. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Ташкент: Fan va texnologiya, 2009. – 465 с.
6. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Матричные методы анализа малых колебаний электрических систем, - Т.: Fan va tehnologiya, 2016. 432 с.
7. Насыров Т.Х., Гайилов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: Фан ва технология, 2014, - 184 с.
8. Гайилов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. Т.: Изд. ТашГТУ, 2014. 178 с.
9. Арзамасцев Д.А. и др. АСУ и оптимизация режимов энергосистем: Учеб.пособие для студентов вузов. /Арзамасцев Д.А, Бартоломей П.И., Холян А.М. Под ред. Д.А Арзамасцева - М.: Высш.шк., 1983 – 208 с.
10. Крумм Л.А. Методы оптимизации и управления электроэнергетическими системами. –Новосибирск: Наука. 1980. –317 с.
11. Воропай Н.И., Зоркальцев В.И. Модели и методы оптимизации в энергетических исследованиях. Стохастическое программирование и его приложения. /П.С. Кнопов, В.И. Зоркальцев, Я.М. Иванов и др. [Электронный ресурс]. – Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2012. –С. 9-36.
12. Bazaraa M.S., Sherali H.D., Shetty C.M.: Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. Wiley (2006).
13. Michalewicz, Z., Fogel, D.B.: How to Solve It. Modern Heuristics. pp. 145-487, Springer (2004).
14. Yang, X.S.: Nature-inspired metaheuristic algorithms. pp. 11-108, Luniver Press (2010).
15. Coloni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V.: Distributed Optimization by Ant Colonies. In: Proceedings of ECAL91, pp. 134–142. Elsevier Publishing, Paris (1991), pp. 134–142, 1991.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 658.26:621.31

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ САМОЗАПУСКЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК**К.Г. Абидов, О.О. Зарипов**

Истеъмолчилар деб ҳисобланадиган мелиоратив насос станцияларининг насос қурилмалари учун автоматлаштириши фақат электр таъминоти ишончлилигини анча ошириши имконини берадиган насос агрегатларини ўз-ўзидан ишга тушириши жараёни амалга оширилгандагина тегишли самарани беради. Ўз-ўзидан ишга тушириши назарияси ҳозирги вақтда амалиёт тақдим этадиган вазифаларини ҳал қилишига имкон берадиган даражагача ишлаб чиқилган. Мелиоратив насос станциялари насос қурилмасининг ўз-ўзидан ишга тушишини тадқиқ этишида юритма йўқотилганида ва ўз-ўзидан ишга тушишига ўтишида насос агрегатининг статик ва динамик режимларини ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиши билан боғлиқ масалаларни ҳал қилиши, шунингдек электрон ҳисоблаш машиналарини қўлланиб тизимнинг гидромеханик ва гидравлик ўтиши жараёнларини ҳисоблаш катта аҳамиятга эга. Электр таъминотидаги бир неча секундли танаффуслар сўғориши тизимининг насос станцияларида сув узатиши технологик жараёнининг тўсатдан бузилишига олиб келади. Бу эса ўз навбатида нафақат моддий харажатларга, балки қурилмаларни ишлатишининг мелиоратив ва экологик хавфсизлиги бузилишига олиб келади. Шунинг учун электр таъминотидаги танаффусларда истеъмолчиларнинг барқарор ишлашига талабларни таҳлил қилиши долзарб масала ҳисобланади. Мазкур ишда сўғориши иншоотларига тегишли бўлган мелиоратив насос станциялари насос агрегатларини ўз-ўзидан ишга тушуришини қўллашда содир бўлувчи асосий ўткинчи жараёнлар кўриб чиқилиб, шу асосида электроэнергиядан, оқава сувларидан ва насос қурилмаларидан рационал фойдаланиши йўллари аниқлаш мақсад қилиб кўйилган. Кучланишининг режасиз ўчиб қолишида насос қурилмаларини энергия тизимидан узилиши ва ўз-ўзидан ишга туширишидаги жараёнлар кўрилиб, насос қурилмаларни ишга тушириб юборишни оптимал ҳолатлари кўрсатилган. Мелиоратив насос станцияларида ўтказилган тажриба натижалари келтирилган. Насос қурилмаларнида ўз-ўзидан ишга туширишини амалга ошириши бўйича тегишли таклифлар режаси берилган.

Для потребителей, которыми являются насосные установки мелиоративных насосных станций, автоматизация обеспечивает должный эффект лишь при осуществлении самозапуска насосных агрегатов, что позволяет значительно повысить надежность электроснабжения. Теория самозапуска в настоящее время разработана до уровня, позволяющего решать задачи, представляемые практикой. При исследовании самозапуска насосной установки мелиоративных насосных станций большое значение имеют решение задач, связанных с разработкой методики расчета статических и динамических режимов

насосного агрегата при потере привода и переходе на самозапуск, а также расчет гидромеханических и гидравлических переходных процессов в системе. Для насосных станций оросительной системы перерывы питания на несколько секунд ведут к внезапному нарушению технологического процесса водоподдачи, что, в свою очередь, приводит не только к материальным затратам, но и к нарушению мелиоративной и экологической безопасности эксплуатации. Поэтому анализ требований по обеспечению устойчивой работы потребителей при перерывах электроснабжения является актуальной задачей. В статье рассматриваются основные процессы, протекающие при самозапуске насосных агрегатов насосных станций систем машинного водоподъема для орошения, обеспечивающие рациональное использование электроэнергии, насосно-силового оборудования и оросительной воды. Показаны особенности переходных процессов при аварийном отключении насосных агрегатов от энергосистемы и самозапуске, даются методики, позволяющие определить оптимальные режимы самозапуска. Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на насосных установках мелиоративных насосных станций. Предложены технические решения по модернизации насосных агрегатов, позволяющие применение режима самозапуска на мелиоративных насосных станциях.

Abstract. For consumers, which are pumping units of reclamation pumping stations, automation provides the proper effect only when the pump units are self-starting, which can significantly increase the reliability of power supply. Self-starting theory is currently developed to a level that allows solving the problems presented by practice. When studying the self-starting of a pumping unit of amelioration pumping stations, the solution of the problem associated with the development of a methodology for calculating the static and dynamic modes of a pumping unit during loss of drive and in switching to self-starting, as well as the calculation of hydromechanical and hydraulic transients of a system using electronic computers, is of great importance. For pumping stations of the irrigation system, power interruptions for several seconds lead to a sudden violation of the water supply process, which, in turn, leads not only to material costs, but also to a violation of reclamation and environmental safety of operation. Therefore, the analysis of the requirements for ensuring the stable operation of consumers during power outages is an urgent task. The article discusses the main processes that occur during the self-start of pumping units of pumping stations of machine water-lifting systems for irrigation, ensuring the rational use of electricity, pump-power equipment and irrigation water. The features of transients during emergency shutdown of pumping units from the power system and self-start are shown, methods are given that allow to determine the optimal self-start modes. The results of experimental studies carried out at pumping units of reclamation pumping stations are presented. Technical solutions for the modernization of pumping units are proposed, allowing the use of self-starting mode at reclamation pumping stations.

Введение. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения возникает ряд проблем, для решения которых необходимо провести анализ переходных процессов в электродвигательной нагрузке. К таким вопросам относятся: определение условий и выбор схемы пуска мощных электродвигате-

лей, выбор и проверка электрических аппаратов и проводников по условиям работы при коротких замыканиях, определение условий и способов обеспечения успешного самозапуска двигателей и др. Основным способом решения перечисленных задач является проведение расчетно-экспериментальных исследований переходных процессов на базе математического моделирования систем электропитания и элементов, включая приемники электрической энергии - электродвигатели. Трудоемкость анализа переходных процессов в системах электропитания с электродвигательной нагрузкой усугубляется наличием значительного числа типов асинхронных двигателей, существенно различающихся по конструктивному исполнению и назначению, а также расчетными параметрами, схемами замещения и характеристиками.

Основная часть. В данной статье предлагается методика расчета переходных процессов в системах электропитания с электродвигательной асинхронной нагрузкой.

Уравнение электромеханических переходных процессов асинхронного двигателя по своей структуре совпадает с аналогичным выражением для синхронного двигателя [1-5]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\partial\theta} - M_c; \quad (1)$$

где J - приведенный момент инерции агрегата;

ω - угловая скорость ротора;

$M_{\partial\theta}$ - вращающий электромагнитный момент электродвигателя;

M_c - момент сопротивления на валу насоса.

В режиме выбега с момента отключения двигателя $M_{дв}=0$ уравнение (1) примет вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} = -M_c. \quad (2)$$

Насосная установка при выбеге M_c имеет две составляющие: M_{Γ} и M_T ; тогда зависимость (2) выражается в виде:

$$(J_{\partial\theta} + J_H + J_{\Pi M}) \frac{d\omega}{dt} = -(M_{\Gamma} - M_T); \quad (3)$$

где $J_{\partial\theta}$ - момент инерции двигателя;

J_H - момент инерции насоса;

$J_{\Pi M}$ - момент инерции присоединенных масс жидкости;

M_{Γ} - гидравлический момент взаимодействия ротора насоса с потоком воды;

M_T - момент трения в опорах агрегата.

Гидравлический момент определяется по четырехквadrантным характеристикам насоса. Момент сил трения принимается равным:

$$M_T = K_T \cdot M_0; \quad (4)$$

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

где M_0 - номинальный момент насоса;

K_T - коэффициент трения в сальниках и подшипниках $K_T=0,01-0,02$.

Момент инерции присоединенных масс выражается:

$$J_{ИМ} = \frac{\gamma}{g} \iint_{\tau s} Z^2 \cdot dt \cdot ds; \quad (5)$$

где Z - расстояние от продольной оси насоса до центра тяжести элементарного объема вращающейся жидкости;

$d\tau, ds$ - ширина и толщина элементарного кольца жидкости.

В работе [4] в общем виде приводится определение момента сопротивления M_C на валу рабочего механизма и это выражение для насоса имеет следующий вид:

$$M_C = M_{C.нач} + (K_3 - M_{C.нач})\omega^2; \quad (6)$$

где $M_{C.нач}$ - начальный момент сопротивления;

K_3 - коэффициент загрузки асинхронного двигателя по активной мощности.

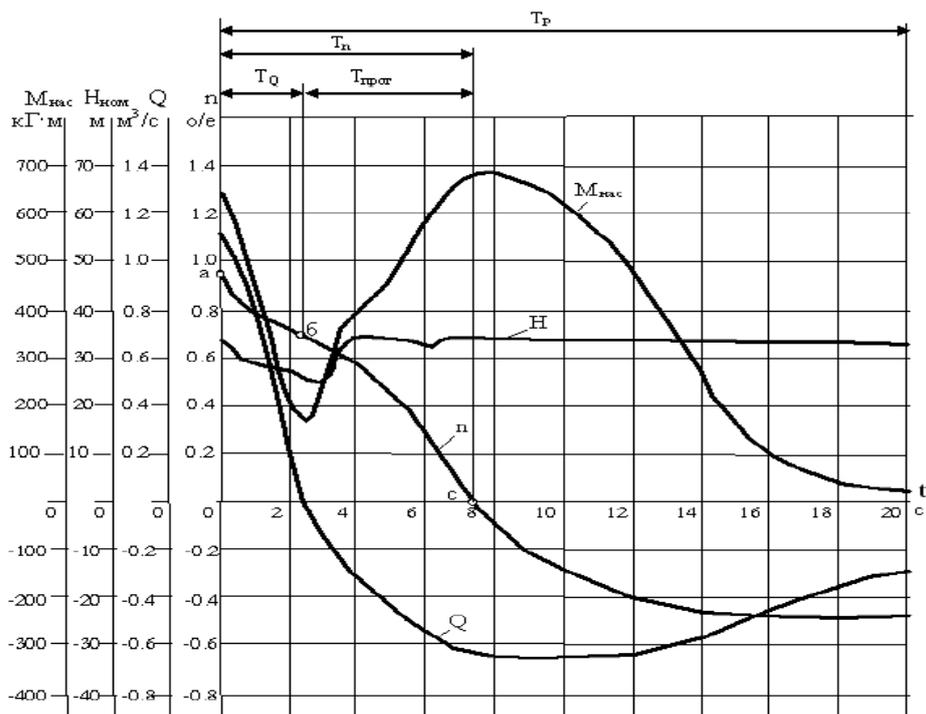


Рис.1. Характер переходного процесса при отключении электродвигателя

Интенсивность изменения частоты вращения ротора, напора и расхода при выбеге имеет различный характер и зависит от множества причин: от типа и быстроходности насоса, маховых моментов ротора агрегата, длины и конфигурации напорного трубопровода, от быстроты отключения напорного трубопровода от отводящего канала, от характера протекания гидравлического удара и др. [6-12].

Методы. Переходные процессы в насосных станциях появляются при потере привода. В качестве характерного примера на рис.1. приведена осциллограмма процесса после потери привода насосной станции Аму-Занг Сурхандарьинской области Республики Узбекистан [13-18].

В момент времени «а» произошло отключение двигателя от сети и его момент $M_{дв}$ мгновенно падает до нуля, гидравлический же момент сопротивления насоса $M_{нас}$ сохраняется. Это приводит к снижению частоты вращения n и развиваемого напора H , следствием чего является уменьшение подаваемого расхода Q_H .

В моменту времени «b» частота вращения снижается настолько, что расход становится равным нулю, а затем начинается движение воды по водоводам в рабочее колесо из верхнего бьефа в нижний, т.е. в «турбинном» направлении. Направление же вращения еще сохраняется «насосным». Это режим противотока. В связи с тем, что в этом режиме пропускная способность насоса резко падает, происходит повышение давления в спиральной камере, повышения напора, а также гидравлического момента.

В момент времени «с» частота вращения становится равной нулю, а затем под воздействием потока рабочее колесо начинает вращаться в обратном направлении. Гидравлический момент достигает своего максимального значения и начинает снижаться. При достижении $M_{нас} = 0$ наступает установившийся разгонный режим. Частота вращения и расход определяются при этом рабочего колеса, напора и положением направляющих лопаток [19-21].

Выводы. Основными показателями процесса потери привода являются:

T_Q - время от отключения агрегата до перемены направления течения воды в проточном тракте;

T_n - время от момента отключения агрегата до перемены направления вращения;

$T_{прот}$ - время нахождения агрегата в режиме противотока: $T_{прот} = T_n - T_Q$;

T_P - время набора агрегатом частоты вращения до разгонной в турбинном направлении.

Приведенное показывает, что потеря привода агрегата сопровождается интенсивными динамическими воздействиями на напорные водоводы и элементы оборудования, которые можно ограничивать выбором оптимального режима регулирования. Это необходимо учитывать при проектировании насосных станций.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития.-Т.: «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbuot uyi». -2021. -952 с.
2. Кривченко Г.И. Гидравлические машины. Турбины и насосы.- М.:Энергоатомиздат, -1983.-320 с.
3. Рычагов В.В. Флоренский М.М. Насосы и насосные станции. -М.:Колос, 1975,-416 с.
4. Карелин В.Я., Минаев А.В., Насосы и насосные станции. -М.:

Стройиздат, 1986,-320 с.

5. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. - М.:Энергия, 1972.-240 с.

6. Аникин Ю.В., Царев Н.С., Ушакова Л.И. Насосы и насосные станции Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018. — 138 с. — ISBN 978-5-7996-2378-4.

7. Кумар Б.К., Ботаханов Е.К. Эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учебное пособие. — Алматы: КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, 2015. — 392 с. — ISBN 978–601–228–766–0.

8. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Абитов Р.Н. Расчет и проектирование канализационной насосной станции. Учебно-методическое пособие /А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. –79 с.

9. Сергеев А.И., Ветров Е.П. Насосы и воздухоудные станции. Проектирование и расчет насосных станций. Учеб.пособие. - Иркутск: Изд-воИрГту, 2008. - 75 с.

10. Abidov K.G., Xamudxanova N.B. Mathematical model of the pumping unit of machine water lifting systems. E3S Web of Conferences Volume 216 (2020).Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems”. (RSES 2020).Kazan, Russia, September 21-26,2020.<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601111>

11. Abidov K.G ,Zaripov Odiljon, Zaripova Shaxlo. Automatic drive -support method for constant pressure maintenance at pump units of the hydraulic power stations. E3S Web of Conferences Volume 216 (2020).Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020).Kazan, Russia, September 21-26, 2020.<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601110>.

12. Абидов К.Г., Зарипов О.О., Назруллаева О.А.,Бердиев У.И. Automatic drive -support method for constant pressure maintenance at pump units of the hydraulic power stations. //Technical science and innovation. TSTU- Tashkent, 2020. №1.- p.161-166.

13. Абидов К.Г., Зарипов О.О., Моделирование режимов самозапуска асинхронных двигателей для релейной защиты и автоматики насосной станции.//Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент:ТашГТУ, -№3-4, 2020. - С.179-182.

14. Абидов К.Г., Хамудханова Н.Б. Математическая модель насосной установки систем водоподъемных насосных станций. //Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. Россия, 2021. -№1. - С.27-32.

15. Абидов К.Г., Хамудханова Н.Б. Аналитическая математическая модель насосной установки систем машинного водоподъема. /Международная научно-техническая конференция: “Тенденции развития альтернативной и возобновляемой энергетики: проблемы и решения” 2021 год 17-18 Май. /Сборник докладов под общей редакцией академика Захидова Р.А. Ташкент.2021. - С.481-485.

16. Қадиров А.А., Хамудханов М.М. Методы исследования и расчета энерго- ресурсосберегающих режимов работы водоподъемных насосных станций.-Т.: Янги аср авлоди, 2013. -120 с.

17. Камалов Т.С. Частотнорегулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. -Ташкент: Фан, 2014. -368 с.
18. Камалов Т.С. Регулируемый электропривод оросительных насосных станций. - Ташкент: Фан, 1987. -80 с.
19. Камалов Т.С., Ахмедов И. Оптимизация режимов работы насосных станций. - Ташкент: Фан, 1988.-60 с.
20. Аршиневский Н.Н., Поспелов Б.Б. Переходные процессы крупных насосных станция. - М.:Энергия, 1980. -110 с.
21. Васильев Ю.С., Виссарионов В.И., Кубишкин Л.И. Решение гидротехнических задач на ЭВМ. –М.: Энергоатомиздат, 1987. -158 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

**ТЕХНОЛОГИЯ FACTS – ИНСТРУМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ****М.М. Холиддинова**

Maqolada faol-adaptiv elektr tarmog'iga ega bo'lgan intellektual energiya tizimini yaratish bo'yicha ilmiy adabiyotlar ko'rib chiqilgan va tadqiqotning asosiy natijalari taqdim etilgan. Iste'molchilarga yuqori sifatli elektr energiyasini taqdim etish imkonini beradigan aqlli energiya tizimini yaratishning asosiy usullari ko'rib chiqilgan. Elektr energiyasining sifati elektr qabul qiluvchilarning normal ishlashi va ularda mavjud bo'lgan funktsiyalarni bajarishi mumkin bo'lgan elektr energiyasi parametrlari majmui bilan belgilanadi. Elektr sifati oshirish muammosini hal qilish uchun FACTS o'zgaruvchan tokida moslashuvchan elektr uzatish liniyalari texnologiyalarining bir qator vositalaridan foydalangan holda turli xil echimlar keltirilgan. Mazkur maqolada FACTS-texnologiya kontseptsiyasining mazmuni batafsil bayon etilgan. Elektr tarmoqlarining ishlash usullarini boshqarishda faol ishtirok etayotgan asosiy FACTS qurilmalari tahlil qilingan. Elektr sifati ko'rsatkichlarini davlat standarti talablariga moslashtirish uchun FACTS qurilmalarining qobiliyatlariga katta e'tibor qaratilgan. Ushbu qurilmalardan biri - quvvat oqimlarining birlashtirilgan regulyatorining o'ziga xos xususiyatlari ajratilgan va tavsiflangan. Qurilma to'g'ridan-to'g'ri kuchlanishni nazorat qilish funktsiyasiga ega, ya'ni u bir vaqtning o'zida elektr uzatish liniyalarining uchida kuchlanish va uning qarshiligi o'rtasidagi o'zgarishlar burchagini sozlash imkonini beradi. Shuningdek, xorijda zamonaviy FACTS-texnologiyalarni joriy etish bo'yicha jahon tajribasi o'rganilgan.

В предлагаемой статье выполнен обзор научной литературы по созданию интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной электрической сетью и представлены основные результаты исследования. Рассмотрены основные способы создания интеллектуальной энергосистемы, позволяющие поставлять потребителям электроэнергию высокого качества. Качество электроэнергии определяется совокупностью параметров электрической энергии, при которых электроприёмники способны нормально работать и выполнять заложенные в них функции. Для решения задачи повышения качества электроэнергии приведены различные варианты решения с применением ряда инструментов технологий гибких линий электропередачи на переменном токе FACTS. В статье подробно раскрывается содержание понятия «FACTS-технологии». Проанализированы основные устройства FACTS, активно участвующие в управлении режимами работы электрических сетей. Значительное внимание уделяется возможностям FACTS устройств приводить показатели качества электроэнергии к требованиям государственного стандарта. Выделяются и описываются характерные особенности одного из таких устройств - объединенного регулятора потоков мощности. Данное устройство имеет функцию непосредственного управления напряжением, то есть оно позволяет одновременно регулировать фазный угол между напряжениями по концам линий электропередач и ее

сопротивлением. А также описан мировой опыт внедрения современных FACTS-технологий за рубежом.

In the article presented to the readers, a review of the scientific literature on the creation of an intelligent power system with an active-adaptive electrical network is carried out and the main results of the study are presented. The main ways of creating an intelligent power system that allows providing high-quality electricity to consumers are considered. The quality of electricity is determined by a set of parameters of electrical energy, at which the electric receivers are able to work normally and perform the functions inherent in them. To solve the problem of improving the quality of electricity, various solutions are presented using a number of tools for flexible AC transmission lines FACTS. The article reveals in detail the content of the concept of FACTS-technology. The main FACTS devices that are actively involved in managing the modes of operation of electrical networks are analyzed. Considerable attention is paid to the capabilities of FACTS devices to bring electricity quality indicators to the requirements of the state standard. The characteristic features of one of these devices, the combined power flow controller, are highlighted and described. This device has the function of direct voltage control, that is, it allows you to simultaneously adjust the phase angle between the voltages at the ends of power lines and its resistance.

Введение. Мировая энергетика, в том числе в Узбекистане, стремительно развивается и меняется, она становится еще более технологичной, требует механизмов обеспечения ее устойчивого функционирования, децентрализации, декарбонизации, интеллектуализации и оптимизации [1-2].

Внедрение интеллектуальной энергосистемы осуществляется путём модернизации традиционных и создания современных функциональных свойств электрической сети в целом. К этим свойствам сети относятся: качество, устойчивость, эффективность, надежность, информационная безопасность и работоспособность [3]. Интеллектуальные электрические сети – это сети с большим числом цифровых контроллеров и специализированным программным обеспечением. В интеллектуальных сетях потребители могут в реальном времени сообщать о своем состоянии источнику энергии [4].

Прогнозируя развитие электроэнергетики, Департамент энергетики США сформулировал следующее видение распределительных сетей недалекого будущего: «Сеть 2030 – полностью автоматизированная распределительная сеть, обеспечивающая параллельный поток электричества и информации от электростанции до потребителей, включая все промежуточные точки». Таким образом, распределительная сеть будущего – это интеллектуальная сеть, которая сочетает в себе комплексные инструменты контроля и мониторинга, информационные технологии и средства коммуникации, обеспечивающие значительно более высокую производительность энергосети и позволяющие генерирующим, сбытовым и коммунальным компаниям предоставлять населению энергию высокого качества [5, 6].

Основная часть. В настоящее время сформировались требования к качеству электроэнергии в системах электроснабжения [7], определены показатели качества.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К основным показателям качества электроэнергии относятся отклонение частоты, отклонения и размах изменения напряжения, коэффициент несинусоидальности; кривой напряжения, параметры, характеризующие несимметричность режима коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжения. С показателями качества электроэнергии тесным образом связаны условия работы электроприёмников. Наиболее экономичным режимом работы электроприёмников является его работа при нормально допустимых значениях параметров режима. При этом обеспечивается гарантийный срок службы электрооборудования. Качество электроэнергии также оказывает влияние на технологические процессы, на количество и уровень выпускаемой продукции [8].

Таблица 1

Тип FACTS-устройств	Основные показатели качества электроэнергии, ГОСТ 32144-2013										
	Отклонение частоты	Медленные изменения напряжения	Колебания напряжения	Фликер	Несинусоидальность напряжения	Несимметрия напряжений в трехфазных системах	Напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям	Прерывания напряжения	Провалы напряжения и перенапряжения	Импульсные напряжения	Оптимизация потоков распределения по-терям, нагрузке, параметрам
БСК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
УБСК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ТУБСК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ФКУ	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
УФКУ	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+
СК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ТУР	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
ШР	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ВРГ	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
СТК	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+
УШР	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
СТАТКОМ	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
АСК	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
ССПК	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+
УПК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
УУПК	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ФПУ	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ФВТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
ВПТ	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
ВПТН	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
АС ЭМПЧ	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ОРМП	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+
АФ	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ТОУ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

На сегодняшний день существует множество технических решений [8] для повышения значений показателей качества электроэнергии, соответствующих стандартам и предъявленным требованиям [7].

К таким решениям относятся использование FACTS-технологий [2, 9, 10]. FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems - гибкие системы передачи переменного тока) – это электронная система и технические средства, служащие для управления параметрами сети [11].

Суть FACTS-технологий состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей [12]. Многие из идей, которые легли в основу концепции FACTS, зародились десятки лет назад [10, 13-15].

Способность FACTS устройств приводить показатели качества электроэнергии к ГОСТ 32144-2013 описана в [16] (табл.1).

Технические средства активно-адаптивной сети, обеспечивающие её управляемость, в значительной степени определяют возможность «интеллектуализации» электроэнергетики; их можно разделить на следующие основные группы [17]:

- Устройства регулирования (компенсации) реактивной мощности и напряжения, подключаемые к сетям параллельно [18].
- Устройства регулирования параметров сети (сопротивление сети), подключаемые к сети последовательно.
- Устройства, сочетающие функции первых двух групп - устройства продольно-поперечного включения [20].
- Устройства ограничения токов короткого замыкания.

Одним из ключевых элементов устройства FACTS, общая структура которого изображена на рис.1, является статический источник реактивной мощности.

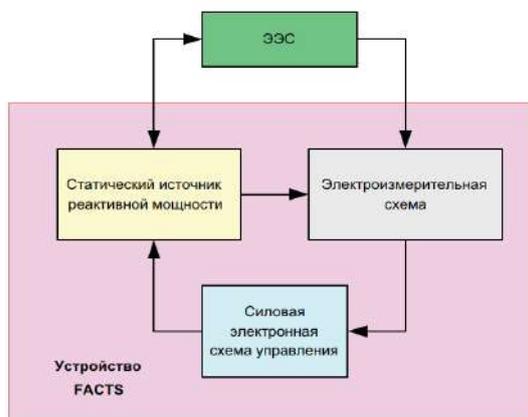


Рис. 1. Общая структура устройства FACTS

Известно, что источники реактивной мощности способны потреблять или выдавать (генерировать) реактивную мощность в зависимости от выставленного режима и заданных характеристик электроэнергетической системы. К источникам реактивной мощности относятся статические и синхронные компенсаторы реактивной мощности [13].

Система объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ-UPFC) представляет собой объединение систем статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ-STATCOM) и по-

следовательного статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (ПСТАТКОМ-SSSC) (рис. 2).

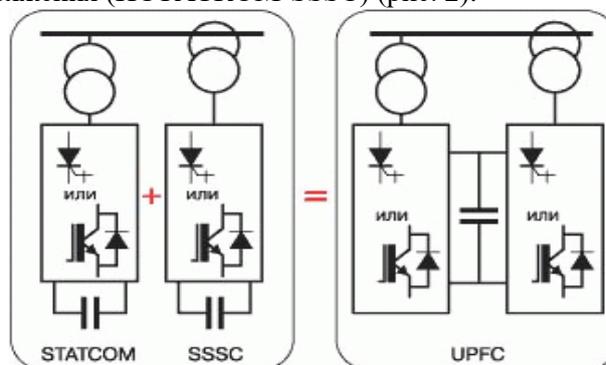


Рис. 2. Схема ОРПМ

Это наиболее сложная из систем FACTS. Она позволяет осуществлять следующие функции [20]:

- непосредственное управление напряжением. Сложение или вычитание напряжений, фазированных узлом поперечной компенсации. Эти действия производятся над реактивной мощностью;
- поперечный компенсатор – путем управления поперечным преобразователем с переводом последнего в режим поглощения или возврата реактивной мощности. Напряжение должно поддерживаться постоянным;
- продольный компенсатор: путем добавления последовательного напряжения, со сдвигом на 90° по отношению к току связи. При этом необходимо управлять выходным напряжением и реактивной мощностью на выходе;
- фазосдвигающее устройство: если величина и фаза продольного напряжения таковы, что при поддержании такого же напряжения на выходе модуля оно уменьшает величину сдвига фаз по отношению ко входу. Это имеет важное значение при управлении передаваемой активной мощностью.

Одновременное использование всех функций – число степеней свободы системы позволяет это делать, – когда необходимо управлять и реактивной, и активной мощностью [20].

Число систем ОРПМ, которые находятся в эксплуатации на сегодняшний день, не очень велико. Одна система ОРПМ мощностью 2×160 МВА находится в эксплуатации с 1998 года в системе усиления, состоящей из двойной ЛЭП 135 кВ от АЭС в США. Она позволяет повысить передаваемую мощность на 100 МВт [20].

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью имеет широкий набор технических решений и систем управления, которые целесообразно применять для гибкого управления качеством электроэнергии. Несмотря на то, что FACTS в настоящее время не является широко распространенной, в ближайшие годы эта технология будет активно развиваться.

Литература

1. Аллаев К. Современная энергетика и перспективы её развития.–Т: Фан ва технологиялар нашриёт-матбаа уйи. 2021.–952 с.
2. Аллаев К.Р. Ўзбекистон электр энергетикаси ва унинг ривожланиш истикболлари.–Т: Фан ва технологиялар нашриёт-матбаа уйи. 2017.–310 б.
3. «Grids 2030». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.
4. Аллаев К.Р., Тешабаев Б.М. Интеллектуальные электрические сети – основа развития электрических систем будущего. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2011. – №1-2. – С.10-22.
5. Балабанов М.С. Facts-устройства. Выбор при проектировании электрооборудования предприятий: Монография / М.С. Балабанов, Р. Н. Хамитов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2015. – 184 с. – ISBN 978-5-8149-2060-7.
6. Желонкин А.В. Будущее – за интеллектуальными электросетями / А.В. Желонкин, А.В. Белявский // Энергетика Татарстана. 2010. –№3. – С.13-21.
7. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
8. Аллаев К.Р., Холиддинов И.Х., Холиддинова М.М. и др. Обеспечение качества электрической энергии / Монография.–Т.: Фан ва технологиялар нашриёт-матбаа уйи. 2019.–207 с.
9. Мисриханов М.Ш. Хамидов Ш.В. Технологии управляемых гибких электропередач переменного тока и их применение в электроэнергетических системах.–Т.: Навруз. 2019.
10. Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. -М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. –312 с.
11. Холиддинов И.Х., Холиддинова М.М. Эффективность применения FACTS технологий в электроэнергетической системах /Online научно-практическая конференция. Фергана, 2020 г.- С.179-182.
12. Balabanov M.S. Analysis of the Use of FACTS Devices of Different Types and the Ability to Bring Parameters of Power Quality to GOST R 54149-2010, Computer Modeling and Simulation: труды международной научно-технической конференции, 2-4 июля 2014 года. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. –171 с.
13. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Гаджиев М.Г. Современные управляемые источники реактивной мощности и их применение в электроэнергетических системах. Часть I // Электроэнергия. Передача и распределение, 2018, -№ 3. -С. 24–33.
14. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Худяков В.В. Гибкие электропередачи переменного тока // Электротехника, 1996, № 4. -С. 13–18.
15. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. -М.: Изд-во ИЦ ЭНАС, 2000. –248 с.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

16. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭМ России [Электронный ресурс] //Официальный сайт ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы» URL: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29-2009.pdf>.

17. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс] // Сайт ОАО «ФСК ЕЭС». URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf.

18. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Ситников В.Ф. Сравнительная оценка устройств FACTS // Вестник ИГЭУ, 2006, № 6. С. 44–51.

19. Гусев С.И., Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Развитие устройств FACTS: /Всемирный электротехнический конгресс, 2011 г.

20. Куро Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии URL: <https://www.ruselt.ru/articles/sovremennye-tehnologii-povysheniya-kachestva-elektroenergii-pri-ee-peredache-i-raspredelenii-avtor/>.

*Представлено Ферганским
политехническим институтом*

УДК 621.565.93/95.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ В
ПРОМЫШЛЕННОСТИ УСТАНОВОК ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ****Д.Н. Мухиддинов, Ш.С. Санаев**

Мазкур мақолада илмий ишнинг асосий мақсадларидан бири бўлган, тажриба қурилмаси орқали олинган натижаларни саноат корхоналарига тадбиқ қилиши ҳақида сўз боради. Тажриба қурилмасининг асосий вазифаси ва унинг нималардан ташкил топганлиги ҳақида ҳам бир қанча маълумот бериб ўтилади. Илмий ишимда асосий қаратилган мақсад саноат корхоналаридаги айланма сувдан оқилона фойдаланишидир. Сув заҳираларини танқислиги шароитида иссиқлик электр станция эҳтиёжлари учун сувни табиий заҳираларидан олинишини камайтириши, иссиқлик ташламаларини бартараф қилиши ва табиатни экологик шароитини яхшилаши Республикамизнинг энергия ва ёқилги заҳираларни тежашининг асосий йўналишларидан бири ҳисобланади. Айланма сув таъминоти тизимларида кўп ҳолларда градирнялар ишлатилади. ИЭСлардаги градирняларнинг кенг тарқалган турларига қуйидагилар киради: вентиляторли буглатгичли, минорали буглатгичли, радиаторли ва қурама усулдаги. Сув танқис бўлган жойларда минорали буглатгичли градирнялардаги бугланиши ва томчи йўқотишларни ўрнини тўлдириши муаммоли ҳисобланади, шунинг учун техник иқтисодий кўрсаткичлар ва атроф муҳитга таъсири каби хулосаларидан келиб чиққан ҳолда градирнялардан фойдаланилади, бунда совитиши тизимлари ёпиқ ҳолда бўлади. Бугунги кунда вентиляторли градирняларни вентиляторларини ва бошқа функционал элементларини замонавий конструкциялари яратилди. Буларга қўйиладиган экологик талаблар янада ошиди. Шунинг учун замонавий ИЭСларида минорали градирнялар ўрнига ёки улар билан биргаликда ишлайдиган вентиляторли градирнялар кенг қўлланилмоқда, бу ўз навбатида сувни совитишини юкламага нисбатан ўзгарувчанлигини оширади. Айланма сув таъминотида қўйиладиган асосий талаб - энергетик блок конденсаторига берилаётган совитиши сувини керакли миқдорда таъминлаб беришдан иборат. Етарли даражада совитилмаган ёки етарли миқдорда берилмаган айланма сув турбина конденсаторига берилаётган бугга чекловлар қўйилишига олиб келади, бу ўз навбатида энергетик блок қувватларини чекловига ва уларнинг фойдали иш коэффициентини камайишига олиб келади. Иссиқлик электр станциялардаги айланма сув ҳароратига етарли даражада қаттиқ талаблар қўйилади, одатда ёзги мавсумда у 28 ° С дан юқори бўлмаслиги керак, энг иссиқ даврда удаги ҳароратлари фарқи 8-10 ° С ташкил этиши мумкин. Бу талаб этилган ҳароратлар ушлаб турилмаса ИЭСда электр энергиясининг миқдори камайд.

В статье рассматриваются результаты, полученные с помощью экспериментальной установки, для их применения на промышленных предприятиях. Основная цель исследования - рациональное использование оборотной воды на промышленных предприятиях. В системах оборотного водоснабжения часто

используются градирни. Распространенные типы градирен на тепловых электростанциях: вентилируемые испарители, градирни, радиаторные и сборные. В местах с нехваткой воды трудно компенсировать потери от испарения в градирнях, поэтому градирни используются на основе технической осуществимости и воздействия на окружающую среду. Сегодня созданы современные конструкции вентиляторов и других функциональных элементов вентилируемых градирен а экологические требования к ним возросли еще больше. Поэтому вентилируемые градирни широко используются на современных тепловых электростанциях вместо обычных градирен или вместе с ними, что, в свою очередь, увеличивает вариативность водяного охлаждения относительно нагрузки. Основное требование к оборотному водоснабжению - обеспечение необходимого количества охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор энергоблока. Недостаточно охлажденная или недостаточно подаваемая циркуляционная вода приводит к ограничению подачи пара в конденсатор турбины, что, в свою очередь, приводит к ограничению мощности силовых блоков и снижению их эффективности. К температуре оборотной воды на ТЭС предъявляются достаточно жесткие требования, обычно летом она не должна превышать 28 °С, в самый жаркий период перепад температур может составлять 8-10 °С. Если эти требуемые температуры не поддерживаются, количество электроэнергии на ТЭС уменьшится.

This article discusses the application of the results obtained using the experimental setup in industrial enterprises, which is one of the main goals of scientific work. Some information is also given about the main task of the experimental setup and what it consists of. The main goal in my scientific work is the rational use of recycled water at industrial enterprises. In the context of a shortage of water resources, reducing the flow of water from natural resources for the needs of thermal power plants, eliminating thermal discharges and improving environmental conditions of nature are among the main directions of energy conservation and fuel resources of the Republic. In circulating water supply systems, cooling towers are used in most cases. Common types of cooling towers at TPPs include: ventilated with an evaporator, tower with an evaporator, radiator and combined. In areas of water shortage, replenishment of losses due to evaporation and fall in cooling towers with tower evaporators is problematic, therefore, based on the conclusions of technical and economic indicators and the impact on the environment, cooling towers with radiators are used, in which the cooling systems are in a closed state. Today, modern designs of fans and other functional elements of ventilation cooling towers have been created. Environmental requirements for them have increased even more. That is why, in modern CHP plants, instead of tower cooling towers or in combination with them, fan cooling towers are widely used, which, in turn, increases the variability of water cooling in relation to the load. The main requirement for circulating water supply is the supply of cooling water supplied to the condenser of the power unit in the required amount. Circulating water, insufficiently cooled or insufficiently heated, enters the steam supplied to the turbine condenser.

Введение. Градирни являются основным элементом технологического процесса на ТЭС (рис.1). Градирни, используемые в настоящее время, не всегда соответствуют требованиям эффективности при производстве электроэнергии.

Понижение температуры воды, подаваемой в конденсаторы ТЭС, до 1 °С приводит к уменьшению топлива, затрачиваемого на выработку 1 кВт·ч электроэнергии, на 1,2-2 грамма. Повышение температуры воды, подаваемой в конденсаторы, на 1 °С приводит к уменьшению вакуума в конденсаторах на 0,5%, то есть к уменьшению мощности турбины на 0,4% или дополнительному расходу пара на 0,5 % [1-7].

Основная часть. Разделение методов ускорения процессов теплообмена на активный и пассивный типы принято считать искусственным, так как все перечисленные способы ускорения требуют дополнительной энергии для перемещения теплоносителя [8 - 17].

К числу основных методов ускорения тепломассообмена относят увеличение поверхностей теплообмена, воздействие на гидродинамику потока путем размещения дополнительных тел различной формы, механическое колебание потока. Еще один эффективный метод ускорения заключается в обеспечении потока жидкости пленочным способом [9 - 13].

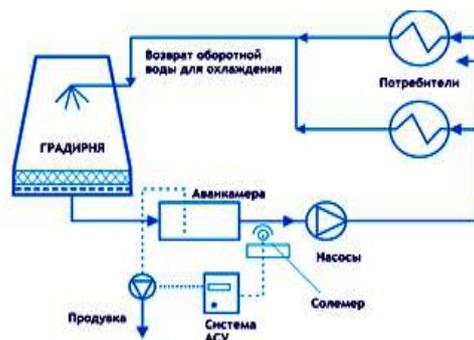


Рис.1. Структура работы градирни на ТЭС

Оросительная градирня состоит из системы, подающей нагретую жидкость, с сетчато-пленочным бассейном и оросителем, туда и попадает остывшая жидкость. В оросительную градирню подают теплую воду, распыляющуюся сквозь сопла на оросителя [9]. Если мы рассматриваем башенную оросительную градирню, то здесь поток воздуха идет за счёт естественной тяги, а в вентиляторном типе - за счет вентиляторов. В данных градирнях используют специальный оросительный слой для того, чтобы обеспечить больший контакт воздуха и воды, который поступает сквозь воздухозаборные окна [14]. Затем вода стекает каплями или своеобразной «пленкой» на оросительный слой, затем охлаждается и испаряется. Теплый воздух остается в градирне. Оросительные градирни применяются в том случае, если требуется ускорить процесс охлаждения теплоносителя [16].

Методы. Испарительная вентиляторная градирня состоит из емкости, системы водораспределения, оросителя, по отверстиям которого проходит

охлаждаемая вода, поддона, каплеуловителя и вентилятора. В нижней части емкости установлены воздухозаборные жалюзи.

Принцип работы вентиляторной градирни достаточно прост: теплоноситель (вода), из охлаждаемого оборудования поступает в установку, где, в зависимости от ее разновидности, охлаждается с помощью обдувающего или втягивающего потока воздуха. После прохождения полного цикла, охлажденная вода из поддона перекачивается в систему охлаждения оборудования. Испаряемая влага улавливается каплеуловителем и также возвращается в поддон аппарата.

В зависимости от направления движения воздушного потока, эти установки могут быть противоточными или поперечно проточными. В противоточных воздух движется снизу вверх, навстречу воде, а в поперечно-проточных, - в поперечном направлении к движущейся по оросителю воде. В плане экономии электроэнергии на работу вентилятора и эффективности охлаждения теплоносителя, противоточные градирни являются наиболее выгодными [18].

В испарительных градирнях охлаждение воды в контуре происходит за счет испарения части воды и отдачи тепла более холодному воздушному потоку. Нагретая вода через водораспределительную систему подается в градирню и распыляется через форсунки. Далее, вода тонкой пленкой стекает вниз по ячеистой структуре каналов оросителя. Вдоль каналов оросителя, в противоположном направлении, движется поток воздуха. Так как расход воздуха большой, то вода частично испаряется, вследствие этого остальная ее часть охлаждается. При испарении 1% воды температура ее оставшейся части снижается примерно на 6 °С. При этом часть воды испаряется, часть уносится воздушным потоком. Доля испаряемой воды составляет 1,5-2%, поэтому для восполнения требуется ее подпитка. Охлажденная вода стекает в поддон, и оттуда с помощью насоса подается в конденсатор холодильной машины (чиллера) или в охлаждаемый модуль технологического оборудования [16].

Движение воздушного потока в градирне принудительное и создается осевым вентилятором. Вентилятор всасывает воздух в нижней части градирни с нескольких сторон, а затем выбрасывает его вверх. Если градирня оросительная, то его направление может быть противоточным или перпендикулярным по отношению к направлению потока воды. В качестве теплоносителя в градирнях открытого типа может применяться только вода. На рис.2 представлена схема охлаждения воды в испарительной градирне [17].

При подготовке опытной установки был учтен опыт ученых, проводивших научно-исследовательские и экспериментальные работы по расположению труб в шахматном порядке. Внешний вид экспериментальной установки, подготовленной для проведения исследований, показан на рис.3. В качестве объекта исследования рассматривалась часть насадочного комплекса, находящаяся на экспериментальной установке, в которой происходит процесс теплообмена. Форма экспериментального устройства-прямоугольник. Масштаб и размеры устройства, а также различные взаимодействия являются параметрическими. Высота градирни опытной установки 2,83 метра, поверхность поперечного сечения 1 м², высота набора насадок 0,85 метра. С целью непосредственного

наблюдения за процессами в насадке, находящейся внутри градирни, ее стенки выполнены из органического прозрачного стекла.

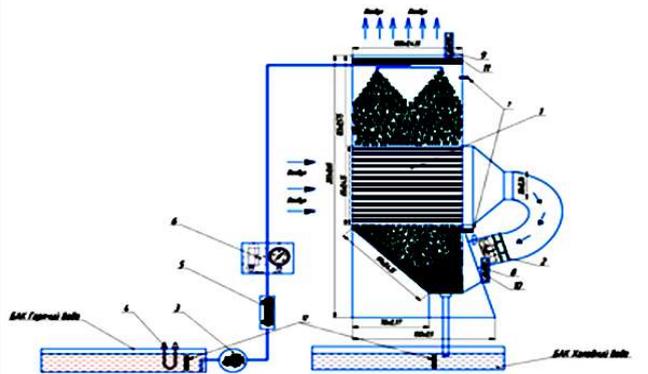


Рис. 2. Компактное экспериментальное устройство градирни в лабораторных условиях

Описание экспериментального устройства. Основной целью создания опытной установки является исследование процессов тепломассообмена между водой и воздухом, а также определение основных факторов, влияющих на процессы ускорения.

Набор насадок, расположенных в шахматном порядке, устанавливается на 1 решетку. В нижней части экспериментальной установки находится вентилятор 2, который также имеет регулятор скорости, который снова распыляет воздух, всасывая его через трубчатые насадки. В отдельно расположенном резервуаре емкостью 100 литров вода нагревается с помощью электрообогревателя 4 и через насос 3 и ротаметр 5 подается в водяные брызговики, расположенные между насадкой и капельницей.

Расход воды регулировался с помощью лебедки по показаниям ротаметра 5. Температура воды измеряется термометром на входе и выходе из устройства. Нагретая вода перекачивается насосом по трубопроводу в водопроточные трубы, 4 поплавка равномерно распределяют воду по насосному комплексу 1. С помощью вентилятора 2, имеющего регулятор скорости, создается поток воздуха, движущийся вверх. В наборе насадок потоки воздуха и воды будут направлены навстречу друг другу. Поток воздуха направлен вверх, а поток воды направлен вниз, попадая сверху на насадки, состоящие из труб неправильной формы, и ударяясь о ее внешнюю поверхность, образуя тонкую пленку, которая, в свою очередь, взаимодействует с воздухом внутри и снаружи трубы, образуя процесс охлаждения с помощью испарения воды.

Трубчатая насадка, расположенная в шахматной форме на основе использованного опыта насадок, применяемых в режимных градирнях, нами также разработана трубчатая насадка, расположенная в шахматной форме, что можно увидеть на рис.3.

Для формирования поверхности взаимодействия воды и воздуха в экспериментальном аппарате использовалась плоская насадка с горизонтально установленной трубкой.

Насадка состоит из плоских панелей 1, которые крепятся с помощью возвратно-поступательного крепежа 2 на верхние крепежные элементы в горизонтальном положении устанавливаются полимерные трубы 4 и крепежные кольца 5.

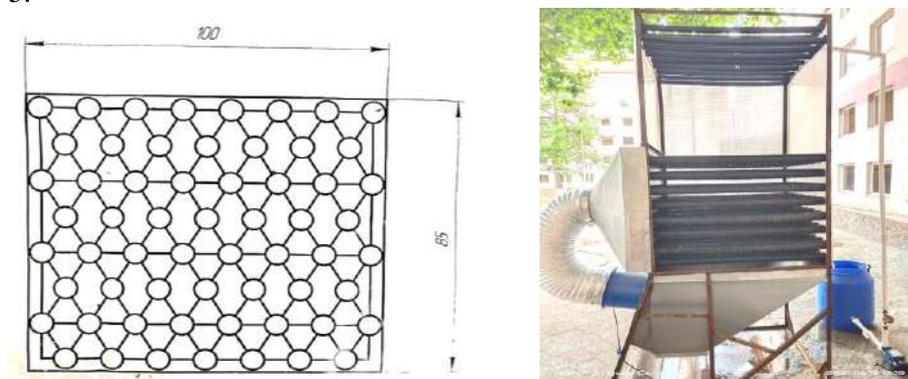


Рис.3. Насадка на трубу, которая расположена в виде шахмат; справа ее внешний вид на устройстве

Выводы. Одним из основных направлений экономии энергии и энергетических ресурсов республики является сокращение добычи воды из природных ресурсов для нужд ИЭС в условиях дефицита водных ресурсов, ликвидация тепловых ударов и улучшение экологического состояния природы. Для проведения физических экспериментальных исследований разработана и создана экспериментальная установка, в которой получены результаты процессов аэродинамики и теплообмена; исследовательский прибор предназначен для изучения процессов гидродинамики и теплообмена в насадке градирия; Разработаны экспериментальные образцы и технология приготовления компактных градириен.

Литература

1. Мухиддинов Ж.Н., Бабаходжаев Р.П., Муртазаев К.М. Опыт внедрения трубчатых оросителей. / ТашГТУ, Сборник научных трудов, 2004.-С. 70-72.
2. Мухиддинов Ж.Н., Муртазаев К.М. Махаллий шароитда тайёрланган совитиш юзаларини энергетиканинг совитиш тизимларида куллаш масаласи. /Ташкент; ТашГТУ сборник научных трудов 2003. -С, 35-37.
3. Мухиддинов Ж.Н., Бабаходжаев Р.П., Муртазаев К.М. Опыт эксплуатации пленочного оросителя в градириях для высокоминерализованных вод в условиях жаркого климата. /Третья Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: Энергетика, управление, качество и эффективность использования энергоресурсов, Благовещенск, Амурская область. 2003.
4. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Технологические расчеты башенных градириен // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. - № 7. - С. 17-20.
5. Берман Д. Испарительные градири: современные конструкции и преимущества реконструкции // Энергетик. -2000, спецвыпуск. -С. 15-21.
6. Некоторые вопросы повышения работы каплеуловителей градири. Мухиддинова Я.Д. Санаев Ш.С. Нормухамедов Х. Карши 2018. –С.512-513.

7. N.O. Usmonov, Sh.S. Sanayev, Z.Yusupov TashSTU. Tashkent 2019, "Technical science and innovation" Calculation of temperature of routine water cooled in irrigated layers. pp. 249-256
8. Берман Л.Д. Испарительные градирни: современные конструкции и преимущества реконструкции // Энергетик. 2000. - Спецвыпуск. - С. 15-21.
9. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. -М.: Госэнергоиздат, 1957. -320 с.
10. Бондарь Ю.Ф. Оптимизация водно-химического режима оборотных систем техводоснабжения с градирнями паротурбинных ТЭС //Электрические станции. 1991. - №11. - С. 29-32.
11. Бондарь Ю.Ф., Гронский Р.К. Методические указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилендифосфоновой кислотой. РД 34.22.503-89. -М.: Изд-во ВТИ, 1989. -24 с.
12. Болдырев В, "Сухие" градирни на тепловых и атомных электростанциях как средство снижения антропогенных выбросов <http://www.promved.ru/articles/article.phtml?id=1412&nomer=50>.
13. Сабо З. Прогрессивная система непрямого сухого охлаждения // Энергетик. Специальный выпуск. 2000. -С.8-12.
14. Горбачев А.И., Кондратьева Т.Р., Казинци И. Экологические предпосылки применения воздушно-конденсационных установок // Энергетик. Специальный выпуск. 2000. - С.22-24.
15. Федяев В.Л., Моренко И.В., Богаткин В.И. О расчете теплотехнических характеристик комбинированных градирен / Труды Академэнерго. -2011. -№2. - С. 89-99.
16. Муртазаев К.М., Мухиддинов Д.Н. Стенд для экспериментального исследования испарительного охлаждения воды в градирне. /Международная научная конференция. Инновация-2011. Сборник научных статей. Ташкент, 2011, 25-27 октября, С.140-141.
17. Муртазаев К.М., Мухиддинов Д.Н., Мухиддинова Я.Д. Ороситель градирни. Полезная модель, заявка Республики Узбекистан № FAP 2014.
18. Mukhidinov D.N., Murtazayev K.M., Mukhidinova Y.D. Experimental analysis of heat-mass-exchange progresses of irrigators cooling stack // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.–Indy Vol. 4, Issue 2, February 2017.
19. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. -М.: Госэнергоиздат, 1957. -320 с.
20. Бондарь Ю.Ф. Оптимизация водно-химического режима оборотных систем техводоснабжения с градирнями паротурбинных ТЭС // Электрические станции. 1991. - №11. - С. 29-32.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК. 622.481.24

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕПЛОИСТОЧНИКАХ УЗБЕКИСТАНА

М.А. Короли, Ф.А. Хашимова

Энергия аудити бўйича ишлар энергия йўқотилишини бартараф этиши ва корхона ва коммунал хўжаликларнинг энергия самарадорлигини ошириши дастурини ишлаб чиқиши билан яқунланади. Таклиф этилаётган чора-тадбирлар самарадорлигининг техник-иқтисодий таҳлили ўтказилиб, тан нархни қоплаш муддатлари аниқланиб, уларни амалга ошириши кетма-кетлиги ишлаб чиқилмоқда. Кам тан нарх ва харажатни қоплаш таклифларига устунлик бериладиган энергия аудитининг иши энергия йўқотилишини бартараф этиши ва корхона ва коммунал хўжаликларнинг энергия самарадорлигини ошириши дастурини ишлаб чиқиши билан яқунланади. Мақолада саноат тармоқларини модернизация қилиши дастурларини амалга оширишида ишлаб чиқариши линияларининг энергия самарадорлигини оширишига имкон берадиган Ўзбекистондаги иссиқлик манбаларида энг тежамкор энергия тежайдиган технологиялар таҳлили келтирилган. Мақолада Ўзбекистоннинг иссиқлик манбаларида энергия тежайдиган технологияларни қўллаш бўйича таклиф қилинган чора-тадбирлар самарадорлиги таҳлил қилинади, бу эса ишлаб чиқариши тармоқларининг энергия самарадорлигини оширади, шу билан бирга саноат тармоқларини модернизация қилиши дастурларини амалга оширади. Энергияни тежовчи технологияларни қўллаш бўйича таклиф қилинаётган чора-тадбирлардан бири бу физик ва маънавий жиҳатдан эскирган қозонларни янгиларига алмаштириши таклифлари бўлиб, бу муниципал барча қозонхоналарни техник қайта жиҳозлаш дастурларини ишлаб чиқишини, давлат томонидан қўллаб-қувватлашни ва унинг устидан қатъий назоратни талаб қиладиган тасдиқланган Дастурларни амалга ошириши ҳисобланади. Энергия тежайдиган технологияларни қўллашининг энг замонавий соҳаси паст потенциал иссиқликдан фойдаланиши - иссиқлик насосларини (ИН) жорий этишидир. Бу электр энергиясини сезиларли даражада тежайди, объектларга энергия таъминловчи ташиқлотга боғлиқ бўлмаган ишончли ва иқтисод қиладиган иссиқлик таъминотини беради. Когенерациядан фойдаланиши муҳим иқтисодий ва экологик афзалликларга эга. Иссиқликни утилизация қилиши орқали сувни дастлабки қиздириши мумкинлиги ёқилги харажатларини камайтиришига имкон беради.

В работе представлен проведенный анализ эффективности предлагаемых мероприятий по применению энергосберегающих технологий на теплоисточниках Узбекистана, которые позволят повысить энергоэффективность производственных линий при реализации Программ модернизации отраслей промышленности. Работа по энергоаудиту заканчивается разработкой программы по устранению потерь энергии и повышению энергоэффективности предприятия и объектов системы коммунального хозяйства. Проводится технико-экономический анализ эффективности предлагаемых мероприятий, определя-

ются сроки окупаемости, разрабатывается очередность их внедрения. Предпочтение отдается тем предложениям, которые имеют меньшие затраты и сроки окупаемости. Работа по энергоаудиту заканчивается разработкой программы по устранению потерь энергии и повышению энергоэффективности предприятий и объектов системы коммунального хозяйства.

Одним из предлагаемых мероприятий по применению энергосберегающих технологий является предложение по замене физически и морально устаревших котлов на новые, для чего требуется разработка Программ технического перевооружения по всем котельным муниципальных образований, государственная поддержка и жесткий контроль за выполнением утвержденных Программ. Наиболее современным направлением применения энергосберегающих технологий является использование низкопотенциального сбросного тепла - внедрение тепловых насосов (ТН). Это позволит значительно экономить электроэнергию, обеспечить надежное и экономичное теплоснабжения объектов, не зависеть от энергоснабжающей организации. Использование когенерации связано со значительными экономическими и экологическими преимуществами. Возможна утилизация тепла посредством предварительного подогрева питательной воды, что позволяет снизить затраты топлива.

The paper presents an analysis of the most effective energy-saving technologies at heat sources in Uzbekistan, which will improve the energy efficiency of production lines, while implementing programs for the modernization of industries. The work on the energy audit ends with the development of a program to eliminate energy losses and increase the energy efficiency of the enterprise and utility facilities. A technical and economic analysis of the effectiveness of the proposed measures is carried out, the payback periods are determined, and the sequence of their implementation is being developed. Preference is given to those proposals that have lower costs and payback periods. The paper presents an analysis of the effectiveness of the proposed measures for the use of energy-saving technologies at heat sources in Uzbekistan, which will improve the energy efficiency of production lines, while implementing the Programs for the modernization of industries. One of the proposed measures for the use of energy-saving technologies is proposals for replacing physically and morally obsolete boilers with new ones, which requires the development of technical re-equipment programs for all boiler houses of municipalities, state support and strict control over the implementation of the approved Programs. The most modern area of application of energy-saving technologies is the use of low-potential waste heat - the introduction of heat pumps (HP). This will significantly save electricity, provide reliable and economical heat supply to facilities, and do not depend on the energy supplying organization. The use of cogeneration is associated with significant economic and environmental benefits. Heat recovery is possible by preheating the feed water, which reduces fuel costs.

Введение. Для Узбекистана актуальна проблема серьезной проработки вопросов применения энергосберегающих технологий, в частности, в теплоснабжении для эффективного использования инвестиций [1]. Снижение удель-

ного энергопотребления на производство и потребление тепловой энергии до уровня мировых стандартов обеспечит проведение энергетических аудитов.

В конечном итоге работа по энергоаудиту заканчивается разработкой программы по устранению потерь энергии и повышению энергоэффективности предприятий и объектов. Проводится технико-экономический анализ эффективности предлагаемых мероприятий, определяются сроки окупаемости, разрабатывается очередность их внедрения. Предпочтение отдается тем предложениям, которые имеют меньшие затраты и сроки окупаемости.

Поиск больших и малых проектов по техническому и технологическому обновлению производства для обеспечения конкурентоспособности продукции, а также средств и источников для этого должен стать важнейшим делом и обязанностью руководителя и инженерно-технического персонала каждого предприятия [2].

Высокая энергоёмкость по-прежнему доминирует во всех секторах экономики республики [3]. Узбекистан входит в число 25 самых энергоёмких стран в основных секторах экономической деятельности: сельское хозяйство, строительство, обрабатывающая промышленность, транспорт и связь, оптовая и розничная торговля, ресторанный и гостиничный бизнес и прочие виды деятельности.

В настоящее время производственно-техническим предприятиям республики предоставляются одни из самых крупных в мире энергетических субсидий, оцениваемые приблизительно в 4 млрд. долл. в год [2, 4].

Как правило, разработанные при проведении энергоаудитов низкозатратные организационно-технические мероприятия позволяют получить в короткий срок экономию 10-15% энергии [5,6,7]. Затем следуют мероприятия с небольшими капиталовложениями и малыми сроками окупаемости. Реализация проектов с большими финансовыми затратами и сроками окупаемости переносится на более поздний период и учитывается при планировании капитальных ремонтных работ.

Основная часть. Замена физически и морально устаревших котлов на новые. Значительная часть котлов (более 60% от установленных) на предприятиях республики были введены в эксплуатацию 30-40 лет назад и выработали в два – три раза больше установленный заводами-изготовителями ресурс работы [8,9]. Котлы физически и морально устарели, их технико-экономические показатели низкие. Так, усредненные КПД котлов малой мощности составляют от 70 до 84%, при КПД современных котлов - 92-93%. Удельные расходы топлива составляют 170-230 кг.у.т/ Гкал, по сравнению с 156-157 кг.у.т/Гкал выпускаемых сегодня котлов [13,15]. Требуется проведение значительных работ по реконструкции, модернизации и замене вспомогательного оборудования котельных: электротехнической части, КИПиА, водоподготовки, зданий и сооружений. Проводимая сегодня работа по модернизации и реконструкции котельных выполняется в недостаточных объёмах. Объём ремонтных работ с каждым годом увеличивается, тратятся значительные материальные и финансовые ресурсы для поддержания оборудования в работоспособном состоянии. Состояние основного оборудования требует проведения значительных работ по их замене в противном случае следует ожидать лавинообразного снижения на 30-40% располагаемой мощности источников теплоснабжения [16,17].

С целью решения проблем по замене физически и морально устаревших котлов требуется разработка Программ технического перевооружения по всем котельным, государственная поддержка и жесткий контроль за выполнением утвержденных Программ.

Использование низкопотенциального сбросного тепла с помощью тепловых насосов. Одним из направлений использования низкопотенциального сбросного тепла является внедрение тепловых насосов (ТН). Источниками низкопотенциальной теплоты для ТН могут служить грунтовая вода, наружный воздух, тепло грунта, низкопотенциальные вторичные энергоресурсы. Использовать ТН можно для отопления зданий, коттеджей, городов.

Практическое использование ТН в республике на сегодняшний день отсутствует. Источником тепла для работы теплового насоса может служить любая проточная вода с температурой от +5 до +40°C. Чаще всего в качестве источника используются артезианские скважины, промышленные сбросы, градири-ни, незамерзающие водоемы.

Следует подчеркнуть, что ТН тратит энергию не на выработку тепла, как электрообогреватель, а только на перемещение фреона по системе. Основная часть тепла передается потребителю от источника. Этим объясняется низкая себестоимость тепла от ТН. Применение тепловых насосов для отопления показало, что ни одна котельная не в состоянии экономически конкурировать с тепловым насосом [17].

В результате теплонасосные установки стали стремительно вытеснять все остальные способы теплоснабжения. К настоящему времени масштабы внедрения тепловых насосов в мире ошеломляют:

- в Швеции 50% всего отопления обеспечивают тепловые насосы;
- в Германии предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов в размере 400 евро за каждый кВт установленной мощности;
- в Японии ежегодно производится около 3 млн. тепловых насосов;
- в США ежегодно производится около 1 млн. тепловых насосов;
- в Стокгольме 12% всего отопления города обеспечивается тепловыми насосами общей мощностью 320 МВт, использующими как источник тепла воду Балтийского моря с температурой +8 °С.

Отказаться от нерационального электрического и, в ряде случаев, централизованного отопления объектов жилищно-коммунального хозяйства, означает экономить электроэнергию, не зависеть от энергоснабжающей организации, отказаться от теплотрасс большой протяженности и, как следствие, сократить потери и затраты на их обслуживание, снизить издержки на выработку тепла и увеличить надежность теплоснабжения.

Когенерационные установки на основе конденсационных систем с отбором пара. В отличие от традиционной конденсационной электростанции, производящей только электроэнергию, в конденсационной системе с отбором пара часть пара отбирается из турбины для использования в качестве источника тепла (рис.1). Использование когенерации связано со значительными экономическими и экологическими преимуществами. Когенерационные установки комбинированного цикла обеспечивают максимально эффективное использование энергии топлива за счет одновременного производства

электрической и тепловой энергии с минимальными потерями [16]. Во многих случаях решение о внедрении когенерации определяется следующими факторами:

- принципиальным является наличие достаточных потребностей в тепле, отвечающих возможностям когенерации с точки зрения количества, температуры и т.п.;
- наличие у предприятия базисной нагрузки, т.е. уровня, ниже которого потребление электроэнергии опускается редко;
- сходный характер графиков потребностей в тепловой и электрической энергии;
- соотношение цен на топливо и тарифов на электроэнергию, обеспечивающее экономическую эффективность когенерации;
- высокий ожидаемый уровень загрузки (желательно более 4-5 тыс. час. работы при полной нагрузке в год).

В целом, применение когенерации оправдано на тех предприятиях, где имеются значительные потребности в тепле при температурах, соответствующих низкому или среднему давлению пара. При оценке потенциала производства, с точки зрения когенерации, важно убедиться в том, что нет оснований ожидать существенного сокращения потребностей в тепле. В противном случае эксплуатация системы, рассчитанной на производство избыточного тепла, окажется неэффективной.

Паровые турбины могут быть адекватным вариантом при выполнении следующих условий:

- базисная электрическая нагрузка превышает 3-5 МВт;
- существует применение для низкопотенциального пара, и требуемое соотношение электрической и тепловой энергии превышает 1:4;
- доступность недорогого топлива с невысокой торговой наценкой;
- доступность адекватной площади для размещения системы;
- наличие высокопотенциального тепла, отходящего от технологических процессов (например, от печей или мусоросжигательных установок);
- необходимость замены существующей котельной;
- необходимо сведение к минимуму соотношения электрической и тепловой энергии.

В когенерационных системах максимизация соотношения электрической и тепловой энергии требует минимизации уровня противодавления и максимизации уровня высокого давления.

Предварительный подогрев питательной воды в котельной. Как правило, вода, подаваемая в котел из деаэратора, имеет температуру 105 °С. Вода, находящаяся внутри котла, имеет более высокие давление и температуру. Поступающая в котел вода состоит из возвратного конденсата, а также подпиточной воды для восполнения потерь. Возможна утилизация тепла посредством предварительного подогрева питательной воды, что позволяет снизить затраты топлива. Предварительный подогрев может быть организован несколькими способами:

- с использованием отходящего тепла (например, от какого-либо технологического процесса): питательная вода может подогреваться за счет имеющегося

потока отходящего тепла, например, с использованием водо-водяного теплообменника;

- с использованием экономайзера: экономайзер ((1) на рис.1) представляет собой теплообменник, позволяющий снизить расход топлива за счет передачи тепла дымовых газов питательной воде, поступающей в котел;

- с использованием деаэрированной питательной воды: в дополнение к перечисленным методам, возможен предварительный подогрев конденсата, поступающего в деаэратор ((2) на рис.1), за счет тепла деаэрированной воды. Питательная вода, поступающая из резервуара для сбора конденсата ((3) на рис.1), имеет меньшую температуру, чем вода, уже прошедшая деаэрацию. С помощью теплообменника можно организовать передачу части тепла от деаэрированной питательной воды конденсату, поступающему в деаэратор. Как следствие, температура деаэрированной питательной воды, поступающей в экономайзер ((1) на рис.1) оказывается ниже. Это способствует более эффективному использованию тепла дымовых газов и снижению их температуры, поскольку теплопередача происходит при большей разнице температур. Одновременно это позволяет снизить расход пара на деаэрацию, поскольку температура поступающего в деаэратор конденсата оказывается выше.

Перечисленные меры могут способствовать общему повышению энергоэффективности (КПД), т.е., снижению расхода топлива на получение определенного количества пара. Объемы энергосбережения, которые могут быть достигнуты за счет этих мер, зависят от температуры дымовых газов (или технологического процесса, тепло которого используется для подогрева), выбора теплообменных поверхностей и, в значительной степени, от давления пара.

Согласно широко распространенному представлению, использование экономайзера способно повысить КПД производства пара на 4 %. Для обеспечения непрерывной работы экономайзера следует регулировать подачу воды.

К возможным недостаткам указанных четырех методов относится то, что их реализация требует дополнительного пространства для установки оборудования, а возможности для их использования сокращаются по мере увеличения сложности технологических процессов.

Как правило, температура дымовых газов превышает температуру насыщенного пара примерно на 70°C. Для типичных промышленных паровых котлов температура дымовых газов составляет 180°C. Нижний предел температуры этих газов определяется соответствующей точкой росы, которая зависит от используемого топлива и, в частности, от содержания в нем серы. Эта величина составляет примерно 160°C для тяжелого мазута, 130°C для легкого мазута, 100°C для природного газа и 110°C для твердых отходов. В котлах, использующих в качестве теплоносителя термомасла, имеет место более интенсивная коррозия, и конструкция экономайзера должна предусматривать возможность замены соответствующих деталей. Коррозия деталей экономайзера усиливается, если температура дымовых газов падает существенно ниже точки росы, что может иметь место в случае значительного содержания серы в топливе.

Экономайзеры часто оборудуют обводным газоходом, позволяющим пустить часть дымовых газов в обход экономайзера в случае недопустимого снижения температуры газов в трубе. Как правило, каждые 20÷40°C снижения тем-

температуры дымовых газов соответствуют повышению КПД системы примерно на 1%. Это означает, что, в зависимости от температуры газа и перепада температур на входе и выходе теплообменника, можно достичь повышения КПД на величину до 6-7%. Как правило, температура питательной воды, прошедшей через экономайзер, увеличивается со 103 до примерно 140 °С.

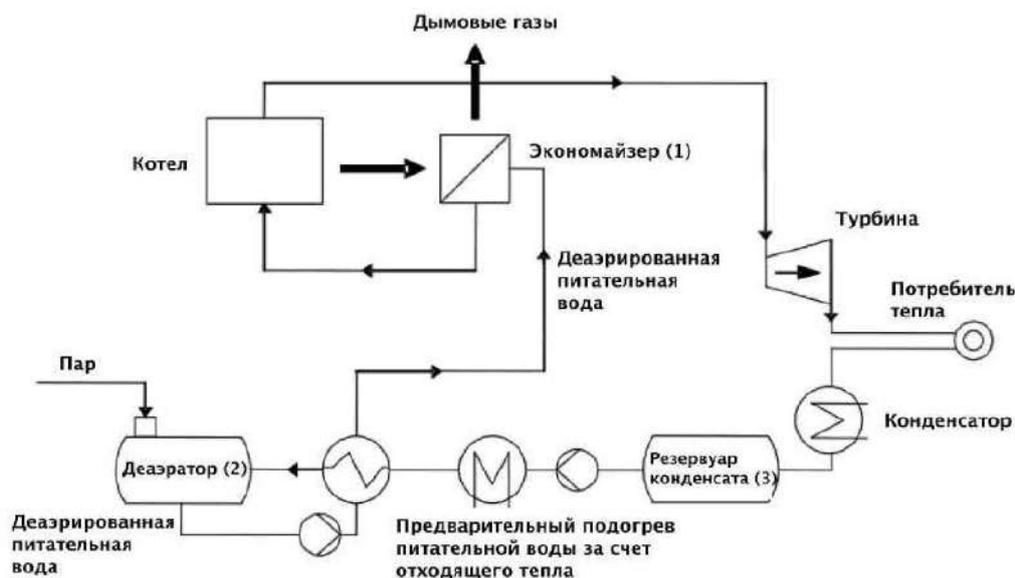


Рис.1. Предварительный подогрев питательной воды посредством установки теплообменника на входе в деаэризатор с целью предварительного подогрева поступающей питательной воды за счет конденсации пара, используемого для деаэрации

На предприятиях с высокой мощностью парогенерирующих систем подогрев питательной воды при помощи экономайзера является стандартной практикой [19,21]. Однако и в этой ситуации возможно добиться повышения КПД до 1% посредством увеличения разницы температур. Использование отходящего тепла других технологических процессов также является реальным вариантом для большинства предприятий. Потенциал для эффективного применения этого метода существует и на предприятиях с относительно невысокой мощностью парогенерирующих систем.

Потенциал энергосбережения в результате организации предварительного подогрева питательной воды с помощью экономайзера зависит от ряда факторов, включая потребности конкретного производства, состояние дымовой трубы и характеристики дымовых газов.

Окупаемость соответствующих инвестиций в условиях конкретной паровой системы зависит от времени работы системы, фактических цен на топливо и географического положения предприятия.

На практике потенциал энергосбережения в результате предварительного подогрева питательной воды достигает нескольких процентов от общей энергии производимого пара.

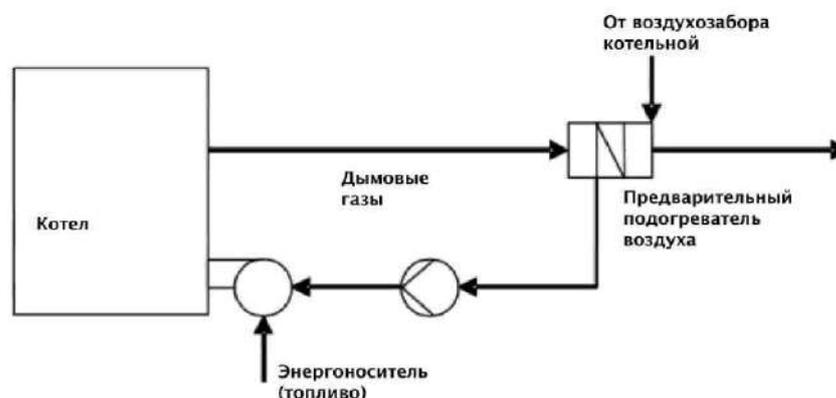


Рис.2. Схема системы сжигания с предварительным подогревом воздуха

Поэтому даже для небольших котлов возможно энергосбережение в объеме нескольких гигаватт-часов в год. Например, для котла мощностью 15 МВт можно достичь экономии в объеме примерно 5 ГВт·ч/год, экономического эффекта в размере около 60 тыс. евро в год и сокращения выбросов CO₂ примерно на 1 тыс. т/год [17]. Поскольку результаты пропорциональны масштабам установки, крупные предприятия могут добиться большего эффекта. Во многих случаях температура дымовых газов, поступающих их котла в трубу, превышает температуру производимого пара на 100-150 °С. Как правило, снижение температуры дымовых газов на каждые 20-40 °С позволяет повысить КПД котла на 1%. За счет утилизации отходящего тепла экономайзер во многих случаях может обеспечить сокращение расхода топлива на 5-10% и обеспечить собственную окупаемость менее чем за два года. Потенциал энергосбережения за счет снижения температуры дымовых газов продемонстрирован в табл. 1.

Таблица 1

Примерный потенциал утилизации тепла дымовых газов котла

Исходная температура дымовых газов, °С	Утилизируемое тепло, кВт			
	Тепловая мощность котла, кВт			
	7322	14640	29290	58550
205	381	762	1552	3105
260	674	1347	2694	5389
315	967	1904	3807	7644

Примечание: в предположении использования природного газа в качестве топлива, 15% избытка воздуха и конечной температуры дымовых газов 120°С.

Выводы. Достижимый эффект от снижения удельного энергопотребления на производство и потребление тепловой энергии до уровня мировых стандартов позволит обеспечить энергетическую и экологическую безопасность страны. В работе представлен анализ наиболее эффективных энергосберегающих технологий на теплоисточниках Узбекистана, которые позволят повысить энергоэффективность производственных линий, при реализации Программ модернизации

отраслей промышленности. Остальные энергосберегающие технологии будут освещены в следующих публикациях.

Литература

1. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. - Т.:2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
2. Постановление Президента РУз «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах». № ПП 1442 от 15.12.2010 г.
3. Проект ПРООН / Министерство экономики. Проект «Поддержка Узбекистан в переходе на путь низкоуглеродного развития национальной экономики». Семинар. 23.02.2012: www.minesonpomy.uz/cdm.
4. Азиатский Банк Развития. Проект «Техническое содействие Республике Узбекистан в оценке энергетических потребностей» 2004 год.
5. Концептуальные положения и направления развития использования возобновляемых источников энергии для производства электрической и тепловой энергии в Узбекистане на долгосрочную перспективу. Документ разработан ГАК «Узбекэнерго» 2011.
6. Анализ основных тенденций систем теплоснабжения/ Башмаков И.А. http://solex-un.ru/sites/solex-n/files/energo_files/teplosnabzhenie_i.bashmakov.pdf.
7. Короли М.А., Анарбаев А.И. Комплекс технических мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплоснабжения г. Ташкента. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения 2013. - №1-2, Ташкент. - 86 с.
8. Папушкин В.Н., Тасенко Т.Н., Башмаков И.А., Апехтин В.В., Гаврилов С.Н. Система оказания надежных и энергоэффективных коммунальных услуг. - М.ПРООН. 2004.
9. Короли М.А. Пути совершенствования централизованного теплоснабжения. /Материалы 7-й Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. -Санкт-Петербург, Россия, 2014.
10. Анарбаев А.И., Короли М.А., Утепова А. Экологическое состояние и перспективные солнечные технологии в теплоэнергетике Узбекистана. //Информационно-аналитический и научно-практический журнал Госкомприроды РУз «Экологический вестник». 2011.№4-5/04/. -21-26 с.
11. Отчет по проекту “Пилотный демонстрационный проект по внедрению теплометрических систем на объектах теплоснабжения и передачи тепла”. Проект ТАСИС EUZ9802, Ташкент, 2002.
12. Зайдлер П., Короли М.А., Миронова О.А. К вопросу эффективности независимых систем отопления. /Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук, сб. научных трудов в.1, Ташкент 2002. - 65 с.
13. Энергоаудит и нормирование расходов энергоресурсов. Сборник методических материалов. НИЦЭ. Нижний Новгород. 1998. 64 с.
14. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50. -М.: Данфосс, 2014. -63 с.
15. Короли М.А, Анарбаев А.И. Развитие сектора теплоснабжения в Узбекистане. /Статья в коллективной монографии. г.Миасс. Россия. 2018.

16. Короли М.А., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Научные основы схемно-технологической оптимизации солнечно-топливных котельных. Монография. ЦРНС, - Новосибирск. 2016. - С.106.
17. Ольховский Г. Г. Газовые турбины для энергетики. //Теплоэнергетика, 2004. -№ 1. -С.33-43
18. Короли М.А., Ишназаров О.Х., Анарбаев А.И. Исследование вопросов внедрения частотно-регулируемого управления электроприводами на оборудовании котельной./ Сборник трудов на Международной научно-практической конференции «Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». -Благовещенск, 2015. -С.273-275
19. Короли М.А., Анарбаев А.И. Расчет экономии топлива от внедрения регулируемого электропривода дутьевого вентилятора котлоагрегата. /Сборник трудов на Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018», 24 – 27 сентября 2018. Севастополь.
20. Короли М.А., Анарбаев А.И., Утепова А. Вопросы оптимизации режимов работы комбинированной солнечно-топливной котельной./Республиканская научно-техническая конференция «Современные проблемы энергетики и использование возобновляемых источников энергии. ТГТУ. 15-16 октябрь. 2010. Ташкент. -С.138-142
21. Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В. Оценка энергетической эффективности и изменения показателей работы системы теплоснабжения с учетом поэтапного внедрения автоматических узлов учета и регулирования тепловой энергии на потребителях /VII международная научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и техно-логии».-North Charleston, SC, USA: Create Space, 2015-Том 2. -С.131-133.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.8.697

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ИСПАРИТЕЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Х.С. Исаходжаев, Ф.Ш. Умарджанова, Ш.С. Мавжудова

Мақолада иссиқлик оқими жараёнларини турли хил шароитлар учун иссиқлик ва масса алмашинув масалалари ва тенгламалари кўриб чиқилган. Иссиқлик алмашинув насадка каналларида содир бўладиган суюқлик бевосита буғланиши иккита манбадан иборат иссиқлик ва масса узатиши жараёнлари эканлиги ёритилган: бир томондан барқарор режимда буғланаётган суюқлик оқими зичлиги ўринни тўлдирувчи оқим зичлигига тенг; бошқа томондан оқим ўрни иссиқликка тегишли, яъни “нам” каналлар бир-бирига ёнма-ён бўлиши ва буғ-газ муҳитини билвосита совитишидир. Иссиқлик оқимларини аниқлаш учун ҳарорат майдони, тезликлар ва оқим массалари кўриб чиқилди. Тенгламаларни натижасини чиқаришда ярим ўтказувчанлик қобилияти шартларини ҳисобга олган ҳолда амалга оширилади. Бу ҳаво оқимлари учун ёпиқ бўлиб, буғни суюқлик сиртида эркин ҳаракатланиши билан боғлиқ. Бундан ташқари, пластина баландлиги бўйича иссиқлик ва масса узатиши жараёнлари содир бўладиган ўхшашлик, яъни пластина баландлиги бўйича дифференциал юпқа қатлам барқарорлиги ва бу координаталардаги майдон тезлиги доимий деб ҳисобга олинади. Барқарор режимда иссиқлик мувозанат тенгламалари ва dx , dy томонидан қўзғалмайдиган элементар майдонда ҳаракатга келувчи бинар аралашмалар таҳлил қилинган. Таклиф этилган иш натижаси параболик типдаги хусусий ҳосилалар тенгламалар ҳисобланади, ҳамда иссиқлик алмашинув насадка каналларида содир бўладиган иссиқлик ва масса узатиши жараёнларини тавсифловчи тенгламалар олинди. Параболик типдаги хусусий ҳосилалар тенгламалар асосида буғлатиб совитишда иссиқлик ва масса узатиши жараёнини математик модели ишлаб чиқилди.

В статье рассмотрены вопросы тепло- и массообмена, а также уравнения разных условий протекания тепловых процессов. Описаны процессы теплопереноса, происходящие в каналах теплообменной насадки прямого испарения жидкости из двух источников. В одном случае, в стационарном состоянии поток тепла подводится от потоков жидкости, при этом предполагается, что плотность потока испарившейся жидкости равна плотности потока восполняющейся; в другом случае имеет место поток тепла, когда продольная плоскость симметрии пластин является плоскостью симметрии для тепловых потоков; что выполняется, когда «мокрые» каналы соседствуют друг с другом и косвенным охлаждением парогазовой среды. Для определения тепловых потоков рассмотрены поля температур, скоростей и потоков массы. Вывод уравнений проводился при учете условий полупроницаемости. Имеется ввиду свободное прохождение поверхности паром жидкости, которая закрыта для потоков воздуха. Кроме того, учитывается однородность происходящих процессов теплопереноса по высоте пластины, что следует из по-

стоянства скорости по этой координате и устойчивости дифференциально тонкого слоя по высоте пластины. Анализированы движущаяся бинарная смесь с неподвижной элементарной площадкой со сторонами dx , dy и уравнение теплового баланса в стационарном режиме. Получены уравнения, описывающие процессы теплопереноса, происходящие в каналах теплообменной насадки, которые являются уравнениями с частными производными параболического типа. Разработана математическая модель процесса теплопереноса при испарительном охлаждении на основе уравнения с частными производными параболического типа.

The article discusses the issues of heat and mass transfer and equations for different conditions of heat processes. The processes of heat-masses occurring in the heat exchange nozzle channels of direct evaporation of the liquid from two sources are described: on the one hand, in the stationary state, it is supplied from the threads of the replenished fluid, while it is assumed that the density of the stream of the evaporated fluid is equal to the flow density of the foil; On the other hand, there is a flow of heat that the longitudinal plane of symmetry of the plates is the plane of symmetry for thermal flows, which is performed when "wet" channels are adjacent to each other and indirect steam-gas. To determine heat flows, temperature fields, velocity and mass flows are considered. The output of the equations was carried out when taking into account the conditions of semi-perception. It is due to the free passage of the surface of the ferry of the liquid, which is closed for air flow. In addition, the uniformity of the testing processes of heat and mass transfer in height of the plate is taken into account, which follows from the constancy of the velocity field along this coordinate and the stability of the differential thin layer in the height of the plate. The moving binary mixture was analyzed by a fixed elementary platform with sides dx dy and the thermal balance equation in the stationary mode. The equations describing the processes of heat and mass transfer occurring in the heat exchange nozzles channels are equations with partial derivatives of parabolic type as a result of the assumptions of work. A mathematical model of the heat and mass transfer process has been developed during evaporative cooling based on the equation with partial derivatives of parabolic type.

Испарение жидкости со свободной поверхности вызывается тепловым движением молекул в жидкости. Отдельные молекулы, обладающие наибольшей кинетической энергией, преодолевают поверхностное натяжение и вырываются в окружающую среду. Одновременно происходит и обратное явление: некоторые молекулы пара, находящиеся в пространстве над жидкостью, сталкиваясь с поверхностью жидкости, возвращаются в последнюю. Если парообразование жидкости происходит в незамкнутом пространстве, то часть вырвавшихся молекул путем молекулярной и молярной диффузии распространяются в окружающей среде и окончательно теряются жидкостью.

На испарение жидкости затрачивается тепло в количестве $R \cdot J$, где R – удельная теплота парообразования $\left(\frac{Дж}{кг}\right)$, J – плотность потока пара $\left(\frac{кг}{м^2 \cdot с}\right)$. В случае прямого испарения оно черпается из двух источников: с одной стороны,

подводится с потоков восполняющейся жидкости величиной $C_{ж} \cdot J \cdot (t_{ж} - t_{nn})$, где $t_{ж}$ – температура поступающей жидкости, t_{nn} – температура поверхности пластин. При этом предполагается, что в стационарном состоянии плотность потока испарившейся жидкости равна плотности потока восполняющейся. С другой стороны имеет место поток тепла $q = \alpha \cdot (t - t_{nn})$, где t – температура потока вдали от поверхности, α – коэффициент теплоотдачи поверхности пластин. Поэтому:

$$R \cdot J = \alpha \cdot (t - t_{nn}) + C_{ж} \cdot J \cdot (t_{ж} - t_{nn}). \quad (1)$$

Соотношение (1) будет выполняться при условии, что продольная плоскость симметрии пластин является плоскостью симметрии для тепловых потоков, что выполняется, когда «мокрые» каналы соседствуют друг с другом. Это наблюдается в охладителях прямого действия.

В случае косвенного охлаждения, помимо потока тепла $q^m = \alpha^m \cdot (t - t_{nn})$ от парогазовой среды «мокрых» каналов имеет место третий источник тепла – парогазовой поток в «сухих» каналах (плотность потока $q^c = \alpha^c \cdot (t^c - t_{nn}^c)$; α^m – коэффициент теплоотдачи на «мокрой» поверхности $\frac{Bm}{m^2 \cdot K}$; t_{nn} – температура «мокрой» поверхности пластин Аналогично, для «сухого» канала α^c и t_{nn}^c – соответственно, коэффициент теплоотдачи и температура «сухой» поверхности пластин; t и t^c – температуры вспомогательного и основного потоков вдали от поверхности. Теперь:

$$R \cdot J = q^m + q^c + C_{ж} \cdot J \cdot (t_{ж} - t_{nn}). \quad (2)$$

Выделим в движущейся бинарной смеси неподвижную элементарную площадку со сторонами dx , dy (рис. 1) и запишем для нее уравнение теплового баланса в стационарном режиме.

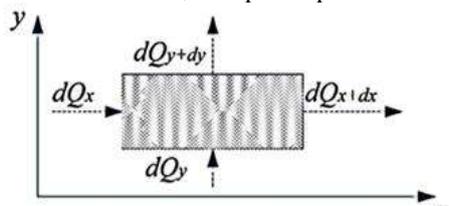


Рис. 1. К выводу уравнения энергии. За ось X – обозначена длина канала, за ось Y – сечение канала

Для определения тепловых потоков необходимо знать поля температур, скоростей и потоков массы. Вывод уравнений будет проводиться при учете условий полупроницаемости. Имеется ввиду свободное прохождение поверхности паром жидкости, которая является закрытой для потоков воздуха. Кроме того, учитывается однородность происходящих процессов тепломассопереноса по высоте пластины, что следует из постоянства поля скорости по этой координате и устойчивости дифференциально тонкого слоя по высоте пластины. Источники тепла отсутствуют, диссипация пренебрегается. Зависимости для физических параметров рассмотрены в источниках [1÷5].

Вдоль оси X за единицу времени вносится тепло $dQ_x = q_x \cdot dy$ и вытекает $dQ_{x+dx} = q_{x+dx} \cdot dy$. После разложения q_{x+dx} в ряд Тейлора, ограничившись первыми двумя членами, получим:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} \cdot dx.$$

Тогда разность между теплом, поступившим в выделенный объем и вытекшим из него в направлении оси X определяется выражением:

$$dQ_x - dQ_{x+dx} = \frac{dq_x}{dx} \cdot dy \cdot dx.$$

Аналогично для оси Y $dQ_y - dQ_{y+dy} = \frac{dq_y}{dy} \cdot dx \cdot dy.$

Тогда общее изменение энергии элементарного участка парогазовой смеси составит:

$$dQ = - \left[\frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} \right] \cdot dx \cdot dy.$$

Учитывая, что в стационарном режиме энтальпия выделенного элементарного участка парогазовой смеси не меняется, и в силу произвольности dx и dy ,

получим:
$$\frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} = 0. \quad (3)$$

Тепловые потоки q_x и q_y определяются общими уравнениями

$$q_x = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} + \rho \cdot V_x \cdot i + J_x \cdot (i_n - i_e), \quad (4)$$

$$q_y = -\lambda \cdot \frac{dt}{dy} + \rho \cdot V_y \cdot i + J_y \cdot (i_n - i_e). \quad (5)$$

В правых частях первые члены учитывают перенос тепла теплопроводностью, вторые – конвекцией, третьи – молекулярной диффузией. Здесь i – энтальпия потока воздуха $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$, i_n и i_e – соответственно, энтальпия пара и сухого воздуха $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

В условиях реальных скоростей в уравнении (4) переносом тепла теплопроводностью и диффузией можно пренебречь по сравнению с членом, учитывающим конвекцию. Для упрощения уравнения (5) заметим, что $V_y = 0$. Тогда тепловые потоки

$$q_x = \rho \cdot V_x \cdot i, \quad (6)$$

$$q_y = -\lambda \cdot \frac{dt}{dy} + J_y \cdot (i_n - i_e), \quad (7)$$

где J_y обозначена плотность поперечного потока пара. Как отмечалось в [6÷11], молекулярный перенос будет существенно определяться концентрационной диффузией:

$$J = -D \cdot \left(\frac{d\rho_n}{dy} \right). \quad (8)$$

Подставляя уравнения (6) и (7) для плотностей потока в направлениях осей координат в уравнение (3) получим:

$$\frac{d}{dx} [\rho \cdot V_x \cdot i] + \frac{d}{dy} \left[-\lambda \cdot \left(\frac{dt}{dy} \right) \cdot i + J_y \cdot (i_n - i_e) \right] = 0. \quad (9)$$

Для преобразования уравнения будем считать, что скорость вдоль оси X не зависит от x , а является функцией поперечной координаты y : $V_x = V(y)$. Кроме того, известно, что $i = C \cdot t$; (C – теплоемкость при постоянном давлении), а также теплопроводность и теплоемкость практически не меняются на отрезке приращения.

$$\text{В результате: } \rho \cdot V(y) \cdot C \cdot \frac{dt}{dx} = \lambda \cdot \left(\frac{d^2 t}{dy^2} \right) + (C_e - C_n) \cdot \frac{d}{dy} [J \cdot t], \quad (10)$$

Уравнение энергии в «сухих» каналах вследствие отсутствия массопереноса примет вид:

$$\rho_e \cdot V(y) \cdot C_e \cdot \frac{dt}{dx} = \lambda_e \cdot \left(\frac{d^2 t}{dy^2} \right). \quad (11)$$

Оба уравнения также могут быть получены из общего уравнения смеси. Упрощения производятся в результате предположений:

- смесь является смесью идеальных газов, для которой внутренняя энергия представима $U = C_v \cdot T$, где C_v – теплоёмкость при постоянном объёме, T – температура в K ;

- коэффициенты C_p и λ не зависят от координат;

- давление при стабилизированном течении постоянно по сечению и изменяется только по длине;

- скорость $V_x = V(y)$, $V_y = 0$;

- при скорости потока, не прерывающей 0,3 скорости звука [12÷17] $\frac{dp}{dt}$ ма-

ло по сравнению с другими членами и может не учитываться;

- диссипацией пренебрегают.

Уравнение массообмена стандартно. Оно вытекает из уравнения диффузии (сохранения массы компонента смеси) при учете указанных выше кинематических характеристик парогазовой среды и стационарности процесса:

$$V(y) \cdot \frac{d\rho_n}{dx} = D \cdot \frac{d^2 \rho_n}{dy^2}. \quad (12)$$

Уравнение для определения V_x составляющей вектора скорости, используемое в моделях:

$$V_x = 1,5 \cdot V_{cp} \cdot \left[1 - \frac{(y-h)^2}{h^2} \right], \quad (13)$$

где V_x – средняя скорость парогазовой смеси, определенная через расход и «живое» сечение испарительной насадки, h – половина сечения канала. Это уравнение получается из уравнения скорости потоков в плоских каналах при ламинарном течении [18]:

$$\frac{d^2 V_x}{dy^2} = -\frac{\Delta P}{\mu \cdot l}; \quad (14)$$

где l – длина пластины, ΔP – перепад давления по длине. Интегрированием, подстановкой условий четности на оси симметрии канала

$$\frac{dV_x}{dy}|_{y=h} = 0, \quad (15)$$

и прилипания на поверхности пластин $V_x|_{y=h} = 0$, получаем выражение для проекции вектора скорости:

$$V_x = \frac{\Delta P \cdot h^2}{\mu \cdot l} \cdot \left[1 - \frac{(y-h)^2}{h^2} \right]. \quad (16)$$

Средняя по сечению скорость определяется по формуле:

$$V_{cp} = \frac{1}{h} \cdot \int_0^h V_x \cdot dx = \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta P \cdot h^2}{\mu \cdot l}. \quad (17)$$

С учётом последней получаем уравнение (13) для определения V_x .

Таким образом, созданная математическая модель процессов теплопереноса при испарительном охлаждении, происходящих в каналах теплообменной насадки, основана на уравнениях с частными производными параболического типа.

Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 461 с.
2. Лобасова М.С., Финников К.А., Миловидова Т.А. и др. Теплообмен. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 295 с.
3. Готовский М.А., Суслов В.А. Теплообмен в технологических установках ЦБП. СПб ГТУ РП. СПб, 2012. – 120 с.
4. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия, 1967. – 411 с.
5. Маслов В.П., Данилов В.Г., Волосов К.А. Математическое моделирование процессов теплопереноса. – М.: Наука, 1987. – 352 с.
6. Федуллова Л.И. К вопросу о моделировании процессов теплопереноса в испарительных теплообменниках / Тезисы докладов международных научно-практических конференций молодых ученых и специалистов. – Воронеж: ВГАУ, 1996. – С. 167-168.
7. Usmonov N.O., Mavjudova Sh.S., Boliyev B.B. Mathematical model of the thermal humidifying air treatment in the nozzle chamber // Technical science and innovation – Tashkent, 2020. №2, – 166-171 pp.
8. Гаранов С.А., Волокитин А.Б., Бионышев О.Б. Применение в системах кондиционирования воздуха «косвенно-испарительного чиллера» // Вестник МосГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – №5(5). – С. 170-178.

9. Захидов Р.А., Усмонов Н.О., Исаходжаев Ф.Ш., Исмаилов Х.А. Обзор испарительного охладителя в системах кондиционирования воздуха // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – 2020. – №3-4. – С. 133–137.
10. Усмонов Н.О., Мавжудова Ш.Ф., Мухтаров Ф.Х. Математическое моделирование охладителя воздуха прямого испарительного типа // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент. – 2020. – №2. – С. 37-42.
11. Усмонов Н.О., Исаходжаев Х.С. Повышение эффективности охлаждения оборотной воды в испарительных охладителях с псевдооживленным слоем // Вестник Московского энергетического института. 2019, –№2. –С. 51-55.
12. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. – М.: Машиностроение, – 1978. – 264 с.
13. Дыскин Л.М. Обоснование, разработка и повышение эффективности систем осушки и кондиционирования воздуха с использованием вихревых труб: автореф. дисс. д.т.н.; 05.04.03 / Дыскин Лев Матвеевич. – Л.: – 1990. – 36 с.
14. Богословский В.Н. Строительная физика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
15. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение при кондиционировании микроклимата гражданских зданий: автореф. дисс. д.т.н.; 05.23.03 / Кувшинов Юрий Яковлевич. – М.: - 1989. – 38 с.
16. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1971. – 460 с.
17. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 367 с.
18. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия, 1967. – 411 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.8

**РАЗРАБОТКА НОВОГО ИСПАРИТЕЛЬНОГО
ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ ИЗ ПОЛЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН****Н.О. Усмонов, И.О. Тошпулатов, С.К. Ярашов, Д.Т. Рахматов**

Мавжуд бўлган буг компрессорли совитиши тизимлари иссиқ ва қуруқ шароитда юқори энергия сарфи ва ишлаб чиқариши унумдорлиги пастлиги билан боғлиқ камчиликларга эга. Ҳозирги кунда юқори энергия самарадор ва экологик хавфсиз совитиши тизимини ишлаб чиқиши илмий мавзуси бўлиб қолмоқда. Буглатиб совитиши тизими экологик жиҳатдан қулайлиги, тузлишининг соддалиги, ва бирламчи энергия сарфи камлиги туфайли кўплаб тадқиқотчилар эътиборини тортмоқда. Бевосита буглатиб совитиши тизимиқуйидаги тамойил асосида ишлайди: кирувчи қуруқ ва иссиқ ҳаво айланма сув билан бевосита алоқа қилади, сувнинг бугланишига олиб келади, ва мос равишда ҳаво ҳарорати пасаяди. Буг шаклида бугланган сув ҳавога сингиб кетади, бу эса чиқаятган ҳавони намлигини оширади. Шу муносабат билан мақолада бўш толали буглатиб совитиши тизимида иссиқлик ва масса алмашуви кўриб чиқилган, ҳамда тажриба синов қурилмаси ишлаб чиқилди. Таклиф этилаётган янги буглатиб совитиши қурилмасига кирувчи ҳарорати қуруқ термометр бўйича ва нисбий намлиги турлича бўлган ҳаво параметрлари билан синовдан ўтказилди. Қуруқ термометр бўйича чиқувчи ҳаво ҳароратини ўзгариши нам термометр бўйича самарадорлиги, шудринг нуқтаси самарадорлиги, ва совитиши қобилиятини ўзгариши қуруқ термометр бўйича кирувчи ҳаво ҳароратининг ўзгариши орқали ўрганилади. Қурилмага кирувчи ҳаво қуруқ термометр бўйича ҳароратни ошириши чиқувчи ҳаво ҳароратини, совитиши қобилиятини нам термометр бўйича самарадорлиги ва шудринг нуқтасини оширишига олиб келади. Агар кирувчи ҳавони қуруқ термометр бўйича ҳарорати ва нисбий намлигини ошириб бир хилда ушлаб турилса, совитиши қобилиятини нам термометр бўйича самарадорлигини ва шудринг нуқтасини пасайишига олиб келади.

Действующая парокомпрессионная система имеет недостатки, связанные с интенсивным энергопотреблением и низкой производительностью в сухом и жарком климате. В настоящее время, разработка более энергоэффективных и экологически безопасных систем охлаждения остается важной темой научных исследований. Система испарительного охлаждения привлекает большое внимание исследователей в связи с тем, что она более экологична, имеет простую конструкцию и меньшее потребление первичной энергии. Система прямого испарительного охлаждения работает по следующему принципу: входящий горячий и сухой воздух напрямую контактирует с циркулирующей водой, вызывая испарение воды, и температура воздуха, соответственно, снижается. Испарившаяся вода в виде пара будет абсорбирована воздухом, что приведет к увеличению влажности выходящего воздуха. В статье рассмотрен теплообмен в системе испарительного охлаждения из полых волокон и разработан

лабораторный экспериментальный испытательный стенд. Эксперименты проводились для предлагаемой системы испарительного охлаждения с различными температурами воздуха на входе по сухому термометру и различной относительной влажностью воздуха на входе. Изменения температуры выходящего воздуха по сухому термометру, эффективности по влажному термометру, эффективности точки росы и охлаждающей способности изучались путем изменения температуры входящего воздуха по сухому термометру. Повышение температуры воздуха по сухому термометру на входе приводит к увеличению: температуры воздуха на выходе по сухому термометру, охлаждающей способности, эффективности влажного термометра и точки росы. Если поддерживать постоянную температуру по сухому термометру на входе и увеличить относительную влажность воздуха на входе это - приведет к снижению охлаждающей способности, эффективности влажного термометра и точки росы.

The current vapor compression system has disadvantages associated with high energy consumption and low performance in dry and hot climates. Present tense the development of more energy efficient and environmentally friendly cooling systems remains a research topic. The evaporative cooling system is attracting a lot of research attention due to the fact that it is more environmentally friendly, has a simpler design and less primary energy consumption. The direct evaporative cooling system works according to the following principle: the incoming hot and dry air contacts the circulating water directly, causing the water to evaporate, and the air temperature decreases accordingly. The evaporated water in the form of steam will be absorbed into the air, which will increase the humidity of the outgoing air. In this regard, the article discusses heat and mass transfer in the evaporative cooling system of hollow fibers and developed a laboratory experimental test bench. Experiments were carried out on the proposed new evaporative cooling system with different inlet dry bulb temperatures and different inlet relative humidity. Changes in outlet dry bulb temperature, wet bulb efficiency, dew point efficiency, and cooling capacity were studied by changing the inlet dry bulb temperature. An increase in inlet dry bulb temperature will result in an increase in outlet dry bulb temperature, cooling capacity, wet bulb efficiency, and dew point. If the inlet dry bulb temperature is kept constant, an increase in the inlet RH will result in a decrease in cooling capacity, wet bulb efficiency and dew point.

Введение. Современная широко используемая система сжатия пара играет доминирующую роль на мировой рынке. Однако парокомпрессионная система имеет недостатки, связанные с интенсивным энергопотреблением и низкой производительностью в сухом и жарком климате. Более того, возможная утечка хладагентов с высоким потенциалом глобального потепления, что еще больше способствует глобальному потеплению и другим, связанным с ним экологическим и социальным изменениям. Следовательно, разработка более энергоэффективных и экологически безопасных систем охлаждения остаётся актуальной темой научных исследований [1].

Тепломассообмен в системе испарительного охлаждения из полых волокон. Как показано на рис. 1, входящий горячий и влажный воздух контактирует с пористым пучком полых волокон, внутри которого протекает вода. Когда вода

испаряется на порах полого волокна, она отбирает тепло из входящего воздушного потока, вызывая падение его температуры.

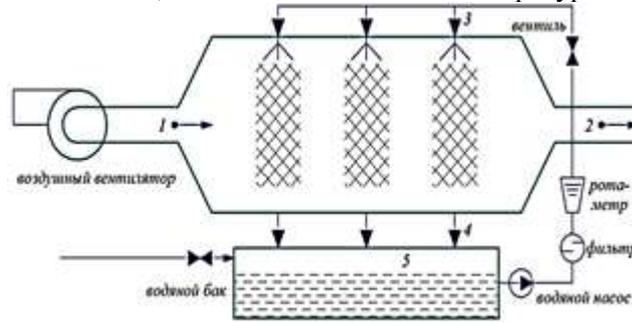


Рис. 1. Принципиальная схема интегрированной системы испарительного охлаждения из полых полимерных волокон: 1 – приточный воздух, 2 – вытяжной воздух, 3 – форсунка, 4 – поддон, 5 – бак для воды, 6 – насадка из полимерных волокон

Холодопроизводительность ($Q_{\text{холод}}$) системы испарительного охлаждения может быть задана изменением ощущаемой энтальпии воздуха, т.е.:

$$Q_{\text{холод}} = m_a * C_{pa} * (T_1 - T_2) = \frac{C_{pa} * \rho_a * V * (T_1 - T_2)}{3.6}; \quad (1)$$

где m_a – массовый расход поступающего воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{с}}$), C_{pa} – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении ($\frac{\text{кДж}}{\text{кг} * \text{К}}$), T_1 – температура поступающего воздуха по сухому термометру ($^{\circ}\text{C}$), T_2 – температура выходящего воздуха по сухому термометру ($^{\circ}\text{C}$), ρ_a – плотность воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), V – объемный расход поступающего воздуха ($\frac{\text{м}^3}{\text{час}}$).

Скорость испарения воды составляет:

$$m_e = m_a * (\omega_2 - \omega_1); \quad (2)$$

где m_e – поток испарившейся воды ($\frac{\text{кг}}{\text{час}}$), m_a – массовый расход поступающего воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{час}}$), ω_1 – коэффициент влажности входящего воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$), ω_2 – коэффициент влажности выходящего воздуха ($\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$).

Предполагая, что потери тепла незначительны, охлаждающая способность системы испарительного охлаждения будет равна скорости теплопередачи (Q) между воздушным потоком и влажной поверхностью волокна, которую можно представить как произведение коэффициента теплопередачи и среднего логарифмического разности температур (ΔT). Точно так же скорость испарения воды (m_e) также может быть задана как произведение коэффициента массопереноса и средней логарифмической разности плотности водяного пара (ρ_v). Их можно выразить следующими двумя уравнениями:

$$Q = h_H * \Delta T * A_s = q * A_s; \quad (3)$$

$$m_e = h_M * \Delta \rho_v * A_s = N * A_s; \quad (4)$$

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

где h_H – коэффициент теплопередачи $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$, h_M – коэффициент массообмена $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$, q – тепловой поток $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$, N – массовый поток $\left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right)$, A_s – общая площадь полимерных полых волокон (м^2) .

Средняя логарифмическая разница температуры (ΔT) и плотность водяного пара $(\Delta \rho_V)$ может быть рассчитана с использованием следующих уравнений:

$$\Delta T = \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{T_2 - T_{wb}}{T_1 - T_{wb}}}, \quad (5)$$

$$\Delta \rho_V = \frac{\rho_{V2} - \rho_{V1}}{\ln \frac{\rho_{V2} - \rho_{wb}}{\rho_{V1} - \rho_{wb}}}, \quad (6)$$

где ρ_{V1} и ρ_{V2} – плотность водяного пара во входящем и выходящем воздушных потоках, соответственно $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, ρ_{wb} – плотность насыщенного водяного пара при температуре влажного термометра $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Коэффициенты тепломассообмена можно рассчитать по формулам:

$$h_H = \frac{Nu \cdot k}{d_h}, \quad (7)$$

$$h_M = \frac{Sh \cdot D_{AB}}{d_h}, \quad (8)$$

где k – теплопроводность воздуха $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$, d_h – гидравлический диаметр модуля из полых волокон (м) .

Согласно [1, 2], d_h можно рассчитать как:

$$d_h = \frac{4 \text{ cross sectional area of flow}}{\text{wetted perimeter}}. \quad (9)$$

Согласно конфигурации пучка полых волокон [13], d_h может быть дополнительно выражено как:

$$d_h = \frac{4 \cdot \frac{\pi D^2}{4}}{n \cdot \pi d_0 + \pi D} = \frac{(1 - \varphi) \cdot D^2}{n \cdot d_0 + D}, \quad (10)$$

где φ – плотность упаковки модуля, d_0 – внешний диаметр одиночного волокна (м) , D – диаметр оболочки модуля (м) .

Связь между числом Рейнольдса (Re) , числом Прандтля (Pr) и числом Нуссельта (Nu) , а также соотношение между числом Рейнольдса (Re) , числом Шмидта (Sc) и числом Шервуда (Sh) можно выразить следующим образом:

$$Nu = C_1 \cdot Re^{m1} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (11)$$

$$Sh = C_2 \cdot Re^{m2} \cdot Sc^{\frac{1}{3}}, \quad (12)$$

где $C_1, C_2, m1, m2$ – постоянные для пучков полых волокон.

Число Рейнольдса можно рассчитать следующим образом:

$$Re = \frac{u \cdot d_h}{\nu}, \quad (13)$$

где u – скорость поступающего воздуха $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$, ν – кинематическая вязкость поступающего воздуха $\left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}}\right)$.

В предыдущем исследовании эмпирические корреляции тепломассопереноса для предложенной системы были выведены с использованием регрессии экспериментальных данных, как указано в уравнениях (14) и (15):

$$Sh = 1,275 * Re^{\frac{1}{3}} * Sc^{\frac{1}{3}}; \quad (14)$$

$$Nu = 0,958 * Re^{\frac{1}{3}} * Pr^{\frac{1}{3}}. \quad (15)$$

Для текущего исследования, поскольку условия экспериментальных испытаний расширены до большого диапазона, применимость этих уравнений будет проверена в разделе результаты и обсуждение.

Эффективность влажного термометра (ε_{wb}) является важным выражением, используемым для характеристики влажного воздуха. Это определяется как отношение между фактическим изменением температуры воздуха, проходящего через пучок полых волокон, ($T_1 - T_2$) и максимальным изменением температуры, когда воздух был полностью насыщен, ($T_1 - T_{wb}$):

$$\varepsilon_{wb} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{wb}}. \quad (16)$$

Точно так же эффективность точки росы (ε_{dew}) определяется как отношение между фактическим изменением температуры воздуха и разностью температур между входящим воздухом и его точкой росы, как показано следующим выражением:

$$\varepsilon_{dew} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{dew}}. \quad (17)$$

Результаты и обсуждение. Как указано в табл.1, эксперименты проводились для предлагаемой системы испарительного охлаждения с различными температурами воздуха на входе по сухому термометру: (27°C, 30°C, 33°C, 36°C и 39°C) и различной относительной влажностью воздуха на входе (23 %, 32 % и 40 %). На рис.2 показано изменение температуры выходящего воздуха по сухому термометру, в зависимости от различных температур входящего воздуха по сухому термометру при различной относительной влажности входящего воздуха.

Таблица 1

Условия испытаний новой интегрированной системы испарительного охлаждения из полых полимерных волокон

Наименование	Символ	Значение	Ед. изм.
Скорость входящего воздуха	v_a	0,1 – 5,0	М/с
Расход воды внутри волокна	-	0,05	л/м
Температура входящего воздуха	T_a	27-39	°C
Влажность входящего воздуха	RH	23-40	%

При температуре входящего воздуха в диапазоне 27-39 °C и относительной влажности входящего воздуха от 23 %, 32 % до 40 % можно заметить, что на температуру выходящего воздуха сильно влияет относительная влажность входящего воздуха при постоянной температуре входящего воздуха. При той же температуре воздуха по сухому термометру на входе более высокая относительная влажность поступающего воздуха приведет к более низкой температуре воздуха на выходе по сухому термометру. Например, при температуре входящего воздуха по сухому термометру 40 °C, температура выходящего воздуха по сухому термометру составляла 24,8; 25,7 и 26,4 °C соответственно, для относитель-

ной влажности 23 %, 32 % и 40 %. Это показывает, что предлагаемая новая система испарительного охлаждения имеет большой потенциал для использования в жарких и сухих климатических условиях.

На рис.2(а) также сравниваются предлагаемые данные экспериментальных испытаний с температурой по сухому термометру на выходе, представленные и др. Для компактного пучка из 600 полых полипропиленовых волокон, размещенных горизонтально вниз по воздушному потоку, с температурой входящего воздуха по сухому термометру 24,6 °С и относительной влажностью $\varphi = 25\%$.

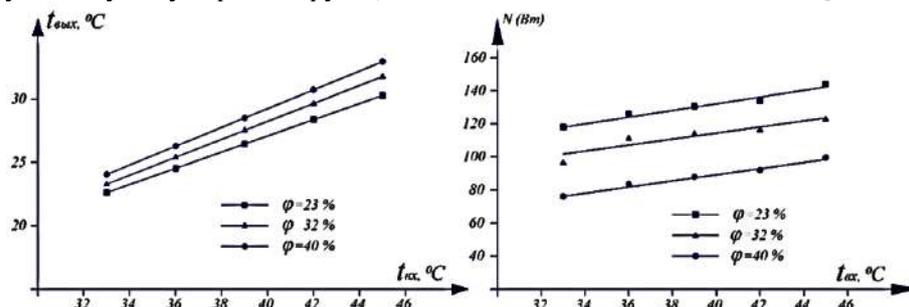


Рис. 2. Изменение холодопроизводительности (а) и (б) температуры выходящего воздуха по сухому термометру в зависимости от температуры входящего воздуха по сухому термометру при различной относительной влажности входящего воздуха

На рис.2 (б) показаны изменения холодопроизводительности в зависимости от температуры по сухому термометру на входе при различной относительной влажности поступающего воздуха. Как правило, охлаждающая способность увеличивается с повышением температуры воздуха на входе по сухому термометру с 27 °С до 39 °С. При той же температуре воздуха по сухому термометру на входе более низкая относительная влажность воздуха на входе приведет к более высокой охлаждающей способности.

Выводы. В исследовании предлагается новая система испарительного охлаждения с пучками полых волокон в форме веретена. Чтобы избежать образования каналов или экранирования соседних волокон, волокна были сжаты в форме веретена, чтобы обеспечить максимальный контакт между поступающим воздухом и волокнами. Эта новая интегрированная система испарительного охлаждения из полого волокна обеспечит комфортную внутреннюю среду в жарких и сухих помещениях. При различных температурах поступающего воздуха по сухому термометру (27°С, 30°С, 33°С, 36°С и 39°С) и различной относительной влажности воздуха на входе (23%, 32% и 40%); охлаждающая способность предлагаемой испарительной системы охлаждения были экспериментально исследованы. Изменения температуры выходящего воздуха по сухому термометру, эффективности по влажному термометру, эффективности точки росы и охлаждающей способности изучались путем изменения температуры входящего воздуха по сухому термометру. Повышение температуры воздуха по сухому термометру на входе приведет к увеличению: температуры воздуха на выходе по сухому термометру, охлаждающей способности, эффективности влажного термометра и точки росы.

Литература

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования. – М.: Издательство физико-математической литературы. – 2003. – 272 с.
2. Захидов Р.А., Усмонов Н.О. Обзор испарительного охладителя в системах кондиционирования воздуха // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – 2020. – №3-4. – С. 133–137.
3. Usmonov N.O, Isakhodzhayev Kh.S., Koroli M.A. Determining the parameters of the fluid layer with a rigid mobile nozzle. Thermal engineering, – 2021, – Vol.68, No 3, – pp. 221-227. DOI: 10.1134/S0040363621030073.
4. ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating, and Air Conditioning, Systems and Equipment, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2000.
5. Faisal Al-Juwayhel, Hisham El-Dessouky, Hisham Ettouney, Mona Al-Qattan. Experimental evaluation of one, two, and three stage evaporative cooling systems // Heat Transfer Engineering, 25:6, 72-86.
6. Amer O., Boukhanouf R., Ibrahim H. A review of evaporative cooling technologies. International journal of environmental science and development. – Vol. 6, №2. – 2015. – pp. 111-117.
7. Camargo J.R., Ebinuma C.D., Cardoso S.S. Mathematical Model of Direct Evaporative Cooling Air Conditioner // International Journal of Heat and Technology, – 31 December 2012, – pp. 25-30. DOI:10.18280/ijht.300204.
8. Heidarinejad Gh., Bozorgmehr M. Modelling of Indirect Evaporative Air Coolers // International Journal of Heat and Mass Transfer. – Volume 36, Issue 1, – January 1993, – Pages 17-26. DOI: 10.1016/0017-9310(93)80062-Y.
9. Usmonov N.O., Mavjudova Sh.S., Boliyev B.B. Mathematical model of the thermal humidifying air treatment in the nozzle chamber // Technical science and innovation – Tashkent, 2020. №2, – pp. 166-171.
10. X. Chen et al., Experimental investigations of polymer hollow fibre integrated evaporative cooling system with the fibre bundles in a spindle, Energy Build. 154 (2017) – pp. 166-174.
11. R. Prasad, K. Sirkar, Dispersion-free solvent extraction with microporous hollow-fiber modules, AIChE J. 34 (2) (1988) – pp. 177–188.
12. L.-Z. Zhang, S.-M. Huang, Coupled heat and mass transfer in a counter flow hollow fiber membrane module for air humidification, Int. J. Heat Mass Transf. 54 (5–6) (2011) pp. 1055–1063.
13. M. Dohnal, T. Vesely, M. Raudensky, Low cost membrane contactors based on hollow fibres, in: EPJ Web of Conferences, 2012, EDP Sciences.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.165

ЭКОЛОГИЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

М.А. Асретдинова, Н.А. Юнусова

Мақолада термал тузсизлантиришининг энг янги технологияси муҳокама қилинади. ИМВ-ЭКОТЕХ лаҳзали қайнатувчи буглатгичлар учун энг янги ускуналардан фойдаланиш ҳисобига сувни тозалаш самарадорлигини ошириш ва атроф-муҳитга зарарли таъсирини сезиларли даражада камайтириш мумкин бўлди. Замонавий таниқли ишларнинг натижаларини ўрганиш ва ИМВ «ЭКОТЕХ» асосидаги сув тозалаш тизимларини турли мамлакатларнинг энергия тизимларида ва турли сувларда, шунингдек саноат корхоналарида иссиқлик электр станцияларида муваффақиятли жорий этиш асосида бу технологиянинг мавжуд кимёвий тузсизлантириш билан солиштирганда юқори самарадорлиги ва рақобатбардош устунликларни кўрсатди.

В статье рассмотрена новейшая технология термического обессоливания. Подготовки воды для существенного снижения вредного воздействия на экологию за счет применения новейшего оборудования - испарителей мгновенного вскипания ИМВ-«ЭКОТЕХ». На основе изучения результатов успешного внедрения водоподготовительных комплексов на базе ИМВ «ЭКОТЕХ» на теплоэлектростанциях в разных энергосистемах, и на разных водах, а также на промышленных предприятиях показаны конкурентные преимущества и высокая эффективность такой технологии, по сравнению с существующим химическим обессоливанием.

The article discusses the latest technology of thermal desalination. It became possible to increase the efficiency of water treatment and significantly reduce the harmful effect on the environment due to the use of the latest equipment for instant boiling evaporators IMV-"EKOTECH". Based on the study of the results of known works and the successful implementation of water treatment systems based on the IMV -"EKOTECH" at thermal power plants in different power systems and in different waters, as well as at industrial enterprises, he showed the competitive advantages and high efficiency of this technology in comparison with the existing chemical desalination.

Введение. Тепловые электростанции (ТЭС) Узбекистана – это мощные производители электрической тепловой и энергии. Одновременно они являются и крупнейшими производителями обессоленной воды (более 20 млн. м³/год), необходимой для восполнения пароводяных потерь и ведения технологических процессов на ТЭС. В настоящее время производство обессоленной воды на ТЭС осуществляется, химическими методами, что связано со значительными производственными издержками и вредным воздействием на водоисточники из-за потребления большого количества химреагентов и смол, которые с отработанными регенерационными растворами сбрасываются в водоемы. Для примера, при химическом обессоливании, при извлечении из воды 1 кг солей,

требуется до 2-3 кг реагентов, следовательно, в водоем сбрасывается в три-четыре раза больше солей, чем извлекается, что резко повышает минерализацию водоемов и приводит к их деградации. Поэтому задачи удешевления подготовки обессоленной воды и снижения количества сбросов солей в водоемы для энергосистемы весьма актуальны и своевременны.

Основная часть. Надежность и экономичность работы ТЭЦ во многом определяется качеством подпиточной воды для котельных агрегатов и систем теплофикации. ТЭЦ и многие отрасли промышленности, нуждаются в производстве воды для технологических целей очень высокого качества. Содержание солей в этой воде должно быть в десятки тысяч раз меньше, чем в исходной природной воде. Производство воды такого качества дорогостоящее мероприятие и оказывающее наиболее сильную нагрузку на водоемы [1].

Повысить эффективность подготовки воды и существенно снизить вредное воздействие на экологию стало возможным за счет применения новейшего оборудования испарителей мгновенного вскипания ИМВ «ЭКОТЕХ» – это оборудование выполнено на основе современных патентных решений в области термического обессоливания, отличающиеся от прежних испарителей, компактностью и высокой тепловой экономичностью.

ИМВ «ЭКОТЕХ» на производительность 50 тонн/час состоит из двух прямо-угольных корпусов, каждый размером 6х5х1,4м (высота, длина, ширина) и выдает очень высокое качество обессоленной воды ($\text{Na}^+ = 3 \dots 15$ мкг/кг, $\text{SiO}_3^{-2} = 2 \dots 15$ мкг/кг, жесткость = 0,2...0,8 мкг-экв/кг, электропроводность = 0,3...0,8 мкСм/см).

Технологический процесс производства обессоленной воды на ИМВ «ЭКОТЕХ», очень прост, предсказуем, не требует вмешательства человека, на 100% автоматизирован. Низкий температурный уровень процессов испарения (105 ... 40 °С) и давления паровой среды (от 0,1 до 0,01 МПа) делает аппараты для осуществления процессов неподведомственными надзорным органам, что является одним из важных преимуществ данных установок. Отсутствие необходимости в расходных материалах делает установку надёжной и экономически независимой от цен на расходные материалы. Технологические процессы осуществляются в условиях вакуума в свободном объеме, что делает возможным работу ИМВ «ЭКОТЕХ» на воде прошедшей упрощенную обработку подкислением с добавкой антинакипинов — это удешевляет производство обессоленной воды, значительно повышает экологичность производства [2].

ИМВ «ЭКОТЕХ» размещается в двух корпусах прямоугольного типа. Каждый в свою очередь состоит из двух блоков, габариты которых удовлетворяют требованиям правил железнодорожных перевозок. В состав ИМВ «ЭКОТЕХ» включаются два циркуляционных насоса, эжектор водоструйный, насос дистиллятный, подогреватель головной. Тепловая схема ИМВ «ЭКОТЕХ» представлена на рис. 1.

В каждом корпусе расположено от 6 до 10 ступеней. Всего число ступеней в ИМВ может достигать 20. Число ступеней испарителя может отличаться от таблицы 1. Их количество определяется на основании технико-экономического расчета минимума приведенных затрат на производство необходимого объема

дистиллята для конкретной установки. Каждая ступень состоит из камеры расширения и камеры конденсации.

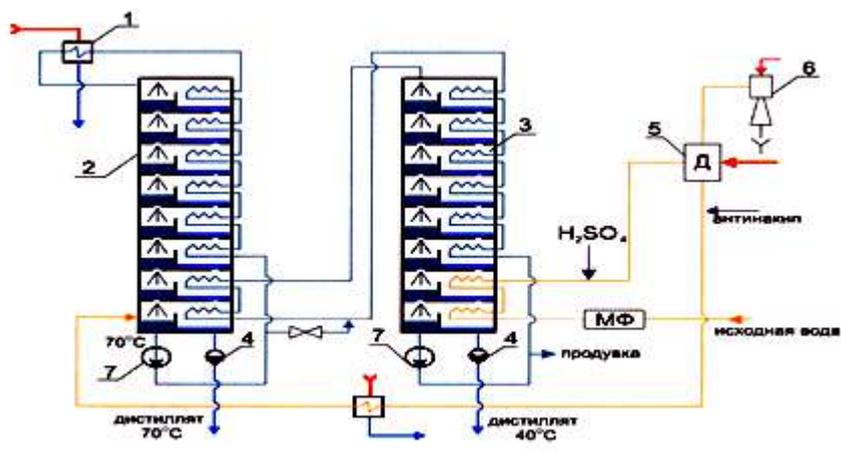


Рис.1. Тепловая схема ИМВ «ЭКОТЕХ»: 1 - подогреватель головной, 2 - первый корпус, 3 - второй корпус, 4 - насос дистиллятный, 5 - деаэрактор вакуумный, 6 - эжектор водоструйный, 7 - насос циркуляционный

Ступени небольшой высоты (0,5-0,7 м), что делает возможным компактное размещение большого количества ступеней при приемлемых высотах корпусов (до 6 м). От количества ступеней зависит потребляемое количество пара. Чем больше ступеней, тем меньше расход пара на выработку одного и того же количества дистиллята. Так при $n=16$ (по 8 ступеней в каждом корпусе) можно обеспечить потребление 1 т пара на выработку 9 т дистиллята. Это объясняется большей степенью регенерации тепла внутри ИМВ «ЭКОТЕХ» (по аналогии с системой регенерации турбины). При $n \rightarrow \infty$, расход пара $\rightarrow 0$. Технико-экономические расчеты по оптимизации ИМВ «ЭКОТЕХ» показывают, что экономически выгодны для автономных ИМВ схемы с $n=16-20$ ступеней. В других случаях необходим индивидуальный подход в выборе n , например, при использовании подпиточной воды системы теплофикации [3].

С внедрением технологии термообессоливания на базе ИМВ «ЭКОТЕХ»:

- во-первых, достигаются неоспоримые экологические преимущества по сравнению с самыми современными технологиями химического обессоливания, для которых при расходе реагентов близких к стехиометрическому, содержание солей в сбрасываемых (продувочных) водах будет в 2 раза превышать их содержание исходной воде, а для ИМВ «ЭКОТЕХ» этот показатель будет приближен к единице;

- во-вторых, снизятся издержки на производство обессоленной воды по сравнению с традиционной установкой химического обессоливания, только за счет уменьшения расхода реагентов.

Получение воды высшей степени очистки на ИМВ «ЭКОТЕХ» заключается в генерации пара за счет адиабатного вскипания воды, причем этот процесс осуществляется при низких температурах 35...100 С и в свободном объеме, что делает возможным их работу на воде, прошедшей упрощенную обработку [4].

ИМВ «ЭКОТЕХ» мало чувствительны к механическим, органическим и минеральным (накипеобразующим) примесям в исходной воде. Это обстоятельство в сочетании со ступенчатостью процесса упаривания исходной воды в двух корпусах за счет последовательной схемы питания и позволяет заменять химические методы обработки исходной воды на коррекционные, основанные на дозировании в исходную осветленную воду небольшого количества реагентов, ингибирующих процессы накипеобразования и резко снижающих интенсивность железноокислых отложений. Доза реагентов не превышает 3 мг/л.

Технологические и экологические преимущества технологии подготовки воды для энергетики на ИМВ «ЭКОТЕХ» очевидны и достигаются за счет:

- применения в качестве источника тепла отработанного низкопотенциального пара давлением менее 1,2 атм;
- генерации пара в условиях вакуума (низкие температуры) в свободном пространстве;
- организации оптимальных процессов паросепарации в условиях малых высот камер испарения (0,4-0,7 м), обеспечивающих влажность пара $2 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-6}$ кг/кг;
- термического совершенства процессов генерации пара, остаточное «непрокипание» менее 0,10 °С;
- оптимальной организации паровых потоков пара в конденсаторах испарителя, обеспечивающих рациональное омывание теплообменных пучков труб и локализацию неконденсирующихся газов;
- применения эффективных антинакипинов, ступенчатого процесса испарения;
- оптимальной тепловой схемы ИМВ «ЭКОТЕХ», обеспечивающей включение его по эквипотенциальной схеме (без потерь потенциала пара) с возвратом использованного тепла в цикл теплоэлектростанции или предприятия и выработку до 10 т обессоленной воды на 1 т греющего пара.
- срока службы не менее 20 лет при окупаемости 2-3 года.

Успешный опыт более чем пятилетней эксплуатации десяти водоподготовительных комплексов на базе ИМВ «ЭКОТЕХ» на теплоэлектростанциях в разных энергосистемах и на разных водах, а также на промышленных предприятиях показал конкурентные преимущества и высокую эффективность этой технологии по сравнению с существующим химическим обессоливанием.

Таблица 1

Сравнение МИУ и комбинированной испарительной установки

Состав оборудования	Тип испарительной установки	
	МИУ-100	МИУ-100 + ИМВ «ЭКОТЕХ»
1. Производительность, т/ч	100	160
2. Расход греющего пара, т/ч	22	22
3. Удельная металлоемкость, т/т	2,4	1,9
4. Удельная выработка, т/т (п1:п2)	4,54	7,27
5. Избыточный пар, т/ч	12,8	0

Так например, стоимость получаемой обессоленной воды на ИМВ «ЭКОТЕХ» более чем в два раза меньше стоимости обессоленной воды, полученной по традиционной технологии, а расход реагентов может быть уменьшен в сотни раз. Технология оснащена современной распределенной интегрированной системой управления на основе микропроцессорной техники и регулируемого привода и на 100% автоматизирована. Присутствие людей минимально [5]

Сравнительные данные этого оборудования по сравнению с самыми современными зарубежными аналогами показывают её высокую конкурентоспособность и превосходство.

Использование ИМВ «ЭКОТЕХ» существенно упростит систему водоподготовки, что позволит получить экономические преимущества по сравнению с использованием современных реагентов и технологий обратного осмоса и химического обессоливания, что в целом даст значительный экономический эффект в любой отрасли промышленности. [7]

Актуальность направления и внедрения термообессоливающих комплексов на базе ИМВ «ЭКОТЕХ» в энергосистемах может осуществляться в трех направлениях:

Первое направление связано с повышением тепловой эффективности работы автономных многоступенчатых испарительных установок (МИУ). Известно, что МИУ, особенно в летний период нуждаются в утилизации избыточного низкопотенциального пара последней ступени и расширительного бака.

Такое положение дел вынуждает персонал ТЭЦ сбрасывать часть пара в атмосферу или уменьшать производительность МИУ, что неприемлемо из-за необходимости содержать резервные химо-бессоливающие установки.

Реализация такой комбинированной технологической цепочки из двух испарительных установок, одна из которых работает в диапазоне температур 180...1100 °С, а вторая 110...400 °С позволила увеличить выработку дистиллята с 100 т/ч до 160 т/ч практически при постоянном расходе греющего пара на МИУ, что существенно повысило эффективность работы МИУ и снизило стоимость дистиллята за счет снижения её топливной составляющей.

В табл.1 видно, что удалось полностью использовать избыточный пар МИУ и существенно снизить издержки на тепло при производстве дистиллята.

Снижение расхода топлива на производство дистиллята на комбинированной установке составляет $\pm 5,5$ кг у.т./т или 7040 т у.т./год по сравнению с МИУ без ИМВ «ЭКОТЕХ», а потребление кислоты и щелочи в химцехе ТЭЦ снижено на ± 965 т/год за счет замещения химически обессоленной воды дистиллятом, что благотворно сказалось на прилегающие к ТЭЦ водоисточники. Таким образом, за счет реализации комбинированной схемы обеспечена бесперебойная работа МИУ в летний период на максимальной производительности без сброса в атмосферу избыточного пара (до 10 т/ч), что повысило надежность работы МИУ в обеспечении ТЭЦ обессоленной водой и позволило получить дополнительную экономию топлива ± 1200 т у.т./год за счет исключения сброса тепла (и конденсата) в атмосферу. С вводом на ТЭЦ ИМВ «ЭКОТЕХ» на второй нитке суммарная производительность термообессоливающего комплекса (2хМИУ+2хИМВ)

составила 340 т/ч (летом) и 400 т/ч (зимой), а годовая экономия топлива не менее 16000 т.у.т./год по сравнению с работой МИУ, что важно в связи с ожидаемым многократным ростом цен на топливо .

Второе направление связано с внедрением ИМВ «ЭКОТЕХ» в схемах подпитки теплосети. На ТЭЦ с большим расходом подпиточной воды теплосети представляется возможным значительно упростить конструкцию ИМВ «ЭКОТЕХ», уменьшив количество ступеней с 18 до 9 и снизить металлоемкость ИМВ «ЭКОТЕХ» практически в два раза. Это позволило разработать для данной ТЭЦ компактную термообессоливающую установку на 200 т/ч состоящую из четырех прямоугольных колонн каждая размером 1,8х6,5х7,0 м (ширина, длина, высота) [6].

Каждый ИМВ «ЭКОТЕХ» потребляет пар теплофикационного отбора в количестве 12 т/ч, который идет на выработку дистиллята в количестве 50...55 т/ч и подогрев 250...300 м³/ч подпиточной воды теплосети перед вакуумными деаэраторами в последних ступенях ИМВ «ЭКОТЕХ». Таким образом, все тепло греющего пара ИМВ «ЭКОТЕХ» используется в цикле ТЭЦ. В данном случае этим паром подогревается 1000...1200 м³/ч подпиточной воды теплосети и осуществляется вытеснение пара высокого потенциала (3-6 ат), используемого для подогрева питательной воды теплосети в схеме вакуумных деаэраторов, что дает дополнительную экономию топлива не менее 10280 т у.т./год.

Следует заметить, что при подпитке теплосети в количествах 1500...3500 м³/ч всегда будет обеспечен расход охлаждающей воды на ИМВ «ЭКОТЕХ» в требуемом количестве (100...1200 м³/ч), при котором будет произведено 200...220 т/ч обессоленной воды.

Расчеты показывают, что стоимость получаемого дистиллята на комплексах «ЭКОТЕХ» в два раза меньше, чем вырабатываемая сегодня химцехом ТЭЦ обессоленная вода. Срок окупаемости не превысит 2-3 года.

Третье направление связано с использованием автономных ИМВ «ЭКОТЕХ» на исходной воде, отличающейся повышенной минерализацией.

Выводы. Представляется целесообразным рассмотреть возможность получения обессоленной воды в количестве 200 т/ч для ТЭС на ИМВ «ЭКОТЕХ», использующих в качестве исходной воды дешевую воду водохранилища. В качестве источника тепла может быть использован пар общестационарного коллектора собственных нужд, поступающий из низкопотенциальных отборов турбин.

Таким образом, внедрение технологии термического обессоливания в теплоэнергетике и предприятиях Узбекистана, где требуется качественная вода, позволит значительно снизить производственные издержки за счет многократного снижения потребления химреагентов, уменьшения сбросов химзагрязненных стоков, что существенно улучшит состояние экологии и прилегающих водоемов для использования их в дальнейшем.

Литература

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: Издательство МЭИ, 2006. -156 с.
2. Абрамов В.И. и др., Повышение экологической безопасности ТЭС,- М.: изд. МЭИ. 2002. -169 с.
3. Asretdinova M. New technologies of water treatment at heat power plants //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Т. 216. – С. 01127.
4. Петин В.С., Туманов А.С. Новые технологии водоподготовки // Тепло энергоэффективные технологии. 2004. - N 2(35). - С.46-50.
5. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В. Технологическое и экологическое совершенствования водоподготовительных установок // Теплоэнергетика. 2001. - N 8. - С.23-27.
6. Ларин Б.М. Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин и др. // Теплоэнергетика. 2010. -№8.- С.8-13.
7. D.N. Mukhiddinov, N.A. Yunusova, M.A. Asretdinova, B. Sattorov Analysis of Existing Methods for Softening Natural Waters // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology <http://www.ijarset.com/upload/2021/may/22-researchparks-49.PDF>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620.9.70

**ОХЛАЖДЕНИЕ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН НА
ОСНОВЕ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАДИТЕЛЯ****И.А. Гошпулатов**

Мақолада атроф – муҳит иқлим шароитини бино микро иқлимини ҳосил қилишига таъсири, турли иқлим шароитларида совитиш машиналарининг самарадорлигини ошириш учун фойдаланиладиган услублар кўриб чиқилган. Бинолар ҳавосини мўтадиллаш учун кенг қўлланиладиган совитиш машинасининг самарадорлигини оширишда айланма сувни билвосита буглатиб совитгич ва иссиқлик насоси комбинациясидан фойдаланиш имкониятининг эксперимент тақиқотлари кўриб чиқилган. Айланма сувни билвосита буглатиб совитиш қурилмасининг иссиқлик насоси билан биргаликда қўлланилган схемаси ишлаб чиқилган. Қурилмани ташиқил этувчилари, уларнинг вазифалари ва ишлаш жараёни баён қилинган. Қурилмага кирувчи ва ундан чиқувчи ҳаво ва сув параметрларига ташиқил ҳамда ички омилларнинг таъсир ўрганилган. Айланма сувни билвосита буглатиб совитиш қурилмасининг ишлаш принципи, унда иссиқлик насосидан фойдаланиш орқали самарадорликни ошириш натижалари келтирилган.

В статье рассматриваются влияние климатических условий окружающей среды на создание микроклимата здания, методы повышения эффективности работы холодильных машин в различных климатических условиях. Рассмотрены экспериментальные исследования возможности использования комбинации теплового насоса с косвенным испарением циркулирующей воды для повышения эффективности, широко используемой холодильной машины при кондиционировании воздуха в помещении. Разработана схема косвенного испарения оборотной воды совместно с тепловым насосом охлаждающего устройства. Описываются составные части устройства, их функции и принцип действия. Изучен влияние внешних и внутренних факторов на параметры воздуха и воды на входе и выходе устройства, принцип работы охлаждающего устройства путем косвенного испарения циркулирующей воды, приводятся результаты повышения эффективности за счет использования теплового насоса.

The article discusses the influence of climatic environmental conditions on the creation of a building microclimate, methods of increasing the efficiency of refrigeration machines in various climatic conditions. Experimental studies of the possibility of using a combination of a heat pump and indirect evaporation of circulating water to improve the efficiency of a widely used refrigeration machine for indoor air conditioning are considered. The scheme of indirect evaporation of circulating water was developed in conjunction with the heat pump of the cooling device. The component parts of the device, their functions and principle of operation are described. The influence of external and internal factors on the parameters of air

and water at the inlet and outlet of the device, the principle of operation of the cooling device by indirect evaporation of circulating water, the results of increasing efficiency through the use of a heat pump have been studied.

Введение. Производство искусственного холода и осуществление различных технологических процессов при низких температурах находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Холодильная техника оказалась нужной почти всем областям чело-веческой деятельности. Развитие некоторых отраслей нельзя представить без применения искусственного холода. В пищевой промышленности холод обеспечивает длительное сохранение высокого качества скоропортящихся продуктов; именно из-за недостаточного еще использования холода в мире теряется в среднем до 25% произведенных пищевых продуктов. Кроме этого искусственный холод применяется в нефтехимии, машиностроении и других отраслях промышленности [1].

В условиях жаркого (температура $t > 35 \div 40^\circ\text{C}$) и сухого (относительная влажность $\varphi < 15\%$) лета Узбекистана такие параметры воздуха весьма далеки от комфортных, а, следовательно, использование средств нормализации микроклимата является необходимым. Особое значение приобретает охлаждение и увлажнение воздуха в рабочих и жилых помещениях, в пассажирском транспорте (автобусы и вагоны поездов). При этом оптимально охлаждение воздуха на $6 \div 10^\circ\text{C}$, относительно окружающей среды, с доведением φ до $40 \div 60\%$ [4, 5].

Кроме того, некоторые производства предъявляют довольно жесткие требования к температуре воздуха в помещениях для выполнения технологических операций, охлаждения исходного сырья и промежуточных материалов или конечного продукта. Например, на участках контроля параметров полупроводниковых приборов и микросхем температура должна быть $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, на участках шелкографии толсто пленочных материалов требуется обеспечение температуры $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, свежее молоко должно быть охлаждено до $10\text{--}12^\circ\text{C}$ для перевозки и дальнейшей обработки. Многие технологические процессы пищевого производства требуют быстрого охлаждения конечной продукции (производство мороженого, фруктовых соков, майонеза, мясной продукции), а в текстильной промышленности требуется одновременно охлаждение и увлажнение воздуха до $40\text{--}50\%$ для устранения разрядов статического электричества и связанных с ним пожаров и взрывов [2,3,6].

По этой причине были приняты в свое время строительные нормы и правила СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, которые неоднократно уточнялись и перерабатывались с учетом последующих достижений (СНиП 1.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование).

Основная часть. Разработана и изготовлена (рис.1) опытно-экспериментальная установка для охлаждения оборотной воды и разработана программа исследования основных показателей работы установки в разных режимах и климатических условиях (поздняя весна, лето и ранняя осень) (косвенно испарительная камера показана).

Исследуемый макет работает следующим образом: наружный воздух 1 подается в камеру испарителя 5 через вентилятор. Температура поступающего наружного воздуха в испарительную камеру 5 снижается за счет испарения влаги с поверхности циркуляционного водяного патрубка 4, а выходящий из камеры воздух 2 насыщается влагой при низкой температуре. В результате испарения воды с поверхности труб 4, расположенных внутри испарительной камеры 5, температура циркулирующей воды снижается. Обратная вода с низкой температурой направляется в основной теплообменник 8 с помощью циркуляционного насоса 11. Температура наружного воздуха 12, поступающего в основной теплообменник 8, снижается из-за циркуляции обратной воды. В результате низкой температуры промежуточного воздуха 13, проходящего через основной теплообменник 8, процесс теплообмена в теплообменнике 9 холодильной машины ускоряется.

Подаваемая вода через форсунки 3 в испарительную камеру 5, охлаждается дополнительным теплообменником 7, расположенным под землей. Вода в форсунки подается под низким давлением с помощью циркуляционного насоса 10. Вода, подаваемая в камеру испарителя 5, увлажняет поверхность труб 4 и ее избыток опускается на поддон 6. Собранная вода в поддоне направляется в подземный вспомогательный теплообменник 7 и снова подается в испарительную камеру через форсунки. Во время цикла добавляется дополнительная вода, чтобы предотвратить уменьшение количества рециркуляционной воды из-за испарения.

В жаркий период года эффективность охлаждения холодильных машин снижается из-за низкой температуры воздуха, проходящего через теплообменник. Повышение эффективности охлаждения холодильных машин зависит от интенсивности теплообменных процессов в теплообменнике.

Интенсификация процессов теплообмена и повышение энергетической эффективности устройств, в которых эти процессы протекают, являются главными задачами развития теплообменных аппаратов [7].

Задачи интенсификации теплообмена сводятся к уменьшению габаритов и массы теплообменных устройств или к снижению температурного напора по сравнению с их величинами, которые достигаются в данных условиях обычными путями. Если увеличение скорости потока в пределах, допустимых на практике, не обеспечивает получения необходимых габаритов теплообменного устройства, то необходима интенсификация теплообмена методами, которые обеспечат уменьшение габаритов при умеренном увеличении суммарных потерь мощности на прокачку теплоносителей через теплообменные аппараты [8].

Эффективность теплообменника холодильных машин может быть достигнута за счет снижения температуры проходящего через него воздуха. Для этого потребуется понизить температуру обратной воды, проходящей через основной теплообменник. Интенсивность процесса теплообмена во внешнем теплообменнике холодильной машины зависит от температуры промежуточного воздуха.

Воздухоохладители, основанные на принципе испарения воды, являются наиболее энергоэффективными устройствами. В испарительной камере понижается температура обратной воды, используемой в основном теплообменнике.

Для охлаждения промежуточного воздуха более эффективным является использование комбинированной системы испарительного охладителя с тепловым насосом. Можно подавать влажный воздух из испарительной камеры для восполнения потерь влаги в течение [9, 10].

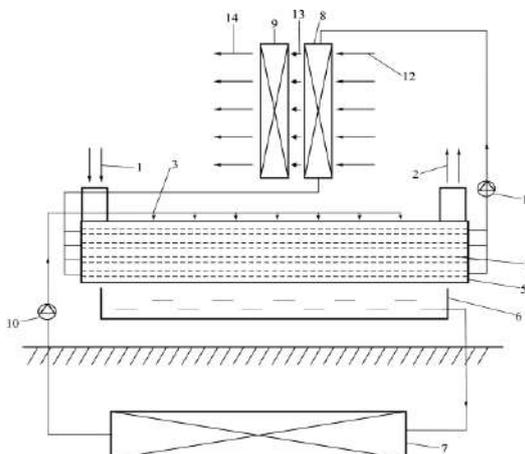


Рис.1. Принципиальная схема косвенно испарительного охлаждения оборотной воды с теплового насоса: 1 - входящий воздух, 2 - исходящий воздух, 3 - форсунки, 4 - внутренние трубы, 5 - испарительная камера, 6 - поддон, 7 - дополнительный теплообменник, 8 - основной теплообменник, 9 - теплообменник холодильных машин, 10 - циркуляционный насос для разбрызгивания воды, 11 - циркуляционный насос оборотной воды, 12 - атмосферный воздух, 13 - промежуточный воздух, 14 - выходящий воздух

Тепловые насосы - это устройства, в которых холодильный цикл используется как для нагрева, так и для охлаждения. Они играют уникальную роль в энергетической системе будущего. Никакая другая технология не может одновременно обеспечить чистую экономию первичной энергии, экономические выгоды для пользователей и снижение воздействия на климат [11-13].

На рис.1. показана схема испарительного охлаждения для циркуляционного водяного охлаждения, которая работает вместе с тепловым насосом, используемым для повышения эффективности охлаждения холодильных машин.



Рис.2. Опытно-экспериментальная установка косвенно испарительного охлаждения оборотной воды (испарительная камера)

Использование части теплонасосной установки позволило повысить степень охлаждения оборотной воды, а также увеличить эффективность испарительной камеры (в пределах 20 – 30 %) [14].

Испытываемый макет охладителя имеет вентилятор с расчетной производительностью воздуха 260 м³/час, два циркуляционных насоса низкого давления, электрическая мощность установки составляет не более 170 Вт. Атмосферный воздух подается в камеру испарителя с помощью центробежного вентилятора BSH133-4E (1470 об/мин). Обратная вода циркулирует автоматически водяным насосом АСС РW 125 внутри испарительной камеры и подается в основной теплообменник для охлаждения потока атмосферного воздуха.

Достигнуто охлаждение на 15 °С при температуре окружающего воздуха 40 – 45 °С (июль – август 2021 года). Величина потребляемой мощности позволяет, для привода всех механизмов охладителя, использовать солнечные фотоэлектрические генераторы небольшой мощности и приемлемой стоимости. Возможна дальнейшая оптимизация конструкции и параметров разработанного охладителя. В частности, требуется согласование параметров насоса подачи воды с ее расходом [15,16].

Результаты. На основании приведенных данных можно сказать, что создан компактный, автономный, экологически чистый охладитель оборотной воды, пригодный для массового применения с целью повышения интенсивности теплообмена в теплообменниках холодильных машин. В летний период применение этих установок приведет к уменьшению расхода электроэнергии холодильных машин на 40-50%. В настоящее время ведется исследование по определению параметров отдельных узлов, исследуются скорость оборотной воды, зависимость степени охлаждения от влажности и скорости охлажденного воздуха (т.е. фактически от объемов охлаждаемого воздуха), аэродинамическое сопротивление в основном теплообменнике, влажность и температура внешнего (атмосферного) воздуха.

Экспериментальные испытания созданного образца холодильных машин для охлаждения проводились в помещении площадью 20 м². В результате экспериментальных испытаний, с целью повышения эффективности работы холодильных машин, расход электрической энергии был уменьшен до 40% в жаркий период лета на овощехранилище в Олтиарикском районе Ферганской области (от 15.07 до 15.08 2021 года). Разработанное устройство также может быть использовано для повышения эффективности холодильных машин, установленных на больших складах.

Литература

1. Мизин В.М., Большаков Д.В., Девятков Т.И.. Повышение эффективности холодильных машин путем усовершенствования традиционных типов аппаратов. //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование» 2014. -№ 1. - С 128.

2. Кокорин О.Я. Испарительное охлаждение для целей кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1965. - С 160.

3. Мухтаров Ф.Х. Экспериментальное исследование двухступенчатого испарительного охладителя воздуха. //Проблемы информатики и энергетики. 2014. №3-4. - С. 103-107.
4. Строительные нормы и правила. КМК 2.04.05-97*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Ташкент 2011.
5. Егизаров А.Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов. –М.: Стройиздат, 1981. - С. 146.
6. Богословский В.Н. и др. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1 –М.: Стройиздат, 1992. - С.7-8.
7. Гоголин А.А., Данилова Г.Н. и др. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
8. Мизин В.М., Сысоев В.Л. и др. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
9. European Heat Pump Association, Key facts on heat pumps. Retrieved May 13, 2015 from <http://www.ehpa.org/technology/key-facts-on-heat-pumps/>
10. Halozan H. Heat Pumps, Energy and Environment, Compressors 2009 Conference, 7th International Conference on Compressors and Coolants, Castá Papiernicka. Retrieved May 20, 2015 from http://www.iifir.org/clientBookline/service/reference.asp?INSTANCE=exploitation&OUTPUT=PORTAL&-DOCID=I_I_FD_REFDOC_2009-2502&DOCBASE=IFD_REFDOC_EN&SETLANGUAGE=EN.
11. European Heat Pump Association, Key facts on heat pumps. Retrieved May 13, 2015 from <http://www.ehpa.org/technology/key-facts-on-heat-pumps/>.
12. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание. - М.: Издательство «Перо», 2016. - С 204.
13. Строммен И., Бредесен А.М. и др. //Холодильные установки, кондиционеры и тепловые насосы для XXI века. Холодильный бизнес, 2000. - №5. –С. 8-10.
14. И. М. Валеев, Г. Ю. Симонов. Геотермальная система для теплоснабжения частного сектора. //Вестник технологического университета. 2017. Т.20, №7. - С.111-113.
15. Тошпулатов И.А., Хазратов А.Г. Структурный термодинамический анализ холодильной машины. “Ишлаб чиқаришнинг техник, мухандислик ва технологик муаммолари инновацион ечимлари” мавзуида халқаро илмий-техник анжуман, 2-қисм. Жиззах 2021 й. 26-28 б.
16. Тошпўлатов И.А., Исаходжаев Х.С. Иссиқлик билан ишлайдиган совутгичларнинг ривожланиши ва такомиллаштириш йўллари. “Нефт-газ саноатида инновациялар, замонавий энергетика ва унинг муаммолари” 2-халқаро конференция материали. Тошкент 2021 й. 400-401 б.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.76

КОНДЕНСАТОР ТИЗИМИНИНГ ЭНЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИ

Б.Х. Юнусов, У.Э. Сувонова

Ушбу мақолада иссиқлик электр стансияларини солиштирма ёқилги пасайтириши, буғ турбинасининг иши самарадорлигини ошириши мақсадида конденсатор тизимини ўрганиши, энергетик кўрсаткичларини ошириши ва ёқилги тежамкорлигига эришиши кўзда тутилган. Турбинада ишлатилган буғнинг энthalпияси қанча кичик бўлса, фойдали иши коэффициентини шунча юқори бўлади. Шунинг учун турбинанинг юқори вакуум ҳолатида ишлаши иқтисодий самара беради.

В данной статье рассматривается эксплуатация тепловых электростанций с целью снижения удельного расхода топлива, изучения конденсаторной системы для повышения эффективности работы паровой турбины, повышения ее энергетических показателей и достижения топливной экономичности. Чем меньше энthalпия пара, используемого в турбинах, тем выше коэффициент их полезного действия. Поэтому работа турбины в условиях высокого вакуума дает экономический эффект.

This article discusses thermal power plants in order to reduce specific fuel consumption, study the condenser system in order to increase the efficiency of a steam turbine, increase its energy performance and achieve fuel efficiency. The lower the enthalpy of the steam used in the turbine, the higher the fics. Therefore, the operation of the turbine in high vacuum conditions gives an economic effect. Special coolers, i.e. condensers, are used in the exhaust pipe.

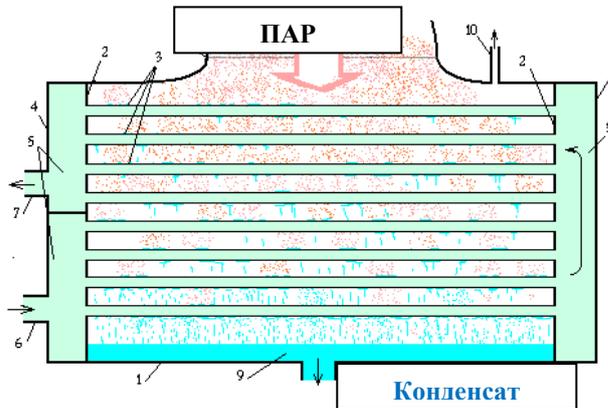
Кириш. Ҳозирги глобаллашган, саноат ривожланган бир даврда энергияга бўлган талаб ошди. Энергиядан эса самарали фойдаланиб яъни кам ишлашиб, кўп фойда олиш соҳанинг муҳим олдига қўйган вазифаларидан биридир.

Конденсаторнинг самарадорлигини ошириш учун кирадиган сувни совитиброқ берсак, натижа кўпроқ бўлади. Бунинг учун сувни совитишга каттароқ музхоналар ўрнатиш мақсадга мувофиқдир.

Асосий қисм. Конденсатор (Иссиқлик техникасида) – иссиқлик алмашинадиган иншоат, конденсатсия жараёнини амалга оширади. Фаза алмашиниш жараёни совуқ иссиқлик ташувчи ҳисобига иссиқ иссиқлик ташувчи буғ ҳолатидан сув ҳолатига ўзгаради [1,2]. Конденсатор одатда қизиган сув буғларини олади, улар тўйинганлик ҳароратига қадар совутади ва конденсатсияланиб, суюқ фазага ўтади. Буғнинг конденсатсияси учун, унинг массасининг ҳар бир бирлигидан конденсатсиянинг ўзига хос иссиқлигига тенг бўлган иссиқликни олиб ташлаш керак. Совутиш муҳитига (иссиқлик ташувчисига) қараб, конденсаторларни қуйидаги турларга бўлиш мумкин: сув билан совутилган, сув-ҳаво (буғлантирувчи) совутилган, ҳаво совутилган, конденсатор-буғлантиргичда қайнаб турган совутгич билан совутилган ва ишлов

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

бериш маҳсулоти [3,4]. Конденсатор турини танлаш дастурга боғлиқ. Конденсаторга кирадиган ҳавонинг кичик бир қисми қозондан буғ билан бирга келади, асосий қисми эса вакуумда ишлаётган кран, вентил ва бошқа бирлаштиргичларнинг нозинчилиги туфайли сўришлардан киради [5].



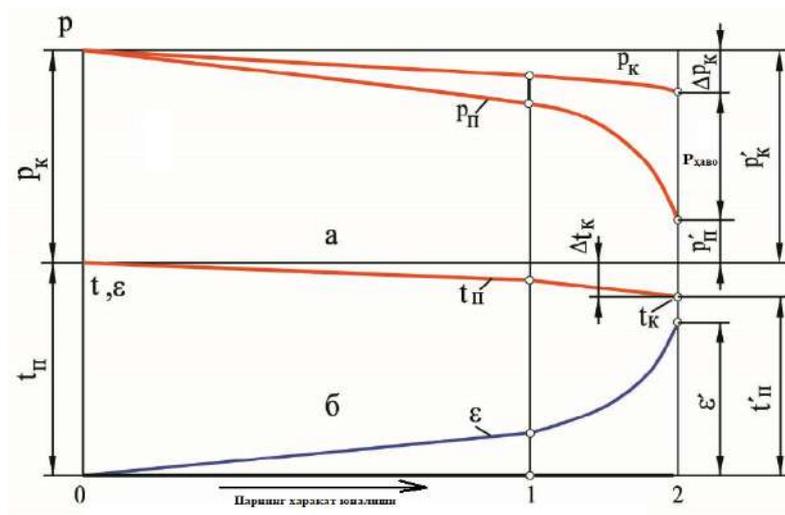
1-расм. Конденсатор

Юза конденсаторининг 1-ҳолатида, 2 найчали пластинкалар ўрнатилган, уларнинг тешиқларида ингичка деворли қувурлар 3 ўралган, конденсаторнинг совутиш юзаси "трубка тўпламлари" деб номланган қувур юзалар тўпламидан ҳосил бўлади. Қувурлар зангламайдиган пўлатдан ясалган бўлиб, одатда диаметри 24-28 мм ва қалинлиги 1-2 мм. Нопокликларнинг конденсатга тушишининг асосий усули айланма жойлардир. Қувур плиталари ва конденсаторнинг 4 ён деворлари орасидаги бўшлиқ сув камералари 5 бўлиб, уларни бўлақларга бўлиниб бир неча бўлақларга бўлиш мумкин [6,7].

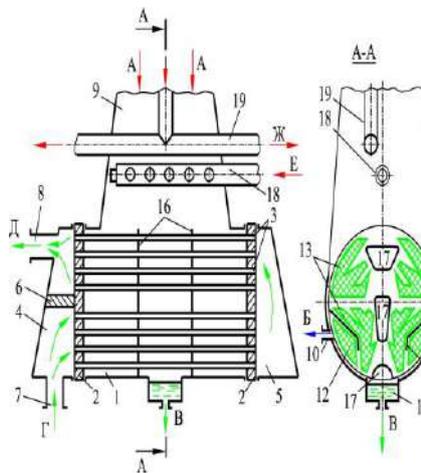
Буғ турбинанинг паст босимли цилиндрининг томоғи 8 орқали конденсаторга киради, найчаларнинг совуқ юзасига 3 тушади, конденсатсияланади, пастга тушади ва конденсат коллекторида 9 тўпланади, у эрдан конденсат насослари билан чиқарилади [8]. Буғнинг катта қисми (99%дан кўпроғи) конденсатсияланади. оммавий конденсатсия зонаси, бу ерда ҳаво кам киради. Тўйинган буғ ҳарорати одатда 50-60 ° С дан ошмайди. Совутиш зонасида қисман буғ босими паст бўлади ва буғ ҳаво аралашмасининг ҳарорати паст бўлади. Ушбу зонада конденсатнинг ҳаддан ташқари совиши мумкин, бу умуман ўрнатиш самарадорлигига салбий таъсир қилади. Совутиш зонаси бўлинма билан ажратилган [9,10].

Ҳавонинг ассимилятсия қилиниши ва конденсаторнинг буғ қаршилиги туфайли тўйинган буғнинг қисман босими ва ҳароратининг пасайиши натижасида конденсатнинг ҳаддан ташқари совиши кузатилади, бу эса тўйинган буғ ҳарорати P_n буғ-ҳаво аралашмаси босими орасидаги фарқ сифатида тушунилади. конденсаторга киришда ва конденсат чиқадиган жойда конденсат ҳарорати t_k , қоида тариқасида, конденсат ушлагичига киришда (2 -расм) [1-6]:

$$\Delta t_k = t_n - t_k \quad (1)$$



2-расм. Конденсатор ҳажмидаги буғ-ҳаво аралашмаси параметрларининг ўзгариши: а) P_{II} -буғ босимининг қисман ўзгариши; P_K -конденсатордаги босим, б) t_{II} -буғ ҳарорати, ε -ҳавонинг нисбий таркиби ўзгариши; 0-конденсаторга кириш, 1-ҳаво совутиш зонасининг бошланиши, 2-буғ ҳаво аралашмасининг едирилиши



3-расм. Конденсаторда сувни совутиш жараёни: 1 - корпус, 2 - қувурли чойшаб, 3 - қувурлар, 4 - олд сув камераси, 5 - орқа (айланадиган) сув камераси, 6 - сув камераси бўлинмаси, 7 - айланма сув кириш жойи, 8 - айланма сув чиқиши, 9 - ўтиш трубкаси (бўйин) конденсатор, 10 - буғ-ҳаво аралашмаси учун ассимилятсия қувурлари, 11 - буғ қалқони, 12 - ҳаво совутгичи, 13, 14 - мос равишда биринчи ва иккинчи сув оқими, 15 - конденсат йиғувчи, 16 - оралик бўлинмалар, 17 - оралик бўлимлардаги деразалар, 18 - буғ чиқариш мосламаси, 19 - ПБЦ танлов камераларидан буғ чиқариш қувурлари, А - конденсаторга буғ, Б - буғ-ҳаво аралашмасини ассимилятсия қилиш, С - конденсат чиқиши, Д - совутиш суви кириши, Д - совутиш суви чиқиши, Э - қозондан буғ чиқариш (буғ генератори), Г - буғ ПБЦ экстрактсиясидан чиқиш

Конденсаторда эришилган вакуум, тўйинган буғнинг ўзига хос ҳажми ўзига хос сув ҳажмидан (конденсат) анча катта эканлиги билан белгиланади конденсатор ҳажмидаги буғ қанчалик совиган бўлса (унинг ҳарорати шунчалик паст), кўпроқ конденсат ҳосил бўлади ва босим паст бўлади [8,9]. Масалан, $t_{II} =$

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

32,90°C тўйинганлик ҳароратида, ҳосил бўлган конденсатнинг ўзига хос ҳажми тўйинган буғ ҳажмидан 28,2 баравар кам бўлади; бунда конденсатор ҳажмида $P_k = 5$ кПа мувозанат босими ўрнатилади. Кўпгина замонавий буғ турбиналари 3 - 6 кПа конденсатор босими билан ишлайди.

Хулоса. Шундай қилиб, конденсаторнинг самарадорлигига эришиш, муҳим ишлар олиб бориш соҳадан қутилган барча натижаларни беради. Буғнинг сув ҳолатига ўтиши конденсатсия жараёни деб аталади, бундан кўринадики буғ турбинасининг паст босимли цилиндрида кенгайган буғ ишини бажариб бўлгач конденсаторга ўтади. Буғ конденсаторда совуқ қувурларга иссиқлигини бериб, конденсатга айланиши натижасида унинг солиштира ҳажми кескин камаяди ва вакуум ҳосил бўлади.

Адабиёт

1. Матжанов Э.К., Муҳиддинов Д.Н. Показатели тепловой экономичности парового котла ТГМ-151Б Тахиаташской ТЭС при работе в составе парогазовой установки сбросного типа “Национальная конференция по теплоэнергетике”, Сборник статей международной научной конференции, Россия, Казань, 5-8 сентября 2006.

2. Матжанов Э.К., Турсунов А.С. Газ турбине қурилмаларининг экологик афзалликлари. “Энергетика муаммолари” халқаро илмий-амалий анжуман мақолалари тўплами. 2004 23-декабр, ТошДТУ.

3. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок./ Под ред. Ю.М.Бродова. - Екатеринбург: УГТУ, 1996.

4. Матжанов Э.К., Муҳиддинов Д.Н. Иссиқлик электр стансияларининг турбинали қурилмалари. -Тошкент: Шарқ -2007.

5. Алимов Х.А., Мингазов Р.Ф., Аҳмедов К.Х. «Иссиқлик стансияларининг қозон қурилмалари». Тошкент Янги нашр. 2012 й. -192 б.

6. Мингазов Р.Ф., Х.А. Алимов. «Иссиқлик электростансияларнинг қозон қурилмалари» Тошкент ДТУ. 2011 й. -194 б.

7. Мингазов Р.Ф., Саидахмедов С.С ИЕСнинг иссиқлик стансияларида иссиқлик энергетика қурилмаларини ишлатилиш ва таъмирлаш, Ворис, Тошкент - 2007 йил.

8. Алимбоев А.У., Шаисламов А.Ш., Тешабаев Н.Т. Ёқилғи ва ёқиш асослари. Ўқув қўлланма. -Тошкент: ТошДТУ. 2002 й.

9. Раҳимжонов Р.Т. “Ёқилғи ва ёқиш асослари”. Тошкент, 2002.

10. Юсупалиев Р.М. “ИЕСларда сув тозалаш”. Тошкент, ТДТУ, 2003.

*Тошкент давлат техника
университети томонидан тақдим этилди*

УДК 536.423.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБАХ**Л.М. Эшкуватов**

Мақолада сув бугининг махсус кўринишли қовиргалар билан жиҳозланган вертикал қувурларда конденсацияланишини экспериментал тадқиқот қилиш ва натижаларни ҳисоблаш услубиятлари келтирилган. Вертикал қувурларнинг ташиқи сиртида юпқа суюқлик плёнкаси кўринишида оқиб тушаётган конденсатланган сув бугининг иссиқлик алмашинини тадқиқот қилиш учун лаборатория қурилмаси яратилган. Иссиқлик алмашинини жараёнини жадаллаштиришининг усулларидан бири бу иссиқлик алмашинувчи қувурнинг қиздирувчи томонидаги сиртнинг геометрик кўринишини такомиллаштирилиши ҳисобланади ва бунинг натижасида ҳосил бўлган конденсатнинг деворлар олдидаги қатламларининг термик қаршилигини камайтиришига эришилади. Бундай усулда иссиқлик алмашинувчи аппаратнинг иссиқлик алмашинувчи қувурларининг иссиқлик алмашини сиртларини махсус кўринишига эга қовургалар билан катталаштирилади. Бунда яна бир муҳим илмий масала, буг конденсати оқимининг қувур деворларидан узилиши натижасида буг бевосита қувурнинг совуқ сирти билан контактда бўлиши ва иссиқлик узатилишининг ошиши масаласи ҳал этилади.

В статье рассмотрены вопросы методики проведения и расчета результатов экспериментального исследования по конденсации водяного пара на вертикальных трубках со специально профилированными ребрами. Для изучения теплообмена при конденсации водяного пара в виде стекающей пленки жидкости на наружной поверхности вертикальных трубок создана лабораторная установка, на которой были проведены экспериментальный исследования. Одним из методов интенсификации процесса теплообмена является усовершенствование геометрической конфигурации теплообменной поверхности на греющей стороне теплообменной трубки, где происходит конденсация пара за счет теплоотдачи, основанная на снижении термического сопротивления пристеночных слоев образовавшегося конденсата. Этот метод основан на увеличении площади поверхности теплообмена трубок теплообменного аппарата специально профилированными ребрами (оребрение). При этом решается важная научная задача отрыва потока конденсата пара с теплообменной поверхности, что приводит к непосредственному контакту пара с холодной поверхностью трубки и увеличивает теплоотдачу.

The article deals with the issues of the methodology for carrying out and calculating the results of an experimental study on the condensation of water vapor on vertical tubes with specially profiled ribs. To study heat transfer during condensation of water vapor in the form of a falling liquid film on the outer surface of vertical tubes, a laboratory setup was created, on which experimental studies were carried out. One of

the methods for intensifying the heat transfer process is to improve the geometric configuration of the heat exchange surface on the heating side of the heat exchange tube, where steam condenses due to heat transfer, based on a decrease in the thermal resistance of the near-wall layers of the formed condensate. This method is based on increasing the heat exchange surface area of the tubes of the heat exchanger with specially profiled ribs (ribbing). At the same time, an important scientific problem is solved, the separation of the steam condensate flow from the heat exchange surface, which leads to the contact of steam directly with the cold surface of the tube and increases heat transfer.

Введение. Увеличение тепловой мощности теплообменных аппаратов за счет интенсификации теплообменных процессов со снижением резкого увеличением массо - габаритных характеристик оборудования является актуальной задачей. Особое внимание заслуживает вопрос конденсации пара на трубчатых оребренных поверхностях. В настоящее время данный вопрос рассматривается во множестве научных работ, где предложены различные методы и способы оребрения, приводящие к улучшению теплоотдачи при конденсации пара в трубчатых теплообменных аппаратах.

Известно, что при обильной конденсации греющего пара на поверхности вертикально расположенной трубки, образуется поток конденсата, увеличивающий свои размеры по мере стекания вниз, что в свою очередь приводит к повышению термического сопротивления слоя конденсата, что оказывает влияние на процесс теплоотдачи [1 - 3].

Теплообменники являются частью технологических систем, наиболее эффективны из них трубчатые теплообменники, которые используют скрытую теплоту жидкости или газа. Например, при переходе из жидкой фазы в газовую (испарение) или из газовой в жидкую фазу (конденсация) изменяется определенное количество тепла. В настоящей работе рассмотрены вопросы экспериментального изучения и анализа результатов конденсации пара на оребренной и гладкой поверхностях вертикальной трубы малого диаметра.

Показатели теплообмена в процессе конденсации водяного пара на поверхности вертикальной трубы хорошо изучены в работах [4, 5]. Такие показатели имеют важное значение при проектировании трубчатых теплообменников, особенно теплообменников с вертикальными трубами.

Автор данной работы исследовал процесс конденсации пара на вертикальных трубах со специально профилированными ребрами, разработанными с целью интенсификации теплообмена при пленочном течении образовавшегося конденсата.

Для проведения экспериментальных исследований была создана установка, устройство и принцип работы которой описаны в работе [6]. Исследования проводились с трубами, имеющими два вида теплообменной поверхности: гладкая и оребренная специально профилированной насадкой. Условия проведения экспериментов устанавливались абсолютно одинаковыми для обоих типов поверхностей. Данные, полученные для различных типов поверхности, сопоставлялись. Диапазон изменения параметров пара и охлаждающей воды в каждом отдельном эксперименте устанавливался соответствующим ранее установленному для второго типа поверхности.

Методика проведения эксперимента. Во всех экспериментах диапазон изменения плотности теплового потока принимался от 17 до 28,5 кВт/м², а диапазон изменения разности температуры охлаждающей воды при конденсации 32 ÷ 41°C.

Начальные параметры теплоносителей (расход, температура и давление) во всех экспериментах были одинаковыми, а результаты измерений регистрировались.

На рис. 1, 2 и 3 приведены рассчитанные значения коэффициента теплопередачи, теплоотдачи и выхода конденсата для гладких и оребренных поверхностей, полученные на основе экспериментальных данных, проведенных при $Q =$

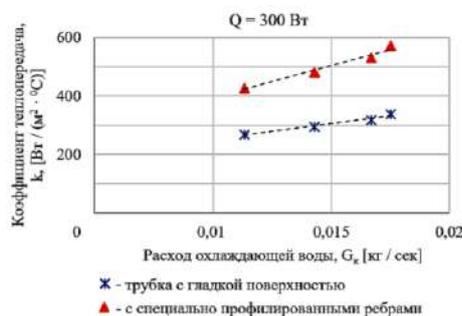


Рис. 1. Сравнение коэффициента теплопередачи для гладкой и оребренной специально профилированными ребрами труб

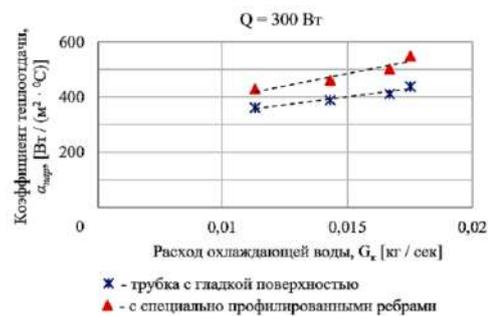


Рис. 2. График изменение коэффициента теплоотдачи водяного пара в гладкой и трубе со специально профилированными ребрами с изменением расхода охлаждающей воды

300 Вт и расходе охлаждающей воды $G=0,01133 \div 0,0175$ кг/сек.

Анализ данных показывает, что при различных значениях расхода и постоянной температуре охлаждающей воды, коэффициент теплоотдачи увеличивается, так как увеличение поверхности теплообмена приводит к повышению теплоотдачи и соответственно, увеличивается выход конденсата.

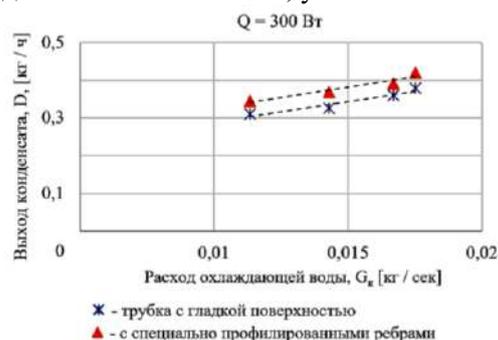


Рис. 3. График зависимости выхода конденсата от расхода охлаждающей воды

Далее была проведена обработка экспериментальных данных, для неё была применена следующая методика.

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В случае когда один из теплоносителей меняет фазовое состояние, например, конденсацию пара при охлаждении его водой, тогда для определения теплоты имеем:

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{п}}(h_{\text{п}} - h_{\text{к}}) = G_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}); \quad (1)$$

где $G_{\text{п}}$, $G_{\text{в}}$ – расход пара и охлаждающей воды, кг/сек; $h_{\text{п}}$, $h_{\text{к}}$ – энтальпии пара на входе в теплообменник и конденсата на выходе из него, кДж/кг; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость охлаждающей воды, кЖ/(кг·°C); температура охлаждающей воды на входе и выходе теплообменника, °C.

При расчете теплового баланса охлаждающей воды, поступающей в теплообменник, учитывалась температура воды на входе и выходе. Для этого применялся термодатчик DS18B20:

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}). \quad (2)$$

Методом невязки теплового баланса проводилась оценка сходимости баланса по воде и пару, определяемой по формуле [7]:

$$\bar{\delta} = \frac{2|Q_{\text{п}} - Q_{\text{в}}|}{Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}}} \cdot 100 \%,$$

невязка теплового баланса не превышала 5%, что является корректной величиной.

Величину коэффициент теплопередачи при конденсации $\alpha_{\text{пл}}$ [Вт/(м²·°C)] можно рассчитать с помощью уравнений, полученных теоретическим или экспериментальным путем. Согласно уравнению Нуссельта [8]. (формула (3)) коэффициент теплопередачи выражается количеством конденсата и термического сопротивления ламинарного потока пленочного конденсата на поверхности стенки:

$$\alpha_{\text{п}} = 0,9428 \cdot \left[\frac{g \cdot \rho_{\text{к}} \cdot r \cdot \lambda_{\text{к}}^3}{v_{\text{к}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{ст}}) \cdot h} \right]^{0,25} \quad (3)$$

Эффект волны, возникающий при движении потока пара в трубе, увеличивает теплопередачу при конденсации примерно на 20,6%, это показано в работе Milan Kubin [9] следующей формулой:

$$\alpha_{\text{п}} = 1,137 \cdot \left[\frac{g \cdot \rho_{\text{к}} \cdot r \cdot \lambda_{\text{к}}^3}{v_{\text{к}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{ст}}) \cdot h} \right]^{0,25} \quad (4)$$

В основе функции $\alpha = C \cdot q^n$ лежит удельный тепловой поток q [Вт / м], а константа приставки C зависит от типа поверхности и свойств жидкости, и принимается во многих случаях $C=1,537$ [10]. Кроме того, были рассчитаны данные по среднему коэффициенту теплоотдачи при конденсации пара на наружной поверхности вертикальных труб с оребрением определялся по формуле [11]:

$$Nu_{\text{п}} = 0,34 \frac{\bar{\theta}^{0,15} \cdot h^{1,1} \cdot g^{-0,667}}{H^{0,25} \cdot S \cdot \cos \varphi} \cdot We^{0,21} \cdot (Ga \cdot Pr \cdot K)^{0,37} \quad (5)$$

где $\bar{\theta} = 0,7n^{-0,4}We^{-0,1}$ при $\beta < 1, nWe^{0,25} \geq 1$;

$\bar{\theta} = 0,7\beta^{-0,07}(nWe^{0,25})^m$ при $\beta \geq 1, nWe^{0,25} \geq 1$; $m = -0,4\beta^{-0,15}$;

$\bar{\theta} = 1 - 0,23\beta^{-0,36}(nWe^{0,25})^{1,2}$ при $\beta \geq 1, nWe^{0,25} < 1$;

$$n = \left[\frac{\rho'^2 \cdot g \cdot r \cdot \lambda_{\text{к}}^2 \cdot h^7 \cdot \cos \varphi}{4 \cdot \mu' \cdot b^4 \cdot \lambda_{\text{к}}^4 \cdot \Delta t_{\text{н}}} \right]^{0,25}; We = \frac{\sigma \cdot \cos \varphi}{g \cdot \rho' \cdot b \cdot h \cdot (1 + \tan \varphi)}; \beta = \frac{h \cdot \tan \varphi}{h}; Ga = \frac{g a_{\text{жк}}^3}{v_{\text{к}}^2}; K = \frac{r}{c_{\text{в}} \Delta t_0};$$

где a – половина ширины межреберной канавки, м; b – половина толщины ребра на торце, м; h – высота ребра, м; H – длина трубы, м; S – шаг ребер, м; φ – острый угол между боковой поверхностью ребра и его осевой плоскостью, град.; ρ' – плотность воды на линии насыщения, кг/м³; ρ'' – плотность сухого насыщен-

ного пара, кг/м³; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности металла, Вт/(м²·°C); λ' – теплопроводности на линии насыщения, Вт/(м²·°C); r – теплота парообразования, Дж/кг; We – критерий Вебера; Δt_0 – температурный напор в основании ребра, °C; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; K – критерий фазового перехода; μ' – коэффициент динамической вязкости на линии насыщения, Па·с; ν' – коэффициент кинематической вязкости на линии насыщения, м²/с; Ga – критерий Галилея; c_p – теплоёмкость пара, Дж/(кг·°C); Pr – критерий Прандтля.

Во всех опытах поддерживался турбулентный режим течения охлаждающей воды ($Re_v > 10^4$), поэтому для расчета коэффициента теплоотдачи со стороны воды использовалась формула [12]:

$$\alpha_v = 0,021 Re_v^{0,8} Pr_v^{0,43} \left(\frac{Pr_v}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \frac{\lambda_v}{d_{вн}}. \quad (6)$$

Разность температур входа и выхода охлаждающей воды не превышала 10 °C, поэтому для определения средней разности температур между теплообменивающимися средами использовалась формула:

$$\Delta \bar{t} = \frac{(t_n - t_{ввых}) - (t_k - t_{вх})}{\ln \left(\frac{t_n - t_{ввых}}{t_k - t_{вх}} \right)}. \quad (7)$$

У теплообменного аппарата, установленного на экспериментальном стенде, для внутренней трубы выполняется условие $d_{нар}/d_{вн} < 2$, поэтому коэффициент теплопередачи рассчитывают по следующей формуле как теплопередача через плоскую стенку с учетом коэффициента оребрения со специально профилированными оребренными трубами:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p f_{глад.}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст.}} + \frac{1}{\alpha_v} + R_{заг}}; \quad (8)$$

где $f_{ор.}/f_{глад.}$ – коэффициент оребрения учитывающий увеличение площади теплообмена, $f_{ор.}$ – площадь с оребрением и $f_{глад.}$ – площадь гладкой трубы.

Вывод. Специально профилированные ребра позволяют повысить эффективность теплообмена, увеличить поверхность теплообмена, что приводит к увеличению выхода конденсата и коэффициента теплопередачи, по сравнению с гладкими трубами.

Предлагаемая методика повышения эффективности теплообмена может быть применена для различных теплообменных аппаратов с вертикальными охлаждающими трубами.

Литература

1. Ефимов А.Л., Глазов В.С., Юркина М.Ю. Интенсификация теплообмена. - Москва, Издательство МЭИ. 2016. - С. 33-38.
2. Кузьма-Кичта Ю.А. Методы интенсификации теплообмена. - М.: МЭИ, 2001, - 112 с.
3. Эшкуватов Л.М. Влияние оребрения на повышение эффективности теплообмена в выпарных аппаратах / Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки

и образования в условиях глобализации»: Сб. науч. трудов. -Переяслав, 2020. -С. 522-524.

4. Эшкуватов Л.М., Ташбаев Н.Т., Бабаходжаев Р.П. Анализ современного состояния эффективности конденсации водяного пара на поверхности вертикальной трубки и разработка экспериментального стенда, // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2021 №2, ТГТУ, - С. 94 – 101.

5. Эшкуватов Л.М., Бабаходжаев Р.П., Ташбаев Н.Т., Анализ методов обработки экспериментальных данных для конденсации пара на вертикальных трубах. /«Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы». Сборник материалов, труды международной конференции. КИЭИ, - С. 429 – 433, (2021).

6. Эшкуватов Л.М., Бабаходжаев Р.П. Экспериментальная установка для исследования процесса конденсации пара в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах / Сборник статей. V Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». -Кузбасс ГТУ. 2020. - С. 150-154.

7. Кондратьев А.В. Расчетно – экспериментальное исследование тепло-гидравлических характеристик теплообменных аппаратов с конденсацией пара внутри труб // Дисс. кандидата технических наук. - М.: КФ ВМSTU, Bauman MSTU, 2018. – 109 с.

8. W. Nusselt, Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes, Z. Ver. Dtsch. Ing. 60 (27) (1916). - С. 541 - 546.

9. Milan Kubín, Jiří Hírš, Josef Plášek Experimental analysis of steam condensation in vertical tube with small diameter, Int. J. Heat Mass Transfer 94 (2016), pp. 403-410.

10. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. – С. 99 - 106.

11. А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебно-справочное пособие. – М.: Теплотехник, 2011. – С. 9 - 46.

12. Иванов А.Н., Белоусов В.Н., Смородин С.Н. Теплообменное оборудование промпредприятий: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – С. 41 – 46.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 622.65

**ИСПЫТАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В РЕЖИМЕ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ****А.Р. Иванисова, Ж.Ю. Усмонов, Б.Б. Баходиров**

Butun dunyoda muqobil energiya manbalaridan foydalanishga asoslangan takomillashtirilgan qurilmalar va tizimlarning joriy etilish jarayoni kuzatilmoqda [1]. Bugungi kunda davlat energetik siyosatining eng dolzarb vazifalaridan biri energetik resurslardan tejamkorligi va ulardan samarali foydalanish hisoblanadi. Issiqlik nasoslarini ekspluatatsiyaga kiritish bu vazifani amalga oshirishning samarali usuli hisoblanadi. Past haroratli ikkilamchi energiya manbalari, yer osti suvlari, tashqi muhit havosi hamda tuproq qatlamining issiqligi harorati issiqlik manbai sifatida xizmat qilishi mumkin. Yoz faslida konditsionerlardan foydalanish energetika tizimiga, xususan elektr ta'minoti tizimiga og'ir yuklamalar tushishiga olib keladi. Binolar energiya samaradorligini oshirishda asosiy obyekt hisoblanadi chunki ularning energiya sarflash ko'rsatgichi respublikada 49% ni tashkil qiladi.

Islom Karimov nomidagi TDTUda joylashgan "Quyosh issiqlik nasosi" laboratoriya dastgohida, issiqlik nasosini xona havosini sovutish tizimida qo'llash tajribasi va solishtirma analizi o'tqazildi. Qurilmani mazkur rejimda sinovdan o'tqizish jarayonida issiqlik nasosining nazariy va amaliy sovutish koeffitsientkarining solishtirma analiziga alohida e'tibor berilgan. Mazkur ilmiy maqolada reversiv kompressorli issiqlik nasosining aktiv ravishda havoni sovutish va konditsionerlash rejimida ishlash prinsipi, sinov natijalari hamda samaradorlikning matematik hisobi tahlil qilingan.

Во всем мире наблюдается внедрение усовершенствованных установок и систем, основанных на использовании альтернативных источников энергии [1]. Одной из важнейших задач энергетической политики государства, на сегодняшний день, является задача ресурсоэнергосбережения. Одним из вариантов решения является внедрение в эксплуатацию тепловых насосов. Источником низкопотенциальной теплоты для тепловых насосов может служить грунтовая вода, наружный воздух, тепло грунта, низкопотенциальные вторичные энергоресурсы. Использование кондиционеров, работающих на охлаждение в летний период, приводит к большим нагрузкам в системах энергетики, в частности, в системах электроснабжения. Здания являются ключевым объектом повышения энергоэффективности и сокращения электропотребления, так как эти объекты затрачивают порядка 49% от общего энергопотребления в республике.

В ТашГТУ им. И.А.Каримова, на кафедре «Термодинамика и теплотехника», в научно-исследовательской лаборатории «Солнечно - теплонасосная станция» были проведены испытания, и проведен сравнительный анализ эффективности работы теплового насоса для кондиционирования и охлаждения воздуха. При испытании установки в данном режиме, особое значение придавалось сравнению действительного и теоретического холодильного коэффициента теплового насоса. В данной статье анализируется работа реверсивного

компрессорного теплового насоса в активном режиме кондиционирования и охлаждения воздуха, приведены результаты испытания, математические расчеты эффективности данных установок.

The introduction of improved installations and systems based on the use of alternative energy sources is observed all over the world [1]. One of the most important tasks of the energy policy of the state, today, is the task of resource and energy conservation. One of the options for solving energy saving is the introduction into operation of heat pumps. The source of low-grade heat for heat pumps can be ground water, outside air, ground heat, low-grade secondary energy resources. The use of air conditioners during summer period leads to heavy loads in energy systems, in particular, in power supply systems. Buildings are a key target for increasing energy efficiency and reducing energy consumption, since these facilities consume about 49% of the total energy consumption in the republic.

In TSTU named after I.A. Karimov, at the department "Thermodynamics and heat engineering", in the research laboratory "Solar heat pump station" tests and a comparative analysis of the efficiency of the heat pump for air conditioning in the room were carried out. During experiment of the installation in this mode, particular importance was attached to the comparison of the actual and theoretical coefficient of performance of the heat pump. This article analyzes operation of a reversible compressor heat pump in the active mode of air conditioning and cooling, the test results, mathematical calculations of the efficiency of these installations.

Введение. Многократное повышение стоимости добываемых и производимых топливно - энергетических ресурсов, истощение запасов традиционного органического топлива и экологические последствия его сжигания, возрастающая с каждым годом потребность в тепловой энергии жилищно-коммунального и промышленного хозяйства, ужесточающиеся требования по обеспечению экологической чистоты технологических процессов и охраны окружающей природной среды, обусловили все более широкое использование эффективного энергосберегающего оборудования – тепловых насосов (ТН) и технологий на их основе [2].

Рабочие процессы ТН подобны процессам в холодильной машине [3,4,5]. Извлекая тепло из окружающей среды, тепловой насос передает его контуру отопления. ТН характерны еще тем, что способны осуществлять, кроме отопления дома и подогрева воды для бытовых нужд, функцию охлаждения помещений.

Популярность ТН возникла во многом из-за того, что тепловая энергия получается непосредственно на месте установки оборудования. При высокой экологичности (нет шума, вибрации, запахов, огня) обладает высокой степенью пожаро - и взрывобезопасности, т.к. нет процессов горения топлива и выбросов продуктов сгорания [3,6].

В ряде стран использование тепловых насосов предусмотрено законодательством, например, в США согласно федеральному законодательству для новых общественных зданий используются только ТН, а в Германии предусмотрена дотация на установку ТН в 400 евро за каждый кВт мощности [7]. Наиболее широкое применение ТН нашел в домашнем теплоснабжении и кондициониро-

вании воздуха, особенно в США, где требуется круглогодичное кондиционирование: охлаждение в летние месяцы и нагрев в зимние [8].

По данным Мирового энергетического агентства (МЭА), в 2020 году за счет применения теплонасосных технологий в развитых странах мира обеспечивалось около 75 % отопления. К этому рубежу подошли уже Швеция (более 70 %), США, Япония, КНР и другие страны (около 40-50 % и выше) [9]. В Республике Узбекистан, как и в других странах СНГ, внедрение ТН не получило достаточно широкого распространения и находится на начальной стадии по целому ряду причин (относительно низкая стоимость органического топлива, ориентация на централизованное теплоснабжение, отсутствие необходимого оборудования, квалифицированных специалистов) [6, 10-12].

На лабораторном стенде «Солнечно-теплонасосная станция» были проведены испытания работы теплового насоса в режиме активного кондиционирования воздуха в помещении. В данной работе описаны результаты испытаний, анализ работы теплового насоса в режиме охлаждения и его эффективность.

Основная часть. В системах теплоснабжения республики потенциал энергосбережения, по оценкам отечественных и зарубежных экспертов, составляет около 50%. Следовательно, за счет энергосберегающих мероприятий можно снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20 % от его общего потребления [13].

Основным (ведущим) источником энергии в этой схеме служит тепловой насос «воздух-вода», который в зависимости от погодных условий работает в реверсивном режиме для тепло- или холодоснабжения зданий [14,15].

Основными элементами испарительных холодильных машин являются: компрессор, конденсатор, испаритель и устройство для дросселирования холодильного агента - терморегулирующий вентиль (ТРВ). На рисунке 1 представлена принципиальная схема лабораторного стенда. В испарителе при температуре t_0 , и при давлении p_0 жидкий холодильный агент кипит за счет отвода тепла от охлаждаемой среды. Пары хладагента, образующиеся в результате кипения, отсасываются компрессором КМ, сжимаются до давления конденсации p_k , и нагнетаются в конденсатор (в режиме охлаждения роль конденсатора выполняет пластинчатый теплообменник ПТ1). В конденсаторе пары охлаждаются до температуры конденсации и конденсируются, отдавая тепло теплоносителю контура 1. Из конденсатора жидкий холодильный агент поступает в регулирующий вентиль ТРВ2 где дросселируется при этом давления понижается от p_k до p_0 , а температура соответственно от t_k до t_0 , и поступает в испаритель (в режиме охлаждения роль испарителя выполняет пластинчатый теплообменник ПТ2) где хладагент кипит, охлаждая теплоноситель контура 2, после чего цикл повторяется [16,17].

Существует два основных вида кондиционирования помещения тепловым насосом различные по принципу действия, потреблению энергии и эффективности холодоснабжения:

- пассивное кондиционирование;
- активное кондиционирование.

Пассивное кондиционирование еще называют естественным. Оно требует минимальных затрат электроэнергии, однако будет менее производительным

ТЕПЛО- И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

[18,19]. Пассивное кондиционирование, как правило не покрывает полную нагрузку по охлаждению дома, однако является экономически выгодным т.к. коэффициент преобразования достигает значения 15-20.

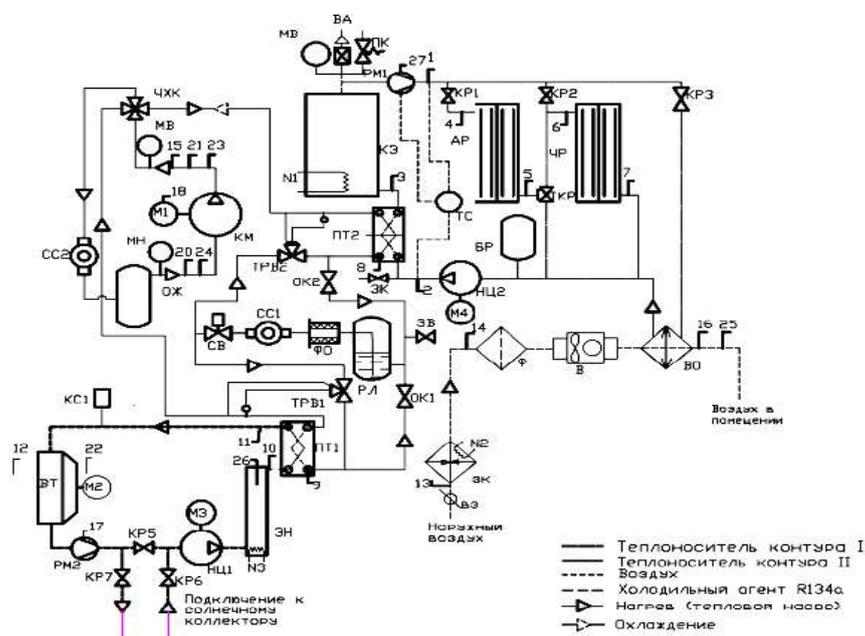


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда: КЭ – электрический котел, БР – бак расширительный, АР – алюминиевый радиатор, ЧР – чугунный радиатор, КР – кран регулировочный, ТКР – трехходовой кран регулировочный, ВА – воздухоотводчик автоматический, МВ – манометр воды, НЦ – насос циркуляционный, ПК – предохранительный клапан, КМ – герметичный компрессор, ОЖ – отделитель жидкости, РД – ресивер линейный, ТРВ – терморегулирующий клапан, ЧХК – четырехходовой клапан, СС – смотровое окно, ОК – обратный клапан, ВТ – воздушный теплообменник, ЭН – электрический нагреватель, ПТ – пластинчатый теплообменник, ФО – фильтр осушитель, СВ – соленоидный вентиль, МН – манометр низкого давления, МВ – манометр высокого давления, ФВ – фильтр воздушный, В – каналный вентилятор, ВО – теплообменник «вода–воздух», ЭК – электрический калорифер, ВЗ – воздушная заслонка, М – электродвигатель (мотор), ТС – тепловой счетчик, РМ – расходомер, ЗК – запорный кран, ЗВ – заправочный вентиль, КС – контрольный сосуд

Активное кондиционирование доступно для всех типов тепловых насосов. При активном охлаждении тепловой насос работает в обратном цикле [1]. Еще этот процесс называют «Реверсным режимом». При активном охлаждении в тепловом насосе используется компрессор. С помощью переключения трехходового клапана функции испарителя и конденсатора меняются местами.

Авторами были проведены испытания реверсивного теплового насоса, на лабораторном стенде «Солнечно - теплонасосная станция», в режиме охлаждения и кондиционирования воздуха. На рис.2 показаны значения всех параметров работы ТН.

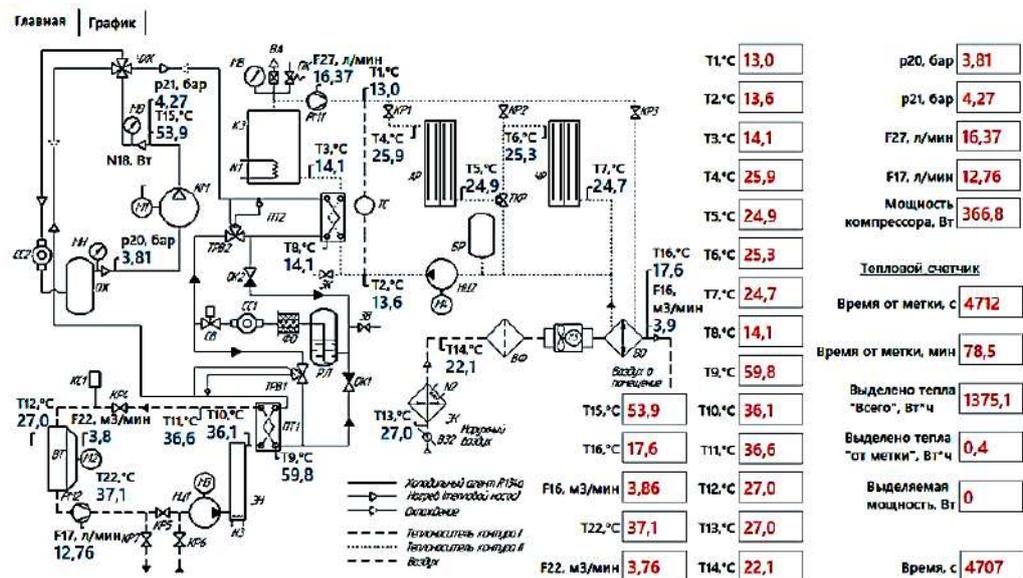


Рис. 1. Данные, полученные в ходе работы теплового насоса

На основании полученных данных были произведены расчеты:

Количество тепла, подведенного к 1 кг холодильного агента в испарителе, или массовая удельная холодопроизводительность равна:

$$q_0 = i_1 - i_4 = 420 - 270 = 150 \text{ кДж/кг.}$$

– Удельное количество тепла, отведенное в конденсаторе:

$$q_k = i_2 - i_3 = 460 - 270 = 190 \text{ кДж/кг.}$$

– Удельная работа сжатия, затраченная в компрессоре:

$$l = i_2 - i_1 = 460 - 420 = 40 \text{ кДж/кг.}$$

В процессе дросселирования теплосодержание жидкости не изменяется поэтому $i_3 = i_4$.

– Теоретический холодильный коэффициент определяется на основании анализа построения цикла в термодинамической диаграмме, т.е. без учета потерь при совершении цикла:

$$\epsilon^T = \frac{q_0}{l} = \frac{150}{40} = 3,75.$$

– Действительная холодопроизводительность:

$$Q_0 = G_1 \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 2,16 \cdot 1439 \cdot (13,6 - 13) = 1864,9 \text{ Вт;}$$

где $G_1 = V_1 \cdot \rho = 0,00212 \cdot 1018,89 = 2,16$ – массовый расход теплоносителя через испаритель, кг/с;

V_1 – объемный расход теплоносителя, м³/с (определяется методом перевода из F17).

– Действительный холодильный коэффициент:

$$\epsilon^D = \frac{Q_0}{N_{км}} = \frac{1864,9}{336,8} = 5,53;$$

где $N_{км}$ – действительная мощность компрессора, Вт.

Использование фотоэлектрических панелей и солнечных коллекторов в комбинации с ТН, влияет на энергоэффективность установки, а также ресурсосбережение топливных энергетических запасов республики [20]. Как в данном эксперименте, на привод компрессора и другого оборудования ТН в режиме охлаждения затрачивалась электрическая энергия, выработанная солнечными фотоэлектрическими панелями компании «Solar Nature Group», вместо централизованной системы электроснабжения.

Выводы. Реверсивный тепловой насос является универсальным устройством, которое может работать на отопление, ГВС, охлаждение и кондиционирование. ТН в режиме охлаждения и кондиционирования воздуха имеет высокий холодильный коэффициент преобразования энергии (больше 5), что обеспечивает самое экономное энергопотребление. Температура в помещении 30 м² составляла 28°С по ртутному термометру, и в ходе работы теплового насоса на охлаждение, температура опустилась до отметки в 21°С, через 28 минут работы ТН. Результаты наших испытаний, показывают, что использование возобновляемых источников энергии не только возможно, но и экономически выгодно, несмотря на необходимость первичных капиталовложений.

Литература

1. Раяк М.Б. Развитие зарубежных и отечественных систем отопления и вентиляции гражданских и производственных зданий. // М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 3 с.
2. Горшков В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор / Справочник промышленного оборудования. 2004. № 2.
3. Гашо Е.Г. Козлов С.А. и др. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание. – М.: Перо, 2016. – 6 с.
4. Каплан А. М. Тепловые насосы, их технико-экономические возможности и области применения. / Работы ЦКТИ. Кн. 4, вып. 1. - М.- Л.: Машгиз, 1947. - С. 8-12.
5. Розенфельд Л. М., Звороно Ю. С., Оносовский В. В. Применение фреоновой холодильной машины для охлаждения и динамического отопления. // Теплоэнергетика, 1961. – 6, - С. 35.
6. Xu Deng, Tao Lv. Power system planning with increasing variable renewable energy A review of optimization models. Journal of Cleaner Production, In press, corrected proof, Available online 23 October 2019, Article 118962.
7. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Тепловые насосы: учебное пособие. – Белгород: БГТУ, 2010. – 34 с.
8. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 95 с.
9. Алимгазин А.Ш. Алимгазина С.Г. Кислое А.П. Рахмалина С.Г. О перспективах и проблемах внедрения в республике Казахстан энергосберегающих и энергоэффективных теплонасосных технологий. - Казахстан. // Вестник ПГУ, №2, 2015.
10. Гомеллаури В. И., Везиришвили О. Ш. Опыт разработки и применения теплонасосных установок. // Теплоэнергетика, 1978. – 4, - С. 26.

11. Дзино А.А., Малинина О.С. Тепловые насосы: Учеб. -метод. пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2016. - 43 с.
12. Трубаев, П.А. Тепловые насосы: учеб.пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 143 с.
13. Захидов Р.А. Комбинированная система солнечного отопления и охлаждения с использованием теплового насоса / Р.А.Захидов, А.И.Анарбаев // Прикладная солнечная энергия, 2014. – №50. – С. 178–183.
14. Короли М.А., Иванисова А., Таубалдиев А., Усманов Ж., Гафурова М. Экспериментальные исследования реверсивного теплового насоса «вода-воздух» на лабораторном стенде «Солнечно-теплонасосная станция». Польша, EESJ №4 (56), 2020. - 54 с.
15. Короли М.А., Иванисова А.Р., Усманов Ж., Гофурова М., Таубалдиев А.А. Экспериментальные исследования реверсивного теплового насоса «вода-воздух» на лабораторном стенде «Солнечно-теплонасосная станция. /«Инновацион техника ва технологияларнинг кишлок хўжалиги — озик-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» 24-25 апрель, 2020. Ташкент. – 683 с.
16. Галаган В.В. Методические рекомендации по изучению реверсивного теплового насоса. Орел ГТУ, 2019. – 42 с.
17. Лосюк Ю.А. Лабораторные работы на стенде тепловые насосы. – Минск: БНТУ, 2013. – 50 с.
18. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2005. – 106 с.
19. Гельперин Н. И. Тепловой насос. - Л.: ГНТИ, 1931. - 130 с.
20. Климов Г.М., Цой Е.Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения: использование с применением тепловых насосов. / Методическое пособие. - Н.Новгород, ННГА-СУ, 2013. – 6 с.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 628.1

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА И ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА**

Т.Х. Насиров, А. Троицкий

Мақолада корхона бошқарувининг умумий тузилмаси таркибига кирувчи самарадорликни оширишга қаратилган, техник ва ташкилий чора-тадбирлар асосида энергия аудити ва энергияни бошқариш вазифалари кўриб чиқилган.

В статье рассмотрены задачи проведения энергетических аудитов и энергоменеджмента на основе технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности являющейся частью общей структуры управления предприятиями.

The research paper discusses the tasks of energy audits and energy management on the basis of technical and organizational measures aimed at improving the efficiency, which is part of the general structure of enterprise management.

В настоящее время высокая энергоёмкость производства и низкая энергоэффективность являются серьёзным препятствием устойчивого экономического развития страны. Вопросы экономии топлива, тепла и электроэнергии следует рассматривать в связи со сбережением совокупных производственных ресурсов, т.е., как элемент ресурсосбережения. Эффективность и приоритетность энерго-сберегающих мероприятий определять на основе не только энергетической, но и социальной, экологической и экономической оценок [1,2,3]. Возрастающее значение энергосбережения определяется затратами на прирост производства единицы энергии в 3 – 5 раз выше, чем на её экономию.

Абсолютным приоритетом среди энергосберегающих мероприятий, как в ТЭК, так и у потребителей, обладают так называемые мало затратные мероприятия, осуществляемые за счёт улучшения организации мероприятий, внедрения системы материального стимулирования, неукоснительного соблюдения правил использования энергии.

Кардинальное изменение технологии производства требует, как правило больших капитальных затрат и окупается за 5-7 лет и более, что потребует значительных инвестиций. При ограниченности финансовых ресурсов в техническом соревновании за инвестиции особое место занимают энергетические технологии, так как они оказывают влияние на все другие технологии.

Решение любых задач энергосбережения и повышения энергоэффективности производства требует создания и функционирования четкой системы энергоуправления (энергоменеджмента). Система энергоуправления предприятия обязательно должна иметь прямую связь между текущим контролем и управлением.

В свою очередь постановка и решение задач в системах энергоуправления невозможно без детального энергетического аудита (обследования) текущего состояния энергопользования на предприятиях (рис.1).

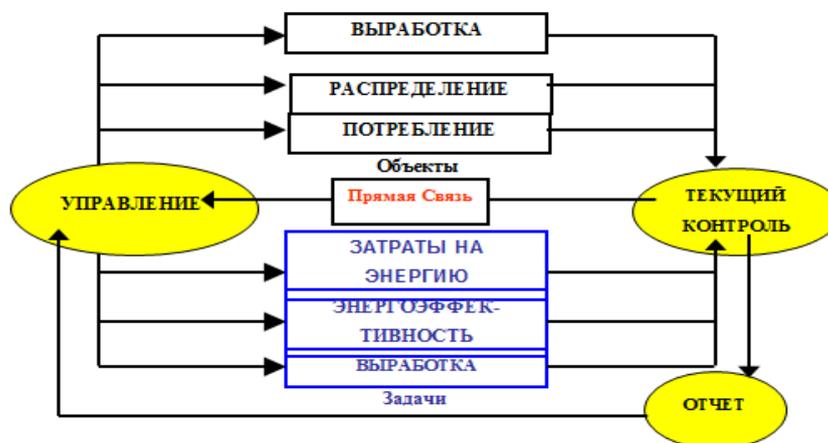


Рис. 1. Система энергоуправления

Управление энергией или энергетический менеджмент основан на контроле с помощью приборов. Внедрение приборов коммерческого учета энергоносителей для оплаты лишь первый и необходимый этап. Значительно больший объем разнообразных стационарных и переносных приборов необходим для налаживания текущего контроля за энергопотреблением и анализа возможностей повышения энергоэффективности. Не только крупные компании, но и небольшие предприятия в развитых странах используют сегодня программы непрерывного контроля энергопотребления с компьютерной обработкой данных и постановки задач по энергосбережению.

Затраты, необходимые для проведения энергоаудитов и организации работ по энергосбережению несоизмеримы с тем эффектом, который может быть получен в результате реализации рекомендаций и предложений. Экономический эффект от инвестиций в эту область даже в лучших компаниях мира, имеющих высокий уровень энерготехнологий, на порядок превышает объем инвестиций [4-6].

Таким образом, решение обеих задач (проведение аудитов и мониторинг энергопотребления) требует закупок или собственного производства приборов технического учёта и контроля расхода энергоносителей, а также подготовки специалистов для аудиторских и производственных служб по энергопотреблению.

Опыт показывает, что многие предприятия могут значительно снизить свои энергетические затраты, по крайней мере, на 10 – 15 % путем организации системы энергоменеджмента.

Внедрение энергоменеджмента может быть начато с существующих возможностей и затем скорректировано в соответствии с новыми ресурсами и требованиями.

Энергоменеджмент является набором простых повторяющихся мероприятий: разработка энергетической политики, снятие и занесение данных по энергопотреблению и разработка энергетических бюджетов; начало мероприятий по энергосбережению, мониторинг энергопотребления, анализ существующих

показателей, как основы для обновленных бюджетов, планирование новых энергосберегающих мероприятий и т.д. [7-8].

Создание системы энергоменеджмента начинается с осознания её необходимости и закрепления этого понимания документально.

Необходимо разработать положение об энергосбережении на предприятии. Этот документ должен включать:

- Декларацию энергетической политики предприятия, описывающую цели энергосбережения и задачи на каждом этапе.
- Принципы распределения обязанностей и ответственности за проведение работ по энергосбережению.

Обязанности и ответственность должны быть адекватны возможностям. Так, практически на каждом предприятии эти обязанности закреплены за энергослужбой, однако их оборудование только распределяет да иногда преобразует энергию. Фактические потребители ресурсов — технологические подразделения, имеют задачу выпуска продукции, и зачастую — любой ценой.

Энергоменеджмент становится неотъемлемой частью системы модернизации предприятия. Успешное введение энергетического менеджмента в большой степени зависит от отношения к нему руководства предприятия. Ощутимые результаты могут быть получены только в том случае, если руководство проявляет инициативу. Необходимо планомерно налаживать систему управления энергопотреблением во всех её аспектах: техническом оснащении предприятий, создании структуры и процедуры энергоменеджмента, обучении персонала.

Энергетический менеджмент представляет собой совокупность технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов и являющейся частью общей структуры управления предприятием. В нашей стране энергетический менеджмент начал внедряться в практику хозяйствования после провозглашения республики самостоятельным государством. Цели энергетического менеджмента должны быть достижимыми, реальными и соответствующими условиям эколого-экономической безопасности. Основная задача его состоит в проведении комплексного анализа энергопотребления и на его основе - проведение энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Для того чтобы управлять энергосбережением, необходимо знать величины энергопотребления. Для этого производятся сбор данных о потреблении энергоресурсов, их анализ, составляется отчёт и намечается план действий по следующей схеме:

- оценка фактического состояния энергоиспользования на предприятии, выявление причин возникновения и определение значений потерь топливно-энергетических ресурсов;
- разработка плана мероприятий, направленных на снижение потерь топливно-энергетических ресурсов;
- выявление и оценка резервов экономии топлива и энергии;
- определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- определение требований к организации по совершенствованию учёта и контроля расхода энергоносителей;

- получение исходной информации для решения вопросов создания нового оборудования и совершенствования технологических процессов с целью снижения энергетических затрат, оптимизации структуры энергетического баланса предприятия путём выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования подведённых и вторичных энергоресурсов.

Оценку текущего энергопотребления с достоверными данными по объёмам потребления всех ресурсов и суммам средств, затрачиваемым на них, по предприятию в целом, по отдельным участкам, и их удельные величины на каждый вид продукции.

Программу мероприятий по энергосбережению, содержащую систему мер организационного, правового и технического характера, направленных на постоянное и планомерное снижение издержек, при улучшении производственных, экономических и экологических показателей предприятия, и условий труда его персонала.

Таким образом, энергетическое обследование укажет правильные направления деятельности, а организовать и проводить практическую работу по повышению энергетической эффективности предприятия - задача его руководства и специалистов.

После проведённого аудита осуществляется мониторинг и планирование необходимых мероприятий по устранению выявленных недостатков в энергопотреблении. Мониторинг и планирование означает сбор данных о потреблении и их сопоставление с основными показателями объёма производства.

Результатом аудита является детальное изучение того, как энергия закупается, распределяется и используется. По данным его проведения выявляется возможность экономии энергоресурсов.

Таким образом для оценки эффективности энергоиспользования следует проводить обследование по основным следующим семи направлениям:

1. Состояние технического учёта:

- способы учёта (расчётный, приборный, опытно-расчётный);
- формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоёмким агрегатам;
- соответствие схемы учёта энергии структуре норм;
- оснащённость приборами расхода ТЭР (электросчётчики, теплосчётчики, расходомеры газа и жидкого топлива).

2. Состояние нормирования ТЭР:

- наличие на предприятии утверждённых в установленном порядке норм расхода энергоресурсов;
- охват нормированием статей потребления энергоресурсов;
- фактическая структура норм и соответствие её технологии и организации производства;
- динамика норм и удельных расходов за 3 предшествующие обследованию года.

3. Определение резервов экономии энергоресурсов, которые определяются на основании обследования энергопотребляющего оборудования технологических процессов.

4. Участие предприятия в регулировании графиков электрической нагрузки энергосистемы:

- предусматриваемые мероприятия по использованию энергоёмкого оборудования в качестве потребителей-регуляторов;

- режим работы предприятия в условиях ограничения мощности энергосистемы в осенне-зимний период.

5. Перечень и краткое описание важнейших оргтехмероприятий по экономии топлива и энергии, намеченных на текущий год планами предприятия и рекомендуемых по результатам проведения целевого обследования.

6. Выявленные источники неэкономного расходования энергии и топлива и оценки величины потерь их.

7. Основные показатели, характеризующие состояния энергоиспользования на предприятии.

Литература

1. Troitskiy A.V. Modern methods of energy checkup of buildings and structures. Theoretical & Applied Science 2 (2020): 39-43.

2. Troitskiy A.V. Methodology for conducting energy surveys of enterprises and organizations. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR): 114.

3. Насиров Т.Х. Повышение энергоэффективности – основа энергосбережения // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2011. Спецвыпуск. –С. 63-68.

4. Насиров Т.Х., Ситдилов Р.А. Энергетические обследования предприятий энергетической отрасли Узбекистана. –Ташкент:Фан ва технология. 2014. -198 с.

5. Аллаев К.Р. Энергетика Узбекистана и мира. –Ташкент:Фан ва технология. 2007.

6. Ситдилов Р.А. Энергетический аудит промышленных установок и технологических комплексов. /Конспект лекции для магистров специальности 5А522801 - Энергетический аудит и энергосбережение. Ташкент. 2005. -124 с.

7. Байдаков С.Л., Гашо Е.Г., Анохин С.М. ЖКХ России./ Деп. ВИНТИ, 3 марта 2005. № 305, - В2005. / www.rosteplo.ru/kniga_gkh.php.

8. Байдаков С.Л., Гашо Е.Г. Эффективные системы жизнеобеспечения мегаполисов - основа устойчивого развития государства. // Энергетическая политика. 2005. № 3.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.365

**ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОБЪЕКТОВ
С МЕЖПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СВЯЗЯМИ****Ф.А. Хошимов, И.У. Рахмонов, Д.А. Жалилова**

Мақолада электр энергия сарфи кўрсаткичларини (турли хил ишлаб чиқариши бўлинмаларидан келадиган катта ассортиментдаги ярим фабрикатларни аралаш ишлаб чиқариши бўлинмаси томонидан қайта ишлаш учун электр энергияси (W_a), яримфабрикатлар ишлаб чиқариши жараёнининг турли босқичларида ишлаб чиқаришининг турли босқичларидаги электр энергияси (W_{cm}) ва ишлаб чиқаришининг турли босқичларидан келадиган яримфабрикатларни ҳисобга олмасдан тайёр маҳсулот ишлаб чиқариши учун электр энергияси (W_{cb}) баҳолаш масалалари кўриб чиқилади. Электр энергиясини таҳлил ва прогноз қилишининг босқичма-босқич занжирли усули ва динамик моделлари таклиф қилинган бўлиб, мазур усул ва моделлар ёрдамида табиий ипак учун тиллани қайта ишлашдан бошлаб ёки сунъий мато учун йиғириши жараёни каби ишлаб чиқариши жараёнининг тўлиқ цикли учун бирлик тайёр маҳсулот ишлаб чиқариши учун энергетик харажатлар қийматини «Global carpeting production» текстиль корхонаси мисолида аниқланади.

В статье решаются вопросы оценки показателей расхода электроэнергии, используемой в различных производственных подразделениях комбината шелковых тканей на переработку различных полуфабрикатов от смежных производств (W_a), для изготовления продукции, реализуемой на сторону (W_{cm}), и для изготовления готовой продукции комбината без учета полуфабрикатов, поступающих со стороны (W_{cb}); при сложных производственных связях между объектами внутри комбината и смежными предприятиями отрасли. Предлагается поэтапный метод и динамические модели анализа и прогнозирования потребления электроэнергии. С помощью предложенных методов определяются величины энергозатрат на единицу готовой продукции при полном цикле производства, начиная от переработки кокона для натурального шелка до процессов кручения для выработка искусственного шелка на примере текстильного предприятия «Global carpeting production».

The article addresses the issues of assessing the indicators of energy consumption (for processing incoming to various production units in a large assortment of semi-finished products from related industries (W_a), for the manufacture at various stages of production processes of semi-finished products sold to the outside (W_{cm}) and for the manufacture of finished products of the plant without taking into account semi-finished products coming from the outside (W_{sb})) with complex production links between facilities inside the plant and related industry enterprises. A step-by-step chain method and dynamic models for the analysis and forecasting of electricity are proposed. With the help of the proposed ones, the amount of energy consumption per

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

unit of finished products is determined with a full production cycle, starting from the processing of a cocoon for natural silk or from spinning processes for artificial silk using the example of the textile enterprise "Global carpeting production".

Сложные производственные связи между объектами внутри шелкоткацкого комбината и смежными предприятиями отрасли создают определенные трудности в оценке потребления электроэнергии и уровня электрических нагрузок. К задачам, которые необходимо решать для оценки показателей электропотребления можно отнести [1-4]:

– определение количества электроэнергии, необходимого на переработку поступающих на различные производственные подразделения в большом ассортименте полуфабрикатов от смежных производств (W_a);

– определение расхода электроэнергии, необходимого для изготовления на различных стадиях производственных процессов полуфабрикатов, реализуемых на сторону (W_{cm});

– определение количества электроэнергии, необходимого для изготовления готовой продукции комбината без учета полуфабрикатов, поступающих со стороны ($W_{cб}$).

Эти показатели на предприятиях комбинате не поддаются определению прямыми расчетами, так как здесь необходимо учитывать энергоемкость и число переходов при переработке сырья и полуфабрикатов на различных этапах технологического процесса [5-7].

Ввиду отсутствия в данное время методов учета и расчета приведенных показателей, имеющиеся отклонения уровней электропотребления не могут быть правильно оценены, что серьезно отражается на достоверности энергетических расчетов. Ниже приводится предлагаемый нами поэтапный цепной метод анализа и прогнозирования, позволяющий решить поставленные задачи.

Рассмотрим влияние, которое оказывает на W_a поставка от смежных производств полуфабрикатов, на изготовление которых данным предприятием не затрачивается электроэнергия.

Решаем эту задачу для двух случаев [8-10].

1) При $\frac{a_i}{q_i} \leq \epsilon_i$ величина a_i отразится на удельном электропотреблении

данного конкретного объекта.

2) При $\frac{a_i}{q_i} > \epsilon_i$ величина $\frac{a_i}{q_i}$ помимо влияния на удельное электропотреб-

ление данного конкретного производства, может отразиться также на удельном электропотреблении других производственных объектов, на которых оно полностью или частично входит в объем перерабатываемой продукции.

Общий расход электроэнергии на переработку полуфабрикатов, поступающих со стороны, может быть определен из выражения:

$$W_a = \sum_{i=1}^n C_{cб_i} \cdot \Pi_{a_i} + (C_{cб_i} - C_i) \Pi_i; \quad (1)$$

где n – количество объектов, на которые от смежных производств поступают полуфабрикаты;

$C_{об_i}$ и C_i – удельные расходы электроэнергии на выпуск продукции, соответственно, из собственных ($Π_{сб_i}$) и с учетом поступающих со стороны полуфабрикатов каждого производственного подразделения ($Π_i$);

$Π_{a_i}$ – дополнительная величина выпуска продукции за счет переработки полуфабрикатов (a_i) от смежных предприятий.

Величину $Π_{a_i}$ определяем из выражения:

$$Π_{a_i} = \left[\left(\frac{a_2}{q_2} - \epsilon_2 \right) + \left(\frac{a_3}{q_3} - \epsilon_3 \right) + a_4 \right] \frac{1}{q_4}. \quad (2)$$

Эта величина для остальных объектов определяется аналогично.

Расход электроэнергии на переработку полуфабрикатов, поступивших со стороны только на один производственный объект в зависимости от числа переходов при переработке (при $\epsilon_i = 0$) может быть определен по формуле:

$$W_{a_i} = \frac{a_1}{q_1} \left(C_1 + \frac{1}{q_2} C_2 + \frac{1}{q_2 q_3} C_3 \dots \right). \quad (3)$$

Пример расчета количества электроэнергии, необходимой на переработку полуфабрикатов (a_i) приводится в табл 1.

Таблица 1

№	Показатели					
	Наименование производств	F	a_i	q_i	ϵ_i	$Π_i$
1.	Мотальное	165	–	3,3	13	50
2.	Крутильное	–	19	1,02	2	41.2
3.	Прядильное	–	16	3,8	4	9,5
4.	Ткацкое	–	73	1,06	–	124
5.	Красильно-отделочное	–	27	1,13	–	140
6.	Мотальное	–	23	9460	7500	–
7.	Крутильное	18,6	20,6	7200	6300	171000
8.	Прядильное	4,2	1,3	24000	18000	157800
9.	Ткацкое	69	34	3800	2660	403560
10.	Красильно-отделочное	24	30	4500	3420	259200

Величина электропотребления для предприятия «Global carpeting production» составляет 991560 кВт·ч/мес. или 53,8% от общих затрат электроэнергии на готовый продукт.

Определенная часть продукции, выпускаемая комбинатом, производится из собственного сырья – коконов, поступающих в начале технологического

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

процесса. Для определения количества электроэнергии, необходимого для изготовления готовой продукции комбината из собственного сырья без учета полуфабрикатов, поступающих со стороны, нами предлагается метод, учитывающий наличие любого количества переходов в технологическом процессе [11].

Расчет расхода электроэнергии ведем поэтапно по каждому переходу с применением удельных показателей расхода сырья и полуфабрикатов по следующей формуле:

$$W_{\text{сб}} = \frac{F}{q_1} C_1 + E \cdot I \cdot C_3 + \left[3 \frac{1}{q_4} - \left(\epsilon_4 + \frac{a_4}{q_4} \right) \right] C_4 +$$

$$+ \left\{ \left[3 \cdot \frac{1}{q_4} - \left(\epsilon_4 + \frac{a_4}{q_4} \right) + a_5 \right] \frac{1}{q_5} - \frac{a_5}{q_5} \right\} C_5 \quad (4)$$

где

$$E = \left(\frac{F}{q_1} - \epsilon_1 - \Pi_o + a_2 \right) - \left(\epsilon_2 + \frac{a_2}{q_2} \right);$$

$$I = \frac{\Pi'_1 + a_3}{q_3} - \left(\epsilon_3 + \frac{a_3}{q_3} \right);$$

$$3 = E + I + a_4 + \Pi_o.$$

Полученное выражение дает возможность определить величину энергозатрат на единицу готовой продукции при полном цикле производства, начиная от переработки кокона для натурального шелка или от процессов кручения для искусственного шелка [12-13].

Расход электроэнергии на выработку тканей из собственного сырья (коконов) для текстильного предприятия «Global carpeting production» определяется по формуле (4) с использованием данных табл. 1 и составляет 800 тыс·кВт.ч.мес. или 46,2% от общих затрат электроэнергии на готовую продукцию.

Весьма важным в процессе эксплуатации, а также при проектировании и планировании, является определение энергоемкости тканей при полном цикле производства.

С использованием (4) может быть дана приближенная оценка энергоемкости производства натуральных и искусственных шелковых тканей каждого цеха и комбината в целом. Ниже приводится предлагаемый способ оценки для предприятий с заданным соотношением объема продукции каждого ассортимента.

В частности, для крутильного производства, произведено разделение общего расхода электроэнергии на расход для выпуска натуральных изделий (W_n) и искусственных изделий (W_u):

$$W_n = K_n W_o + 2,55B + 0,56C + 6,4E + 0,37 +$$

$$+ 4,22I + 4,4K + 2,52F + 1,9M; \quad (5)$$

$$W_u = K_u W_o + 0,35A + 1,03D; \quad (6)$$

где K_n и K_u – коэффициенты соответственно, учитывающие долю постоянных составляющих расхода электроэнергии при выпуске натуральных и искусственных шелковых крученых нитей.

Величина удельного расхода электроэнергии составляет, для натурального крученого шелка $8500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$ и искусственного – $2400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$.

Таким образом, соотношение удельного расхода электроэнергии искусственного и натурального шелка для крутильного производства составит 1:0,28.

Аналогичным образом определяется этот показатель для ткацкого производства и для остальных производств, в которых одновременно выпускаются изделия из натурального и искусственного шелка.

Соотношение энергоёмкости, рассчитанное для ткацкого производства по указанному методу, составило 1:1,6, а для красильно-отделочного производства – 1:1,9.

Для определения энергоёмкости готовых шелковых тканей по комбинату в целом используем формулу (4) и табл. 1. Удельное электропотребление для готовых натуральных шелковых тканей $e_n = 650 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{тыс.м}^2$, для искусственных тканей – $e_u = 1260 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{тыс.м}^2$ и, соответственно, составляющие энергоёмкостей 1:1,94.

Таким образом, несмотря на то, что в процессе изготовления тканей из натурального шелка участвуют дополнительно мотальное и прядильное производства, энергоёмкость этих тканей для исследуемого нами производства приблизительно в 2 раза ниже энергоёмкости тканей из искусственного шелка. Это объясняется, во-первых, тем, что потребляемая мощность электроприводов и других электроприемников технологического оборудования ткацкого и красильно-отделочного производства для изготовления искусственных тканей выше. Во-вторых, при переработке искусственных тканей имеются дополнительные операции – шлихтовка на ткацком производстве и пропитывание тканей раствором аппретирующих веществ на красильно-отделочном производстве.

Литература

1. Дзевенцкий А.Я., Хошимов Ф.А., Ибрагимов К.Х. Метод анализа и расчёта энергоёмкости продукции предприятий, использующих комплексно электрическую энергию и энергию вторичных энергоносителей. // Промышленная энергетика. 2001. - № 4. - С.24 – 48.

2. Копцев Л.А., Копцев А. Л. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии на промышленном предприятии // Промышленная энергетика. 2011. - № 1. - С. 18-23.

3. Гринев А.В. Организация нормирования потребления ТЭР на промышленном предприятии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. - №1. - С.25-27.

4. Захидов Р.А., Ибрагимов К.Х., Хошимов Ф.А. Зависимость потенциала энергосбережения от энергетических характеристик машин и агрегатов /

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Материалы международной научно-технической и практической конференции по проблемам энергоресурс сбережения. – Ташкент, 2003. -С.125-127.

5. Баратов Н.А., Дзевенцкий А.Я., Захидов Р.А., Качергинский М.М., Хошимов Ф.А. Энергосбережение в промышленности. – Т.: Фан. 1993. -140 с.

6. Дзевенцкий А.Я., Хошимов Ф.А., Ибрагимов К. Х. Многовариантное решение задач анализа, прогнозирования и нормирования электроэнергии на промышленных предприятиях, выпускающих разнородную продукцию. // Промышленная энергетика. 2000 .- № 5. -С. 43 - 46.

7. Бацова С. В. Организация нормирования электроэнергии на промышленном предприятии. Экономическое стимулирование рационального использования электроэнергии / С.В. Бацова // Литье и металлургия: научно-производственный журнал. 2010. – № 3 (56). – С. 131 - 133.

8. Хошимов Ф.А. Оптимизация использования энергоресурсов в текстильной промышленности. – Т. Фан: 2005. – 252. с.

9. Рахмонов И.У., Жалилова Д.А., Ньматов Л.А., Азимова Г.У., Коптлеуов Т.Т. Программа определения значений корректировки удельного электропотребления / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №11097 21.05.2021.

10. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Анализ нормирования электропотребления на предприятиях черной металлургии//Журнал «Вестник ТашГТУ». Ташкент, 2019. - №1. С. 52-57.

11. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Основные направления по рациональному использованию электроэнергии на предприятиях с непрерывным характером производства // Проблемы энерго - и ресурсосбережения. Ташкент, 2020. - №4. - С. 198-203.

12. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Методика определения оптимальных пределов параметров электропотребления оборудования предприятий черной металлургии //Научно-технический журнал ФерПИ. Фергана, 2019. – Том 23 №3. -С. 147-150.

13. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Энергосбережение на предприятиях черной металлургии // Электронный научный журнал «Исследования технических наук». Россия, Москва, 2016. - №1(19) Январь-Март. –С. 3-5.

*Представлено Институтом проблем энергетики при
АН РУз и Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.313.3.045

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА К «ЗЕЛЕННОЙ»
ЭКОНОМИКЕ****М. Бобожанов, Э. Болте**

Ушбу мақолада "яшил" иқтисодиётга ўтишининг асосий сабаблари ва иссиқлик ва электр энергетикаси соҳасидаги мутахассислар, шунингдек, ушбу соҳада илмий тадқиқотлар олиб бораётган олимлар олдида турган вазифалар таҳлил қилинган. Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Электр таъминоти» кафедрасидаги профессор М.Бобожанов бошчилигидаги илмий гуруҳда олиб борилаётган илмий-тадқиқот ишлари ҳақида ҳам маълумот берилган.

В данной статье анализируются основные мотивы Перехода к «зелёной» экономике и вытекающие отсюда задачи для специалистов в сфере тепло- и электроэнергетики, а также для ученых проводящих научные исследования в данной области. Также приведена информация о научно-исследовательских работах, проводимых в научной группе на кафедре «Электроснабжение» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

This article analyzes the main motives for the transition to a "green" economy and the resulting tasks for specialists in the field of heat and electricity, as well as for scientists conducting research in this field. Information is also provided about the research work carried out in the scientific group at the Department of "Electrical Energy Supply" of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

Состояние вопроса. В 2018 году Республика Узбекистан ратифицировала Парижское соглашение (Париж, 12 декабря 2015 года) и взяла количественное обязательство определяемого на национальном уровне вклада по его реализации — снижение к 2030 году удельного выброса парниковых газов на единицу валового внутреннего продукта на 10 % от уровня 2010 года.

Среднесрочные приоритеты по снижению выбросов парниковых газов в рамках выполнения обязательств Парижского соглашения в стране реализуются посредством ряда стратегических и отраслевых планов, программ, а также нормативно-правовых актов, предусматривающих сокращение энергоёмкости и ресурсоёмкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии, преодоление последствий экологического кризиса в Приаралье.

Вместе с тем недостаточный уровень энергоэффективности экономики, нерациональное потребление природных ресурсов, медленное обновление технологий, слабое участие малого бизнеса во внедрении инновационных решений

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

для развития «зеленой» экономики препятствуют достижению первоочередных целей устойчивого развития национальной экономики.

Для решения возникающих проблем требуется радикальное трансформирование способов использования природных и энергетических ресурсов посредством интеграции в процессы экономического развития принципов «зеленой» экономики, которые нацелены на низкоуглеродное развитие и ресурсосбережение во всех секторах экономики, внедрение эффективных и экологически чистых технологий, а также на устойчивое сельское хозяйство [1,2].

Принятие Стратегии по переходу на «зелёную» экономику. Постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП - 4477 от 4 октября 2019 года утверждена Стратегия по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 - 2030 годов.

Приоритетными направлениями ее реализации были намечены:

- повышение энергоэффективности базовых отраслей экономики;
- диверсификация потребления энергоресурсов и развитие использования возобновляемых источников энергии;
- адаптация и смягчение последствий изменения климата;
- повышение эффективности использования природных ресурсов и сохранение природных экосистем;
- разработка финансовых и нефинансовых механизмов поддержки «зеленой» экономики.

Для специалистов в сфере электро- и теплоэнергетики принятие данной Стратегии предусматривает выполнения следующих задач:

- реконструкция и модернизация генерирующих мощностей действующих электростанций с внедрением высокоэффективных технологий на базе парогазовых и газотурбинных установок;
- совершенствование конфигураций и модернизация магистральных электрических сетей для повышения устойчивости энергосистемы;
- реализация организационно-технических мероприятий, в том числе оптимизация режимов, компенсация реактивной мощности и схем электрических сетей;
- повышение уровня автоматизации технологических процессов, снижение расхода электрической энергии на транспортировку и распределение;
- полное оснащение систем потребления электроэнергии автоматическими приборами контроля и учета.
- внедрение новых технологий выработки тепловой энергии, в том числе технологий когенерации в центральных котельных, угольных паротурбинных энергоблоках на суперсверхкритических параметрах пара;
- модернизация и реконструкция устаревшего оборудования котельных;
- утилизация тепла выхлопных газов турбокомпрессорных агрегатов;
- формирование оптимальной конфигурации и модернизация тепловых сетей;
- использование современных изолирующих материалов при реконструкции и модернизации тепловых сетей;
- автоматизация, диспетчеризация и оптимизация систем выработки и

- транспортировки тепловой энергии с учетом количества потребителей;
- оснащение потребителей современными приборами учета;
 - использование гелиоколлекторов для подогрева воды в котельных и т.д.

3. Глобальные задачи, стоящие перед учеными энергетиками.

Исходя из вышесказанного глобальными задачами, стоящими перед учеными Энергетиками являются [1,2]:

- **решение задачи** оптимальной и устойчивой работы электроэнергетической системы Узбекистана, т.е. обеспечение баланса между выработкой и потреблением электроэнергии при минимальном использовании природных ресурсов;

- **обеспечение** рационального использования выработанной электроэнергии путем разработки и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий.

- **разработка** и внедрение новых технологий по эффективному использованию возобновляемых источников энергии и т.д.

Новые разработки. В настоящее время во всем мире проводятся научные исследования по разработке новых технологий, которые позволяют рационально использовать электроэнергию и природные ресурсы. В первую очередь, сюда относятся энергосберегающие электропривода с преобразователем частоты и с двухскоростными двигателями,. Разработка и внедрение электродвигателей с новыми материалами, в частности развитие электрических машин с постоянными магнитами и т.д.

Для решения задачи энергосбережения в последнее время наряду с другими системами наибольшее применение находят системы регулируемых электроприводов на основе комбинации преобразователь частоты – двухскоростной асинхронный двигатель. Возможность регулировки скорости в широких пределах позволяют значительно оптимизировать работу электропривода и экономить электрическую энергию. Также имеется возможность сохранения работоспособности систем при нарушениях электроснабжения и повышения их энергетической эффективности.

Для обеспечения переключения питания от преобразователя частоты к выводам обмотки многоскоростного электродвигателя, а также для коммутации электродвигателей необходимо разработка бесконтактных коммутационных аппаратов на базе современных полупроводниковых элементов.

Для достижения более эффективного использования энергии ветра разрабатываются полусоперключаемые асинхронные генераторы.

Вместе с тем, одним из актуальных задач является исследование вопросов качества электроэнергии, что в свою очередь гарантирует долгий срок службы бытовых приборов дома и промышленных установок. В первую очередь, это касается вопроса обеспечения необходимой величины напряжения путем применения стабилизаторов напряжения, а также изучение влияния промышленной электроники на показатели качества.

В настоящее время в университетах и научных центрах развитых стран ведутся научные исследования по изучению влияния кондуктивных и индуктивных помех, создаваемых источниками питания и потребителями электроэнергии, на качество электроэнергии.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

С учетом этого приоритетным вопросом является создание научных основ и исследование вопроса качества электроэнергии в Республике Узбекистан.

Также важной задачей в энергетике считается – обеспечение дефицита реактивной мощности в сети посредством регулирования мощности компенсирующих устройств, в зависимости от величины и характера потребляемой энергии.

Наша научная группа занимается вышеназванными научными проблемами в течение нескольких лет и в этой сфере достигнуты значительные результаты, на основе которых написаны и опубликованы монографии, научные статьи, получены патенты на изобретения и полезные модели, защищены диссертации [3-6].

Постановлением Президента №ПП -5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» утверждена «Дорожная карта», где пунктом 3 Приложения №10 был рекомендован проект «Создание устройства турбомеханизма на основе двигателя с полюсопереключаемой обмоткой» для коммерциализации.

Проекту “Создание устройства турбомеханизма на основе двигателя с полюсопереключаемой обмоткой” был дан шифр Т-ОТ-2021-229, со стороны Министерства Инновационного развития Республики Узбекистан и была выделена сумма в размере 450 млн.сумов [7].

В настоящее время ведутся работы по внедрению новых разработок в АО “ТашТЭС”, Алмалыкский горно-металлургический комбинат и т.д.

Литература

1. <https://lex.uz/ru/docs/4539506>
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. Под общей редакцией академика А.У.Салимова.- Ташкент, «Fan va texnologiyalar nashriyot matbaa uyi», 2021, 952 с.
3. M K Bobojanov, D A Rismuxamedov, F Tuychiev and others (2020). Pole-changing motor for lift installation, E3S Web of Conferences, 216, **01164**, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>
4. D A Rismukhamedov, M K Bobojanov, and others. Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio, E3S Web of Conferences, 264, **03057** (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403057>
5. R Karimov, M Bobojanov, Analysis of voltage stabilizers and non-contact relays in power supply systems, E3S Web of Conferences 216, **01162** (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601162>
6. M.K. Bobojanov, O.Z.Eshmurodov and other (2020). Study of the efficiency of conveyors of mining transport systems of mining complexes. E3S Web of Conferences, 08 July 2020. Vol.177, XVIII Scientific Forum (UMD 2020) 03023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703023>.
7. <https://lex.uz/docs/5338560>

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

UDC 621.317.714

**NONLINEARITY OF STATIC CHARACTERISTICS OF NON CONTACT
HIGH-CURRENT CONVERTERS WITH LONGITUDINALLY
DISTRIBUTED PARAMETERS OF MONITORING AND CONTROL
SYSTEMS**

**A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Y.A. Meliboev, O.Ch. Doniyorov,
J.K. Ibragimov, X.I. Murodov**

Maqolada katta to'g'ridan-to'g'ri oqimlarning kontaktsiz ferromagnit konvertorlarini qurishning umumiy tamoyillari, ularga qo'yiladigan asosiy talablar va keng diapazonli keng diapazonli galvanomagnit kontaktsiz konvertorlardan birini natijalari tasvirlangan. suv ta'minoti va melioratsiyaning kuchli nasos stantsiyalari va yirik energetika ob'ektlarida qo'llaniladigan boshqaruv tizimlari. Ishlab chiqilgan konvertor, ma'lum bo'lganlardan farqli o'laroq, boshqariladigan oqimlarning keng diapazoni, yuqori aniqlik va sezuvchanlik, texnologik dizayni va past og'irlik va o'lchamlarga ega bo'lganligi va material sarfi va narxi pastligi ko'rsatilgan. Katta to'g'ridan-to'g'ri oqimlarning ishlab chiqilgan keng diapazonli galvanomagnit kontaktsiz konvertorining statik xususiyatlarini va uning qiymati 3 foizdan oshmaydigan chiziqli bo'lmaganlik darajasini aniqlash masalalari ko'rib chiqiladi.

В статье приведены общие принципы построения бесконтактных ферромагнитных преобразователей больших постоянных токов, основные требования к ним и результаты разработки одного из широкодиапазонных гальваномагнитных бесконтактных преобразователей больших постоянных токов систем контроля и управления применительно к мощным насосным станциям водоснабжения, мелиорации и крупным объектам электроэнергетики. Показано, что разработанный преобразователь в отличие от известных имеет широкий диапазон контролируемых токов, повышенные точность и чувствительность, технологичную конструкцию и малые массу и габариты при низких материалоемкости и стоимости. Рассмотрены вопросы определения статической характеристики разработанного широкодиапазонного гальваномагнитного бесконтактного преобразователя больших постоянных токов и степени его нелинейности, величина которой не превышает 3 процентов.

The article presents the general principles of construction of contactless ferromagnetic converters of large direct currents, the basic requirements for them and the results of the development of wide-range galvanomagnetic contactless converters of large direct currents of monitoring and control systems in relation to powerful pumping stations of water supply and land reclamation and large electric power facilities. It is shown that the developed converter, unlike the known ones, has a wide range of controlled currents, increased accuracy and sensitivity, a technological design and small weight and dimensions at low material consumption and cost. The issues of determining the static characteristics of the developed wide-band galvanomagnetic

contactless converter of large direct currents and its degree of nonlinearity, the value of which does not exceed 3 percent, are considered.

Introduction. In many control and monitoring systems of high-power consumers in the electric power industry, large electrical installations are widely used, in which controlled large direct currents (LDC) are used.

It was found out that the instability of the current control systems, the presence of additional resistances due to the oxidation of contacts lead to a decrease in the performance of electrical installations and to their downtime, and large voltage drops on shunts lead to unjustified power losses [1].

As the conducted studies have shown, an important necessity in many industrial enterprises and farms in the irrigated agriculture zone of the Republic of Uzbekistan is non-destructive contactless control of LDC with a value from 100 A to 30 kA using both portable and stationary measuring transducers (MT) with an error of 1-3%, using in some cases multi-limit, as well as with a flexible integrating circuit of non-destructive testing of LDC [2].

High requirements for the elements and technical means of control and control systems in the electric power industry, metallurgy, industry, railway transport, as well as in agriculture have led to the development of energy-saving galvanomagnetic contactless converters of large direct currents with detachable integrating circuits (GCC), allowing without violating the structural and circuit integrity of devices to encircle conductors with a converted LDC [3 - 5].

The conducted studies also revealed the basic requirements for GCC [6-11]. These include: high accuracy, reliability, sensitivity, small weight, dimensions, material consumption and cost, manufacturability of the design, absence of errors from the influence of external magnetic fields, reverse conductor with current, displacement of the conductor with current from the center of the integrating circuit, ferromagnetic masses, no energy consumption from the measured circuit, the ability to work in an aggressive environment, explosion safety, as well as the absence of a galvanic connection between the controlled direct current and the measuring circuit and, in some cases, the possibility of fixed regulation of the sensitivity of the GCC in a wide controlled range and the manufacture of GCC portable or stationary.

Currently, a large number of individual galvanomagnetic contactless converters and meters of large direct currents are known [10-19]. However, the well-known galvanomagnetic contactless converters and meters of large direct currents have a number of disadvantages, the main of which are: a narrow controlled current range, low accuracy, large dimensions and masses. In this regard, the elimination of these shortcomings is an important necessity.

Materials and methods. We have developed a number of universal energy-saving contactless galvanomagnetic converters of large direct currents, allowing to convert both constant and alternating high currents in various control and control systems without breaking the circuit, in which the tasks are solved by using special designs of separable closed magnetic circuits with transversely and longitudinally distributed magnetic parameters and an increased path length of the working magnetic flux through steel in GCC [2].

One of the developed GCC is an information contactless galvanomagnetic converter of large direct currents, shown in Fig.1. This design is developed on the basis of

MT [9] and is a GCC with longitudinally distributed magnetic parameters. It is characterized by increased accuracy and an extended range of converted currents. Let's consider the design of the developed GCC and the nonlinearity of its static characteristics.

GCC contains a detachable closed magnetic circuit 1 consisting of separate ferromagnetic elements 1 and 2. Ferromagnetic elements 1, as well as ferromagnetic elements 2, are installed with transverse gaps evenly distributed along the entire length of the detachable magnetic circuit. Adjacent ferromagnetic elements 1 and 2 form n pairs of longitudinal gaps between each other, in which the Hall elements 3 are placed. In this case, the ferromagnetic elements 2 are rigidly fixed on an annular insulating plate 4, which can move fixed distances by changing the gaps between the ferromagnetic elements 1 and 2, and, consequently, the parameters of the longitudinal gaps. The closed magnetic circuit, together with the Hall elements 3, is placed in an insulating housing 5, which covers the bus 6 with a controlled current during the measurement process. The current electrodes of the Hall elements 3 are connected to a current source. In this case, the Hall electrodes of the Hall elements 3 are connected to each other in series, and the Hall electrodes of the Hall elements 3, placed in each pair of transverse gaps formed by one ferromagnetic element 2 and neighboring ferromagnetic elements 1, are switched on counter. To indicate the measurement results, a recording device is included in the chain of sequentially connected Hall electrodes of Hall elements 3 (not shown).

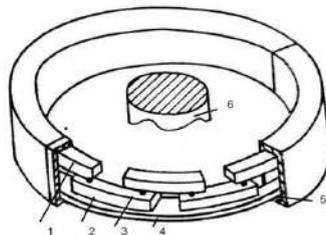


Fig. 1. Universal wide-band galvanomagnetic contactless converter of large direct currents with longitudinally distributed parameters for monitoring and control systems

GCC works as follows. After the bus 6 is wrapped with a detachable closed magnetic circuit with a controlled direct current, a constant magnetic flux is created in the magnetic circuit by a controlled current, which penetrates the Hall elements 3 and causes the Hall EMF to appear on their Hall electrodes. These EMF due to the counter inclusion of the Hall electrodes of the Hall elements 3 are summed up. As a result, at the output of the chain of sequentially connected Hall electrodes of the Hall elements 3, the total output EMF of the Hall EX appears, depending on the value of the controlled DC current. The value of this total Hall EMF EX is measured using a recording device. An increase in the upper limit of measurement of large direct currents is made by increasing the gap between fixed 1 and movable 2 ferromagnetic elements by a fixed transition of the plate 4 with ferromagnetic elements 2 at set distances. This increases the longitudinal gaps and changes the working magnetic fluxes, which allows you to change the sensitivity of the GCC in a wide range. Consider the degree of nonlinearity of the static characteristic of the GCC shown in Fig.1.

To analyze the degree of nonlinearity of the static characteristic of the GCC, we will use the expression of its static characteristic in the form

$$E_x^* = CthH_x + H_x \quad (1)$$

Here C is a generalized coefficient that takes into account the ratio of the coefficients of approximation of the magnetization curve of steel ferromagnetic elements;

H_x is the intensity of the magnetic field penetrating the Hall elements, equal to

$$H_x = \frac{I_u}{\pi D_c} \cdot \frac{(1 + C_\theta) [\beta C_\theta (1 + C_{M\theta}) (1 - ch\beta - 4sh\beta)]}{2\beta sh\beta C_\theta (1 + C_{M\theta} + 2C_\theta C_{M\theta}) - (1 - ch\beta) - 2[C_\theta (1 + C_{M\theta}) + 2]} \quad (2)$$

here I_u - measured direct current;

D_c - diameter of the middle centerline of the split closed magnetic circuit;

β - the coefficient characterizing the loss of magnetic voltage in a magnetic circuit;

C_B, C_{MB} - coefficients that take into account the geometric dimensions of a split closed magnetic circuit and the grade of steel used in the magnetic circuit.

The degree of nonlinearity of the considered section of the static characteristic of the measuring transducer according to [23] is understood as the ratio of the maximum deviation of the ordinate of the characteristic from the straight line approximating it in this section to the entire range of variation of the ordinate in the same section (Fig.2).

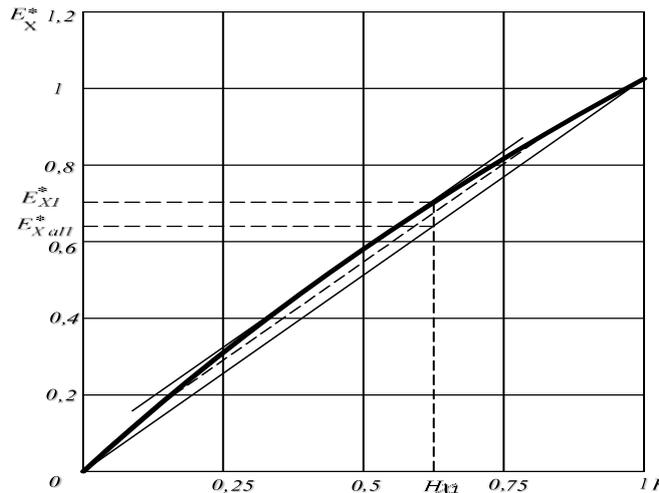


Fig.2. To determine the degree of nonlinearity of the static characteristic of the developed GCC

According to this method, the degree of nonlinearity of the static characteristic of the GCC is determined from the following expression (see Fig. 2)

$$\varepsilon, \% = \frac{E^*(H_{xT}) - kH_{xT}}{E^*(H_{xM})} 100. \quad (3)$$

Here $E^*(H_{xT})$ - the value of the output EMF at the point of the static characteristic, where the deviation along the coordinates of the static characteristic and the line approximating it has the maximum value; $E^*(H_{xM})$ - the maximum value of the output EMF GCC corresponding to the maximum value H_{xM} ; $E_{aII}^*(H_{xT}) = kH_{xT}$ - equation of the approximating direct static characteristic;

$k = \frac{E_{a\Pi}^*(H_{xT})}{H_{xT}} = \frac{E(H_{xM})}{H_{xM}} = tg\varphi$ - the coefficient characterizing the angle of inclination of the approximating straight line.

The value $E^*(H_{xT})$, $E^*(H_{xM})$, $E_{a\Pi}^*(H_{xT})$ respectively equal:

$$E^*(H_{xM}) = CthH_x + H_{xM}; \quad (4)$$

$$E_{a\Pi}^*(H_{xT}) = H_{xT} \frac{E^*(H_{xM})}{H_{xM}} = \frac{H_{xT}}{H_{xM}} = (CthH_{xM} + H_{xM}); \quad (5)$$

$$E^*(H_{xT}) = CthH_{xT} + H_{xT}. \quad (6)$$

Substituting (4) – (6) into (3) we obtain the following expression of the degree of nonlinearity of the static characteristic of the GCC

$$\varepsilon, \% = 50 \left(\frac{CthH_{xT} + H_{xT}}{CthH_{xM} + H_{xM}} - \frac{H_{xT}}{H_{xM}} \right). \quad (7)$$

The H_{xT} coordinate, at which the deviation along the ordinate of the static characteristic from the line approximating it has the maximum value, can also be determined graphically, as shown in Fig. 2, by drawing a tangent to the static characteristic curve parallel to the approximating line.

After substituting the values of H_{xT} and H_{xM} into expression (7), the value of the degree of nonlinearity $\varepsilon, \%$ can be obtained. For example, for a static characteristic with $H_{xT} = 0.625$ and $H_{xM} = 1$, the degree of nonlinearity will be equal to $\varepsilon, \% = 2.83\%$, which is acceptable for the studied GCC.

Conclusion. A universal energy-saving galvanomagnetic contactless converter of large direct currents has been developed, having a wide controlled range of currents with small dimensions and weight, a simple and technologically advanced design with low material consumption and cost.

The developed converter has increased accuracy and the possibility of fixed sensitivity control in a wide controlled range.

The expression of the degree of nonlinearity of the static characteristic of the GBP is obtained and its study is carried out. It is shown that for a given limit of the controlled value $H_{xM} = 1$, the value of the degree of nonlinearity is $\varepsilon, \% = 2.83 \%$.

The developed GBP can contactlessly control direct and alternating currents with an error of 1.5% in modern control and management systems in land reclamation, irrigation, solar and laser technology, renewable energy sources, industry, metallurgy, railway transport and agro-industrial sphere, as well as when checking electric meters at the place of their installation.

Literature

1. Kazakov M.K. Methods and means of measuring high voltages and high amperage currents in power engineering Author's abstract. Doctoral dissertation thesis 32. 1998.
2. Baratov R.J., Djalilov A.U., Chulliyev Y.E. Low power smart system development for water flow measurement and level controls in open canals. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology ISSN: 2350-0328 6 (12) 12240 – 12246. 2019.
3. Plakhtiev A.M. Effective informational noncontact transducers for modern

monitoring and control systems in the agro-industrial complex International Scientific and Practical Conference Agrarian science - to agriculture Collection of scientific articles 37-39. 2017.

4. Semenko N.G., Gamazov Y.A. Measuring transducers of high amperage currents and their metrological support Publishing house of Standards 132. 1984.

5. Mukhamedkhanov U.T. Concepts and methods of constructing quality control systems for technological environments of industrial manufacture Abstract of Doctor of technical science dissertation. 2008.

6. Spektor S.A. Measurement of high amperage DC Energy 136. 1988

7. Bolotin O., Portnoy G., Razumovsky K. Primary sensors for energy enterprises. Energy security and energy saving 5 28 - 32. 2012.

8. Danilov A. Modern industrial current sensors Modern electronics 10 38 – 43. 2004.

9. Bolotin O., Portnoy G., Razumovskiy K. Modern sensors for measuring current and voltage ISUP 1 (61) 18 - 25. 2016.

10. Gilardi M. New Horizons of Hall Effect Current Sensor Technology Power Electronics 3 48-52. 2013.

11. Kazansky V.E. Measuring current transducers in relay protection Energoatomizdat 240. 1988.

12. Plakhtiev A.M., Petrov G.P., Minikeev H.S. Measurer of high amperage DC USSR Patent N792152 IIC G01R 19/00 2735180/18 – 21 Bulletin N48. 1979.

13. Kramer W. Gleichstrom – Wandlerschaltung hoher Genauigkeit für 65 – 71 wellige Gleichstrom ETZ-A 18 28 – 33. 1996.

14. Lappe F. Ein neues Meßgerät für hohe Gleichström Chemi-Ingenier Technik Bd 42 19 1228 – 1229. 1998.

15. Baratov R.J., Djalilov A.U. An Improving Method of Linearity of Magnetic Flux Distribution in Air Gap with Long Iron Cores. Journal of Scientific and Engineering Research 2018 ISSN 2394 -2630 5(11) 158-164. 2018.

16. Yoshihiro Konno, Masaru Sasaki. Electric current measure apparatus Japan Patent IIC G01R CN204154795U. 2009.

17. Plakhtiyev A.M., Akhmedov S.U. Condition of application and development of contactless ferromagnetic transducers in electrochemistry and metallurgy Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS) ISBN 3-933609-8 326 - 329. 2014.

18. Plakhtiyev A.M., Gaziev G.A. A study on Electrical Energy Measuring Device in installation place. Chemical technology. control and management journal isbn 1815-4840 n4 (90) 25-29. 2019.

19. Muzafarov S.M., Tursunov O., Kodirov D., Abdukadirova M.N., Tasheva U.T. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 614(1), 012049.

*Presented by Tashkent Institute of Engineers of
Agriculture Irrigation and Mechanization*

УДК 621.323

**ТЎҚИМАЧИЛИК КОРХОНАЛАРИДА ҚЎЛЛАНИЛАЁТГАН АСИНХРОН
МОТОРЛАРНИНГ ДИНАМИК РЕЖИМЛАРИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ
ОРҚАЛИ ЭНЕРГИЯ ТЕЖАШ****Н.Б. Пирматов, А.Т. Паноев**

Мақолада асинхрон электр моторларининг тезлигини частотали усулда бошқариб энергия тежамкорлигига эришиши келтирилган. Частотавий бошқариш тежамлидир, чунки у асинхрон моторнинг тезлигини ростлаш ҳисобига фойдали иш коэффициентини ошириш ва қувват исрофини камайтиришни таъминлайди. Тўқув дастгоҳларини ишга тушириш ва бошқаришда частота ўзгартгич ёрдамида амалга оширилиши кўрсатилган бўлиб, у автомат ва мотор орасида ўрнатилади ва моторнинг айланиш частотасини бошқаради. Электр моторининг тезлигини ўзгартириш учун илгари тишли узатма (шестерёнка) редукторлардан фойдаланилар эди. Бу эса ўз навбатида турли қийинчиликлар келтириб чиқарган. Ишлаб чиқариш технологияларни ўзига хос томонларидан келиб чиққан ҳолда электр моторининг айланиш сонини камайтириш ёки кўпайтиришга тўғри келса, электр юритмада қўшимча механизмлардан фойдаланиш, ўз навбатида электр моторнинг қувватини ошишига олиб келган. Частота ўзгартгичлар ёрдамида бевосита, электр мотор частотасини ўзгартириб айланишлар сонини назорат қилиш мумкин. Бу усулнинг қулайликларидан бири шундаки ток ва айланувчи момент ўртасида мустаҳкам боғлиқлик бўлгани боис, частота ўзгартгич моторни ишга тушириш вақтида ишга тушириш токни пасайтириш имконини беради. Моторни ишга тушириш вақтида мотор силлиқ ишга тушади ва ипларнинг узилиши рўй бермайди, ҳамда ишга тушириш вақтида электр энергияси тежаллади.

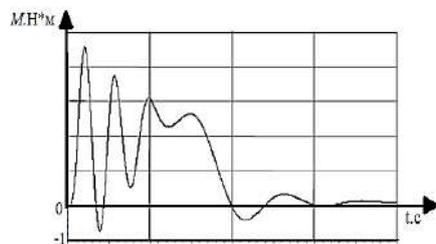
В статье описывается достижение энергосбережения за счет частотного управления скоростью асинхронных электродвигателей. Частотное управление является более экономичным, так как обеспечивает повышение эффективности и уменьшение потерь мощности за счет выпрямления скорости асинхронного двигателя. Показано, что запуск и управление ткацким станком осуществляется с помощью преобразователя частоты, который устанавливается между автоматом и двигателем и регулирует частоту вращения двигателя. Раньше, для изменения скорости электродвигателя использовались шестеренчатые редукторы. Это, в свою очередь, вызывало различные осложнения. Если из-за особенностей технологии производства возникала необходимость уменьшения или увеличения количества оборотов электродвигателя, то использование дополнительных механизмов в электроприводе, в свою очередь, приводило к увеличению мощности электродвигателя. С помощью преобразователей частоты можно напрямую регулировать количество оборотов, изменяя частоту электродвигателя. Одним из преимуществ этого метода является то, что, поскольку существует сильная связь между током и крутящим мо-

ментом, преобразователь частоты позволяет снизить пусковой ток во время запуска двигателя. При запуске двигатель запускается плавно, нити не обрываются, а также сберегается электроэнергия во время запуска.

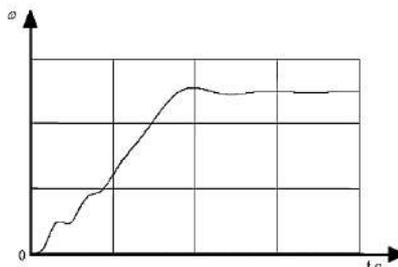
The article covers the ways of achievement of energy savings through frequency control of the speed of asynchronous motors. Frequency control is more economical as it improves efficiency and reduces power losses by rectifying the speed of the asynchronous motor. It has been shown that the start and control of the loom is carried out using a frequency converter, which is installed between the machine and motor and regulates the speed of the motor. Earlier, gear reducers were used to change the speed of electric motor. This, in turn, caused various complications. If, due to the peculiarities of the production technology, it became necessary to reduce or increase the number of revolutions of the electric motor, then the use of additional mechanisms in the electric drive, in turn, led to an increase in the power of the electric motor. With the help of frequency converters, it is possible to directly controlling the number of revolutions by changing the frequency of the electric motor. One of the advantages of this method is that because there is a strong relationship between current and torque, the adjustable frequency drive allows the starting current to be reduced during motor start-up. When starting, the engine starts smoothly, the threads do not break, and electricity is saved during starting.

Ҳозирги вақтда Республикамизда тўқимачилик корхоналари борган сари такомиллашиб бормоқда. Биргина тўқимачилик саноатининг ўзи мураккаб ва хилма-хил тармоқлардан иборат. Унинг энг йирик тармоқларидан бири ип-газлама ишлаб чиқаришдир. Ўзбекистон Республикасида пахта толаси билан бир қаторда кимёвий толалар ишлаб чиқариш ҳам ривожланмоқда. Бу эса мустақил Республикамиз тўқимачилик саноати хом ашё базасини янада кенгайтиришга ва ишлаб чиқарилаётган маҳсулот ассортиментини кўпайтиришга имкон яратади. Ҳозирги кунда тўқимачилик корхоналаридан бири Бухоро вилояти Бухоро шаҳридаги “ARK ЕКО ТЕКСТИЛ” МЧЖ тўқимачилик корхонасида қўлланилаётган электр моторларини бир неча усуллар ёрдамида юргизиш мумкин. Масалан тўқимачилик корхоналаридаги тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг электр моторларини эксплуатация қилиш жараёнида, ток сакрашлари ҳосил бўлади, уни ишга тушириш токи ёки тормозланган ротордаги ток деб номланади [2]. Ишга тушириш токи номинал токдан 5-7 баробар юқори бўлади, қисқа муддат таъсир қилади, тезлашиб олганидан сўнг электр мотордаги ток минимал қийматга тушиб кетади [6]. Мавжуд меъёр ва қоидаларга мос равишда, ишга тушириш токини камайтириш учун ишга туширишнинг турли усулларидан фойдаланилади. Шу билан бир қаторда таъминот кучланишини стабиллаштириш учун бир қатор чоралар кўрилиши керак. Шу усуллардан бири тўқув дастгоҳларини частота ўзгартгич ёрдамида бошқариш усулидир. Тўқув дастгоҳларини ишга тушириш ва бошқаришда частота ўзгартгич ёрдамида амалга оширилади, у автомат ва мотор орасида ўрнатилади ва моторнинг айланиш частотаси билан бошқарилади, қўшимча тарзда электр энергия тежалишига олиб келади [5]. Мавжуд меъёр ва қоидаларга мос равишда, ишга тушириш токини камайтириш учун ишга туширишнинг турли усулларидан фойдаланилади [8]. Шу билан бир қаторда таъминот кучланишини

стабиллаштириш учун бир қатор чоралар кўрилиши керак. Шу усуллардан бири тўқув дастгоҳларининг асинхрон моторларини тезлигини частота ўзгартгич ёрдамида бошқариш усулидир [4]. Бундан мақсад тўқув дастгоҳларининг асинхрон моторларини ишга тушириш ва бошқариш частота ўзгартгич ёрдамида амалга оширилади, у автомат ва асинхрон мотор орасида ўрнатилади ва асинхрон моторнинг айланиш частотасини бошқаради, қўшимча тарзда электр энергия тежалишига олиб келади[9]. Тезлиги частотани ўзгартириб ростланадиган асинхрон электр юритмаларни статик режимларида электр энергиядан иқтисод қилиш билан бир қаторда динамик режимларида ҳам электр энергиядан самарали фойдаланиш мумкин [1]. Асинхрон электр юритманинг динамик режимларига ишга тушириш, тезликни ростлаш ва тормозлаш ва бошқалар киради [3]. Асинхрон моторларни тўғридан тўғри-тармоқ кучланишини бошқармасдан ишга тушириш вақтида ишга тушириш тоқининг наминал статор тоқига нисбатан 5 – 7 марта катта бўлиши статор чулғамида электр энергия исрофини ошиб кетишига олиб келади, агар асинхрон мотор ва ишчи механизмларнинг инерцион моменти катта бўлса, ўтиш жараёни чўзилиб кетади[14]. Натижада статор чулғами изоляциясининг руҳсат этилган ҳароратидан юқори даражада қизишига олиб келиши ва изоляциянинг ишдан чиқиши мумкин. Шунинг учун ҳам тезлиги частотани ўзгартириб ростланадиган асинхрон моторларни ишга туширишда частотани маълум қонуният бўйича бошқариб ишга тушириш статор тоқининг ўта ошиб кетишидан сақлайди ва шунда асинхрон мотор иссиқлик режими бўйича нормал ишга туширилади [2]. Маълумки, асинхрон моторларни тўғридан-тўғри ишга тушириш вақтида катта электр магнит моментлари ва тоқлар юзага келади. Электр магнит моментларнинг катта амплитудали силтанишлари асинхрон мотор статор чулғамида ҳавфли динамик юкланишларни ҳосил қилиши мумкин ва шунингдек, электр юритманинг кинематик занжирларида механик зўриқишларни юзага келтириши ҳам мумкин [3]. Ишга тушириш ва тўхтатишларнинг силлиқ кечишини шакллантириш, яъни катта динамик зўриқишларни шаклланишинга йўл қўйилмаслик асинхрон моторнинг ишлаш муддатини узайтиради. Бундан ташқари катта қувватли асинхрон моторларни силлиқ ишга тушириш ва тўхтатиш жараёнларида электр юкланишлар амплитудаларининг таъминловчи тармоққа таъсири йўқотилади ва бу ўз навбатида тармоқнинг бошқа истеъмолчиларга ижобий таъсир этади [7]. Мисол тариқасида тўқимачилик корхонасидаги тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторини тўғридан – тўғри ишга тушириш вақтидаги $M_*(t)$ электр магнит моменти оний қийматининг ўзгариш тавсифи (1-расм) ва $\omega_*(t)$ бурчак тезлиги оний қийматларининг ўзгариш осциллограммаси (2-расм) келтирилган.



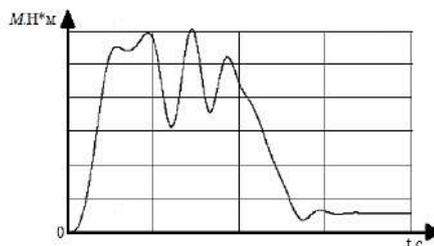
1– расм. Тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторини тўғридан – тўғри ишга тушириш вақтидаги $M^*(t)$ электр магнит momenti оний қийматларининг осциллограммаси [7]



2– расм. Тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторини тўғридан – тўғри ишга тушириш вақтидаги $\omega_*(t)$ бурчак тезлиги оний қийматларининг ўзгариш осциллограммаси [7]

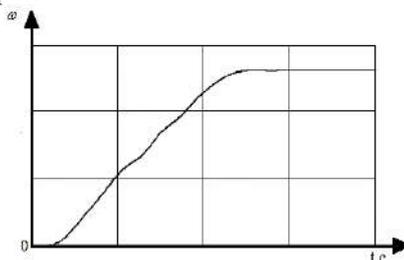
Ҳозирда тезлиги частотани ўзгартириб ростланадиган асинхрон моторларни ишга тушириш ва тўхтатиш ҳамда динамик хусусиятларни яхшилаш жараёнларини оптималлаш усулларидан бири, бу асинхрон моторнинг статор чулғамларида ўзгарувчан амплитудали кучланишни шакллантиришдир [8]. Бу усул параметрик усул деб ҳам аталади, ижобий хусусиятлари ҳисобига кенг тарқалган. Унинг афзаллиги соддалиги ва техник ишлаб чиқариш осонлигидир. Тўқимачилик корхоналаридаги асинхрон моторларни оптимал параметрик бошқариш муаммоси куйидагича амалга оширилади [2]. Бошқарилувчи координаталарини аниқлаймиз, бу ўқлар, электр магнит момент, ротор тезлиги ва ҳ.к. бўлиши ҳамда асинхрон моторни номинал тезлигигача ишга тушириш жараёнида оптимал бошқариш таъсири ва тўхтатиш жараёнида ротор тезлигининг тўлиқ тўхташи бўлиши мумкин [9]. Бутун цикл учун функционални минимумлаштирамиз. Бошқариш кўрсаткичи сифатида γ – статор чулғами кучланишининг нисбий қийматини оламиз. Оптималлашни максимум принципи бўйича ва математик модели негизда Ньютон–Рафсон усули билан амалга оширамиз, частота 50 Гц га тенг деб қабул қилинади [5]. Асинхрон моторни очик тизим бўйича ишга туширилганида статор чулғами кучланишини силлиқ ўзгартириш натижасида зарбли моментлар, ишга тушириш токлари, қувват исрофлари ва истеъмол қилинаётган реактив қувват қийматлари камайиши мумкин [4]. Кейинги графикда (3-расм) эса тўқимачилик корхоналаридаги тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторларини частотани ўзгартириб силлиқ ишга тушириш ва энергетик кўрсаткичларининг ўзгариши кўрсатилган [6]. Тўқимачилик корхоналаридаги тўқув дастгоҳлари ва йигирув машиналарининг асинхрон моторларини силлиқ частотани ўзгартириб ишга тушириш ўтиш жараёнлари сифат кўрсаткичларини ва энергетик кўрсаткичларининг (частота ўзгарткичи куч схемасининг киришидаги электр исрофлари) ўзгаришида кўриб чиқилган [2]. Очик тизимдаги тезлиги частотани

Ўзгартириб ростланадиган асинхрон электр юритмани силлик ишга тушириш вақтида ишга тушириш силлик кечишини кўриш мумкин. Шу сабали ҳам частотанинг ўзгариш вақтининг ишга тушириш жараёнига ва энергетик кўрсаткичларининг ўзгаришини кўришимиз мумкин [3].



3– расм. Тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторини частота ўзгартиргич орқали бошқариб силлик ишга тушириш вақтидаги $M_*(t)$ электр магнит momenti оний қийматларининг осциллограммаси [7]

4-расмда эса тўқимачилик корхоналаридаги тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторларини частота ўзгартгич орқали бошқариш вақтидаги ишга тушириш вақтидаги $\omega_*(t)$ бурчак тезлиги оний қийматларининг ўзгариш тавсифлари келтирилган



4- расм. Тўқув дастгоҳи ва йигирув машиналарининг асинхрон моторини тезлиги частотани ўзгартириб ростланадиган асинхрон электр юритмани силлик ишга тушириш осциллограммаси [7]

Асинхрон моторнинг барча ўзгарувчан кўрсаткичлар учун, ротори тезлигини ҳисобга олмаган ҳолда, уларнинг базис кўрсаткичлари деб уларнинг номинал қийматлари қабул қилинади. Ротори тезлигининг базис қиймати деб, номинал частотадаги идеал салт ишлаш тезлиги қабул қилинади [7]. Тўқув дастгоҳларини частота ўзгартгич ёрдамида бошқариш жараёнида куйидаги нуқсонларни олдини олишга эришилди:

1. Ипларнинг узилиши рўй бермайди, натижада айрим тўқилмай қолган жойларини ҳам тўқийди.

2. Арқоқ ипларининг танда иплари билан ўрилишмай осилиб қолишини олдини олади, яъни бир хил тарангликда (бир хил тезликда) саклаб туришини таъминлайди[10].

3. Арқоқ ипларининг танда иплари билан ўрилишмай осилиб қолиши натижасида қиска –қиска участкаларда ўрилишнинг бузилиши, яъни матода бир нечта қатор чизиқлар пайдо бўлишини, ипларнинг узилишини олди олинади

(бир хил таранглик, яъни бир хил тезлик таъминланади), ҳамда сифатли мато ишлаб чиқарилишига эришилади [1].

Хулоса ўрнида шуни айтишимиз мумкинки, тўқимачилик корхоналарида қўлланилаётган асинхрон электр моторларини эксплуатация қилиш жараёнида асинхрон моторни динамик режимлари (ишга тушириш, тезликни ростлаш ва тормозлаш) оптимал бошқарилишига эришилди, яъни частотавий бошқариш орқали электр энергия истеъмоли тежалишига, асинхрон мотор тезлигини ростлашга, электр юритмани силлиқ ишга тушуриб, тўхтатиш орқали электр юритма ФИК ни ошишига ва асинхрон моторнинг қувват исрофини камайтиришни таъминланишига эришилди [5].

Адабиёт

1. Baratov R, Pirmatov N, Panoev A, ChulliyevYa, Ruziyev S and Mustafuqulov A. Achievement of electric energy savings through controlling frequency converter in the operation process of asynchronous motors in textile enterprises IPIECE 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021) 012161 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012161
2. Имомназаров А.Т. Асинхрон моторларнинг минимум қувват исрофи режимида ишлаши асослари // Тош ДТУ хабарлари. – Тошкент, 2005, № 2, 33 – 38 б.
3. Ҳошимов О.О., Имомназаров А.Т. Электромеханик тизимларда энергия тежамкорлик. Тошкент, «ЎАЖБНТ» Маркази, 2004, 96 б.
4. Pirmatov N.B., Axmatov M.G., Kamalov N.K. Investigation of the operation of a synchronous motor with excitation along the longitudinal and transverse axes under shock load. Electricity, 2003. №2 -64-65p.
5. Pirmatov N., Panoev A. Frequency control of asynchronous motors of looms of textile enterprises E3S Web of Conferences, 2020, 216, 01120.
6. Baratov R., Pirmatov N. Low - Speed generator with permanent magnets and additional windings in the rotor for small power wind plants and micro hydro power plants IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 883(1), 012183.
7. Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.-213 с.
8. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты.- Екатеринбург: УРО РАН, 2000.-654 с.
9. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средства энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов. – Екатеринбург: Свердловск энергонадзор, 2002. – 28 с.

*Тошкент давлат техника
университети томонидан тақдим этилган*

УДК 621.34:621.313.333:621.314.57

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

М.М. Туляганов

Мақолада ЭҲМ да иссиқлик ўтиши жараёнларини ҳисобга олган ҳолда юқори инерцияли частотаси ростланувчан асинхрон электр юритмасини оптимал ишга туширишини ҳисоблаш усули таклиф этилган. Максимум принципи ва Ньютон – Рафсон усулларини қўлланиши келтирилган. Ньютон – Рафсон усулининг яқинлашиши соҳасини такомиллаштириши учун янги усул таклиф қилинган. Динамик тавсифларни ҳисоблаш ва таҳлил қилиши асосида амалий илмий хулосалар чиқарилган.

В статье предлагается методика расчета оптимальных пусков высокоинерционного частотно-регулируемого асинхронного электропривода с учетом тепловых переходных процессов на ЭВМ. Приводятся применение принципа максимума и метода Ньютона - Рафсона. Для определения искомых начальных приближений метода Ньютона-Рафсона предлагается новый способ с переменным шагом сдвига. На основе расчетов и анализа динамических характеристик были сделаны практические выводы.

The article proposes a method for calculating the optimal starts of a high-inertia frequency-controlled asynchronous electric drive taking into account thermal transient processes on a computer. The application of the maximum principle and the Newton - Raphson method is given. To determine the required initial approximations of the Newton-Raphson method, a new method with a variable shift step is proposed. On the basis of calculations and analysis of dynamic characteristics, practical conclusions were drawn.

Введение. Автоматизированный электропривод переменного тока на базе конструктивно простых и надежных в работе короткозамкнутых асинхронных двигателей (АД) находит все более широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Постоянно возрастают требования к улучшению энергетических и массогабаритных показателей электроприводов, расширению диапазона регулирования рабочих скоростей, увеличению быстродействия, надежности; и обновляется элементная база преобразователя частоты, появляются новинки в схемных решениях [1-2]. Ведутся интенсивные работы по дальнейшему совершенствованию законов управления асинхронного частотного электропривода (ЭП) [3,4]. Однако имеются существенные резервы в улучшении технико-экономических показателей электромеханического преобразователя. Особенно мало исследованы оптимальные переходные процессы асинхронного частотного ЭП, которые во многих случаях определяют выбор установленной мощности

оборудования и тип применяемых АД, существенно влияют на технико-экономические показатели электропривода в целом.

Ряд высокоинерционных ЭП, например, подъемно-транспортные механизмы, балансировочные станки, высокоскоростные центрифуги, смешивающие бегуны, центробежные сепараторы, газовые турбины, механические аккумуляторы энергии и другие, работают в тяжелых пуско - тормозных режимах. Особенностью режимов таких механизмов является большая длительность процесса пуска. В процессе пуска высокоинерционных механизмов из-за больших потерь, выделяется значительное количество тепловой энергии, наступает недопустимый перегрев изоляции АД и двигатель может выйти из строя. В связи с этим возникает важная научно-техническая задача: снижение потерь в переходном процессе и повышение быстродействия высокоинерционных асинхронных ЭП. Одним из перспективных путей решения этой задачи является определение оптимальных управляющих воздействий на основе использования математических моделей и теории оптимального управления.

Основная часть. Физические процессы, имеющие место в электромеханических объектах, как правило управляемы, и они реализуются различными способами в зависимости от требований технологического процесса. В связи с этим возникает проблема нахождения наилучшего режима из множества других, обеспечивающего улучшенные технико-экономические показатели объекта, на основе оптимального управления процессом.

Методы. Проведя анализ нескольких моделей разной сложности, за основу выбрали следующую математическую модель описания электромеханических и тепловых процессов, протекающих в элементах высокоинерционного ЭП [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Theta_i}{\partial t} &= W_i + \sum_{j=1}^m k_{i,j} (\Theta_j - \Theta_i) - \sum_{j=m}^e k_{i,j} (\Theta_i - \Theta_j) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{p}{J} (M_\varepsilon - M_c) \end{aligned} \right\} ; \quad (1)$$

где ω - угловая скорость вращения вала АД, t - время, p - число пар полюсов, J - момент инерции вращающихся частей ЭП, M_ε - электромагнитный момент, M_c - момент сопротивления на валу АД, Θ_i - температура элемента i , Θ_j - температура элемента j , термически связанного с элементом i , $k_{i,j}$ - коэффициент тепловой связи двигателя, W_i - тепловая энергия, выделяемая в элементе i в единицу времени вследствие потерь при превышении температуры элемента θ_i .

Математическая модель включает в себя дифференциальное уравнение движения и систему дифференциальных уравнений теплового баланса. Уравнения тепловых процессов (1) записаны на основе классической теории нестационарного теплообмена [5].

Учитывая опыт решения задач оптимизации в области электропривода выбрали упрощенную математическую модель описания электромеханических и тепловых процессов, протекающих в элементах высокоинерционного ЭП:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Theta_\varepsilon}{\partial t} &= \frac{P_r}{C_i} + k_1 \Theta_{oc} - k_2 \Theta_\varepsilon \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{p}{J} (M_\varepsilon - M_c) \end{aligned} \right\} ; \quad (2)$$

где P_T - тепловые потери, Θ_{∂} - средняя температура АД, [$^{\circ}\text{C}$], Θ_{OC} - температура окружающей среды, [$^{\circ}\text{C}$], t - время, [с], C_i - теплоемкость АД, [Дж/ $^{\circ}\text{C}$], k_1, k_2 - коэффициенты, отражающие тепловую связь двигателя с окружающей средой, ω - угловая скорость вращения вала, [рад/с], p - число пар полюсов двигателя, J - момент инерции вращающихся частей АД, [кг/ м^2], M_{\odot} - электромагнитный момент, [Н*м], M_C - момент сопротивления на валу, [Н*м].

Здесь АД рассматривается как тепловая система, состоящая из одного тела бесконечной теплопроводности, источники тепла при этом равномерно распределены в объема рассматриваемого тела. Охлаждающая среда принята бесконечно теплоемкой. В качестве греющих потерь P_T за время переходного процесса взяты потери, получаемые вычитанием из потребляемой мощности P_1 , мощности на валу P_2 совместно с механическими потерями ΔP_{Mex} [6]:

$$P_T = P_1 - P_2 - P_{Mex} = m_1 U_n^2 \gamma^2 \frac{b^2 \frac{\beta}{r_2} + d^2 \frac{r_2'}{\beta} + r_1 \beta}{r_1 R_{(\alpha, \beta)}} \quad (3)$$

Преобразуем P_T и M_{\odot} для режима постоянного магнитного потока:

$$P_T = m_1 \Phi^2 C_k^2 f_{1H}^2 \frac{b^2 \beta^2 + d^2 r_2'^2 + r_1 r_2' \beta^2}{r_1 (x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2)}; \quad P_{\odot} = \frac{pm_1 \Phi^2 C \frac{2}{k} f_{1H}^2 r_2' \beta}{\omega_{1H} (x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2)} \quad (4)$$

Учитывая (4) и согласно принципу максимума [7] преобразуем систему (2) и запишем окончательно краевую задачу, решение которой будет определять оптимальные управляющие воздействия частотно-регулируемого АД при вентиляторной нагрузке на валу АД:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{p}{J} \left[\frac{k_4 \beta}{x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2} \right] - \frac{M_{cu}}{\omega_n^2} \omega^2, \\ \frac{d\theta_{\partial}}{dt} &= \frac{k_3 \left[\beta^2 (b^2 + r_1 r_2') + d^2 r_2'^2 \frac{r_1 x_2'}{x_0} \right]}{x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2} + k_1 \theta_{oc} - k_2 \theta_{\partial}, \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= \frac{2p\omega\psi_1 M_{cu}}{\omega_n^2 J}, \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= k_2 \psi_2, \\ \beta^* &= k_5 \frac{\psi_2}{\psi_1} \pm \sqrt{k_5^2 \frac{\psi_2^2}{\psi_1^2} + \frac{r_2'^2}{x_2'^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Краевые условия:

$$\begin{aligned} \theta_{\partial(t=0)} &= \theta_{\partial_0}; & \theta_{\partial(t=T)} &= \theta_{\partial_T}; \\ \omega_{(t=0)} &= \omega_0; & \omega_{(t=T)} &= \omega_T. \end{aligned}$$

Здесь приняты следующие обозначения: β - относительный параметр абсолютного скольжения; m_1 - число фаз; r_1 - активное сопротивление статора; r_2 - активное сопротивление ротора; x_1, x_2, x_0 - индуктивное сопротивление статора, ротора и намагничивающей ветви; Φ - магнитный поток в воздушном зазоре; C_k - конструктивная постоянная АД; f_{1f} - номинальная частота питания АД; ω_1 - угловая частота вращения поля статора.

Решение задачи с использованием принципа максимума приводит к удваиванию числа дифференциальных уравнений. В этих условиях поиск начальных значений вспомогательных функций методом Ньютона - Рафсона осложняется обстоятельством, связанным прежде всего со сходимостью метода, поскольку область сходимости занимает небольшую часть пространства координат вокруг искомой оптимальной точки X^* . Для определения искомых начальных приближений предлагается нижеследующий способ поиска:

Как находить точку X^* ? Этот вопрос исследовался на нескольких математических моделях и был предложен следующий вариант: соединить соответствующие координаты X^* и X^1 линейно, разбить линию на части и взять приращение в сторону искомой точки и длину шага h разумно делать величиной переменной (рис.1).

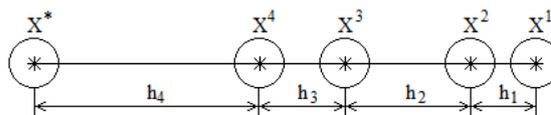


Рис.1. Способ с переменным шагом сдвига

Чтобы сделать один шаг от X^1 к X^* надо проделать несколько итераций (заранее неизвестно - сколько). Количество итераций зависит от длины шага h .

Предлагается следующая процедура: Пусть число итераций от 5 до 10 оптимально при движении от X^1 к X^* от X^2 к X^3 и т.д. до X^* . Этот диапазон определялся на основе данных многократных опытов, полученных при исследовании нескольких математических моделей.

Выбираем первую длину шага h_1 произвольно, затем, переходя от X^1 к X^2 , получим некоторое количество итераций. Если число итераций больше 10, то длину следующего шага делим пополам, т.е. $h_2 = h_1 / 2$. Если при h_1 число итераций меньше или равно 10, то длину шага h_2 удваиваем, $h_2 = 2h_1$. Таким образом можно обеспечить оптимальное число итераций на пути к X^* . Предлагаемый выше способ по преодолению малой области сходимости метода Ньютона-Рафсона назовем способом с переменным шагом сдвига.

Полученные результаты. Далее задачу решаем на ЭВМ, пользуясь методом Ньютона - Рафсона, используя способ с переменным шагом сдвига. По изложенному алгоритму [8] был произведен расчет оптимальных пусков АД АЭ 92-4, мощностью 40 кВт, защищенного исполнения с высоким моментом инерции. При расчетах суммарный момент инерции рабочего механизма и вращающихся частей АД почти в 17 раз превышал собственный момент инерции ротора.

Результаты расчетов основных электромеханических и тепловых зависимостей в относительных единицах приведены на рис.2 (кривые 1,2,3). Кривые 1 соответствуют частотному регулированию для критерия минимума нагрева, кривые 2 – оптимальному частотному регулированию для критерия быстродействия, кривые 3 – базовому пуску.

За базисные приняты параметры АД в номинальном режиме работы; за исключением средней температуры АД. За базисную температуру принята средняя температура нагрева АД в конце переходного процесса при пуске из холодного состояния до номинальной скорости вращения в режиме постоянного магнитного потока, с номинальной частотой питающего напряжения (в дальнейшем этот пуск называется базовым).

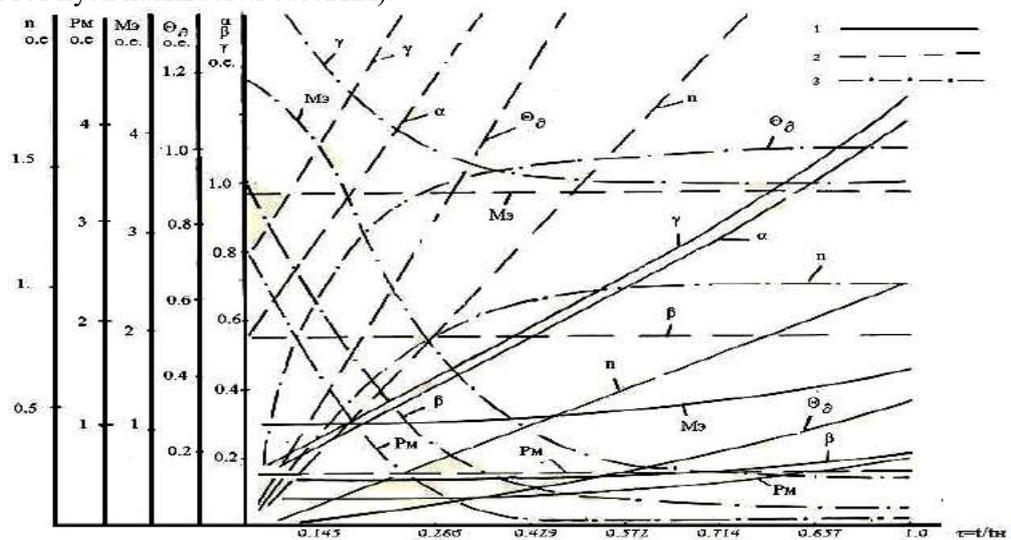


Рис.2. Кривые базового и оптимальных пусков АД АЭ92-4 в режиме постоянно-го магнитного потока. Критерии оптимизации: быстродействие и минимум нагрева

Выводы. По результатам расчета и анализа динамических характеристик были сделаны следующие практические выводы:

1. если считать, что переходный процесс практически заканчивается при $\tau = t/t_n = 1$, то, как видно из графиков (рис. 2), при оптимальном частотном регулировании (кривые 1) за время пуска $\tau = 1$, температура АЭ-92-4 снижена втрое по сравнению с базовым пуском (кривые 3). Так запас по уменьшению средней температуры АД АЭ-92-4 за время пуска при номинальном и постоянном моменте сопротивления на валу составляет 67%.

2. При оптимальном частотном регулировании (кривые 2), при равенстве температур нагрева в конце переходного процесса, относительно базового режима, номинальная скорость вращения достигается за $\tau = 0,357$, то есть быстродействие повышается в 2,8 раза. Таким образом для этого двигателя при оптимальном пуске быстродействие может быть увеличено в среднем на 64,3%.

3. Как видно из графиков, при оптимальном частотном регулировании отсутствуют большие перепады электромагнитного момента в начальный период пуска, что благотворно сказывается на механических связях ЭП.

4. Полученные данные оптимального управления предъявляют новые требования к системам ТПЧ-АД и средствам автоматического управления и регулирования, которые должны обеспечить требуемое изменение управляющих воздействий.

Полученные результаты дают научно обоснованные рекомендации разработчикам, проектировщикам и эксплуатационникам, как улучшить энергетические и эксплуатационные показатели автоматизированных частотно - регулируемых асинхронных электроприводов, предназначенных для различных отраслей народного хозяйства.

Литература

1. Voron Oleg Andreevich, Tuluaganov Murat Muslimovich, Petrushin Aleksandr Dmitriyevich. Improvent of the power supply system for isothermal rolling stock. Journal: Proceedings of the Rostov State Transport University. ISSN: 1818-5509. 2020, No. 4 (53), pp. 28-32, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44379615>.

2. Petrushin Aleksandr Dmitriyevich, Smachney Vladislav Yurievich, Tuluaganov Murat Muslimovich. Elecric drive for transport systems. Journal: Proceedings of the Rostov State Transport University. ISSN: 1818-5509. 2019, No. 4 (53), pp. 91-95, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41602921>.

3. Murot Tulyaganov. Optimization of natural gas combustion in furnace of steam bollers. E3S Web of Conferences 216, 01155 (2020) RSES 2020, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601155>.

4. Murot Tulyaganov. Solution of optimization problems of high-inertial asynchronous electric drive. E3S Web of Conferences 216, 01156 (2020) RSES 2020, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601156>.

5. Bolyaev I.P. Calculation of thermal processes in electrical machines on an electronic model. - Electromechanics, 1961, No. 8, pp.22-39.

6. Bulgakov A.A. Frequency control of asynchronous motors. М.: Energoizdat, 1982, 216 p.

7. Pontryagin L.S., Boltyansky V.G., Gamkrelidze R.V., Mishchenko E.F. Mathematical theory of optimal processes. М.: Fizmatgiz, 1961, 391 p.

8. Khashimov A.A., Tulyaganov M.M. The solution of optimization problems of a high-inertia automated electric drive by the Newton-Rafson method with an extended field of application. In the journal: "Electrotechnics", Moscow, №1, 2005, pp.15-20.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 624.313.019.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДСТАНЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Салихджан С. Халиков, Сарвар С. Халиков

Электр таъминоти подстанциясини нормал эксплуатация қилишининг бузилиши (НЭҚБ) сабабларини ўрганиши, авариялар рискин бошқариши ва хавфсизликни баҳолаши услубиятини ишлаб чиқиши зарурияти борлигига гувоҳлик берди, қайсики мазкур тизимнинг потенциал авриядан кўриши мумкин бўлган зарарлар ҳамда техник иқтисодий афзалликлари орасидаги балансни баҳолаши имконини беради. Шу нуқтаи назардан электр таъминоти подстанциясининг ҲЭТҚ ўтказиши учун тоқ эксперт тизими ва мантиқ тизими, генетик алгоритмлар асосидаги суъний интеллектуални (СИ) қўллаш таклиф этилган.

Изучение причин нарушений нормальной эксплуатации (ННЭ) подстанций электроснабжения (ПЭ) свидетельствует о необходимости разработки методологии управления риском аварий и оценки безопасности, которая позволит оценить баланс между масштабами возможного ущерба от потенциальных аварий данной системы и ее технико-экономическими преимуществами. С этой точки зрения предложено для проведения ВАБ подстанций электроснабжения применить системы искусственного интеллекта (ИИ) на основе искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, экспертных систем и систем нечетной логики.

The study of the causes of violations of the normal operation (NE) of power supply substations (PE) indicates the need to develop a methodology for accident risk management and safety assessment, which will allow us to assess the balance between the scale of possible damage from potential accidents of this system and its technical and economic advantages. The risk calculation is accompanied by a high degree of uncertainty, which requires significant time. From this point of view, it is proposed to use artificial intelligence (AI) systems based on artificial neural networks, genetic algorithms, expert systems and odd logic systems for conducting VAB of power supply substations.

Изучение причин нарушений нормальной эксплуатации (ННЭ) подстанций электроснабжения (ПЭ) свидетельствует о необходимости разработки методологии управления риском аварий и оценки безопасности, которая позволит оценить баланс между масштабами возможного ущерба от потенциальных аварий данной системы и ее технико - экономическими преимуществами [1,2].

С этой точки зрения предложено для проведения ВАБ подстанции электроснабжения применить системы искусственного интеллекта (ИИ) на основе искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, экспертных си-

стем и систем нечетной логики [3]. Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n X_{ij} \cdot W_{ij} \cdot \quad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f(s). \quad (2)$$

Нелинейная функция f называется активационной и может иметь следующие виды: функция единичного скачка, линейный порог (гистерезис), сигмоида.

Для нашего случая выбран вид функции – сигмоида, гиперболический тангенс; здесь входом функции будет наработка на отказ t , параметром функции – интенсивность отказов λ , а выходом - вероятность безотказной работы $P(t)$ или ожидаемое число отказов (ОЧО). Для оценки показателей критичности используется теория нечетких множеств.

Нарушение нормальной эксплуатации элементов ПЭ происходят из-за ненормального режима работы ПЭ и неисправности его элементов.

На рис.1 показаны существующие 7 видов отказов ПЭ, а на рис. 2, - восемь видов исходных событий нарушений при ненормальных режимах работы элементов ПЭ, которые обозначены соответственно нейронами - S_{11} - S_{16} , S_{21} - S_{24} , S_{31} - S_{35} , S_{41} - S_{46} , S_{51} - S_{59} , S_{61} - S_{66} и S_{71} - S_{74} .



Рис.1. Отказы ПЭ при ненормальных режимах её работы: S_1 - масляного трансформатора; S_2 - трансформатора тока; S_3 - трансформатора напряжения; S_4 - линии электропередачи; S_5 - масляного выключателя; S_6 - воздушного выключателя; S_7 – разъединителя



Рис.2. Исходные события нарушений масляного трансформатора при ненормальных режимах его работы: S_{11} - нарушение изоляции обмоток; S_{111} - перенапряжение; S_{112} - токи короткого замыкания; S_{1111} - внешние; S_{1112} - внутренние; S_{113} - дефекты изготовления; S_{12} - повреждение изоляции обмоток; S_{121} - износ и старение; S_{1211} - перегрузка; S_{1212} - недостаточное охлаждение; S_{13} - повреждение вводов; S_{131} - износ и старение; S_{14} - повреждение устройства регу-

лятора напряжения; S_{15} - повреждение контактных соединений; S_{16} - пуск масла (течь масла)



Рис.3. Исходные события нарушений трансформатора тока при ненормальных режимах его работы: S_{21} - недостатки конструкции и изготовления; S_{211} - пробой литой изоляции; S_{212} - обрывы и замыкания вторичных обмоток; S_{213} - старение изоляции и усталостные явления; S_{214} - пробой бумажно-масляной изоляции; S_{22} - недостатки эксплуатации; S_{221} - попадание влаги; S_{222} - несвоевременная чистка изоляции; S_{223} - нарушение сроков испытаний; S_{23} - старение изоляции; S_{24} - воздействие перенапряжений



Рис.4. Исходные события нарушений трансформатора напряжения при ненормальных режимах его работы: S_{31} - воздействие перенапряжений; S_{32} - недостатки конструкции и изготовления; S_{321} - недостаточная герметичность; S_{322} - витковые замыкания; S_{33} - старение изоляции; S_{34} - износные явления; S_{35} - недостатки эксплуатации; S_{351} - плохой контроль уплотнений; S_{352} - плохой контроль воздухоосушителей; S_{353} - нарушение сроков ремонтов и испытаний



Рис.5. Исходные события нарушений линии электропередачи при ненормальных режимах её работы: S_{41} - повреждение опор; S_{411} - из-за гололедно-ветровых нагрузок; S_{42} - повреждение проводов; S_{421} - нарушение механической прочности проводов; S_{422} - одно- и многофазные короткие замыкания; S_{4221} -

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

вибрация; S_{4222} - пляска; S_{4223} - обрыв проводов; S_{43} - обломы элементов конструктивных узлов опор; S_{44} - повреждение опор; S_{45} - повреждение изоляторов; S_{46} - неблагоприятная погода.

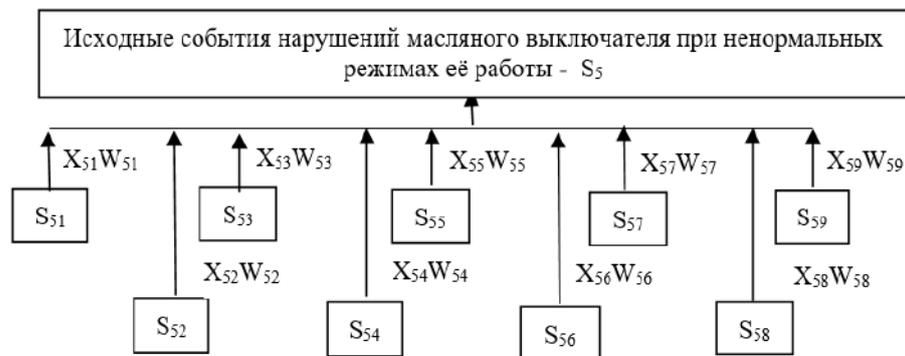


Рис.6. Исходные события нарушений масляного выключателя при отказах его элементов: S_{51} - приводов; S_{52} - электромагнитов; S_{53} - вспомогательных контактов; S_{54} - опорной изоляции; S_{55} - внутренней изоляции; S_{56} - дугогасительного устройства; S_{57} - вводов; S_{58} - передаточных механизмов; S_{59} - воздушной и междофазной изоляции



Рис.7. Исходные события нарушений воздушного выключателя при ненормальных режимах его работы: S_{61} - поломка изоляторов; S_{62} - разрушение дугогасительного устройства; S_{621} - из-за непогашения дуги; S_{6211} - короткого замыкания; S_{63} - отказ привода и цепей управления; S_{64} - перекрытие опорных изоляторов и воздуходувных труб; S_{65} - повреждение контактных систем; S_{66} - дефекты резиновых уплотнений



Рис.8. Исходные события разъединителя при ненормальных режимах его работы: S_{71} - обледенение или разрегулировка; S_{72} - пробой или повреждение изоляции; S_{73} - отказ привода; S_{74} - неисправность механизма; S_{75} - дефекты контактных соединений; S_{76} - ошибка персонала

На основе выше приведенных событий (нарушений) составлена структурная схема нейронной сети ВАБ подстанции электроснабжения при ненормальных режимах его работы, которая показана на рис.1-8.

Из рисунков 1 - 8 для нейронной сети ПЭ при нарушениях режима его работы, можно записать выражения:

Здесь каждое нарушение можно представить из последовательно соединенных нейронов, характеризующих пути протекания отказа, множества нейронов $S_{11} \dots S_{76}$, $S_{111} \dots S_{113}$, S_{121} , $S_{211} \dots S_{214}$, $S_{221} \dots S_{223}$, $S_{321} \dots S_{322}$, $S_{351} \dots S_{253}$, $S_{411} \dots S_{422}$, S_{211} , S_{321} , S_{1121} , S_{1121} , S_{1211} , S_{1212} , $S_{4221} \dots S_{4223}$ характеризует исходные события, множество сигналов $X_{11} \dots X_{76}$, $X_{111} \dots X_{113}$, X_{121} , $X_{211} \dots X_{214}$, $X_{221} \dots X_{223}$, $X_{321} \dots X_{322}$, $X_{351} \dots X_{253}$, $X_{411} \dots X_{422}$, X_{211} , X_{321} , X_{1121} , X_{1121} , X_{1211} , X_{1212} , $X_{4221} \dots X_{4223}$ является выходом этих нейронов, эти выходные сигналы соответствуют сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона и каждый из них умножается на соответствующий вес $W_{11} \dots W_{16}$, $W_{111} \dots W_{113}$, W_{121} , $W_{211} \dots W_{214}$, $W_{221} \dots W_{223}$, $W_{321} \dots W_{322}$, $W_{351} \dots W_{253}$, $W_{411} \dots W_{422}$, W_{211} , W_{321} , W_{1121} , W_{1121} , W_{1212} , $W_{4221} \dots W_{4223}$ и поступает на вход нейрона отказа. Каждый вес соответствует «весу» одной биологической синаптической связи S_{11} . Нейрон S_{11} , соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход, который мы будем называть NET. В векторных обозначениях это может быть записано следующим образом:

$$NET_{11} = X_{11}W_{11}. \quad (5)$$

Сигнал NET_{11} далее, как правило, преобразуется в активационную функцию F_{12} :

$$OUT_{11} = K(NET_{11}), \quad (6)$$

и дает выходной нейронный сигнал.

Величина функции будет вероятностью безотказной работы $P_{11}(t)$, время t ПЭ при ненормальных режимах его работы]. Из выражения (4) следует, что на выходах нейронов $S_{12} - S_{19}$ получим вероятность безотказной работы $P_{12}(t) - P_{16}(t)$. Здесь множество нейронов $S_{12} - S_{16}$ характеризует отказы, а множество сигналов $X_{12} \dots X_{16}$ является выходом этих нейронов. Эти выходные сигналы соответствуют сигналам, приходящим в синапсы биологического нейрона и каждый из них умножается на соответствующий вес $W_{12} \dots W_{16}$ и поступает на вход

нейрона отказа. Каждый вес соответствует «весу» одной биологической синоптической связи $S_{ПЭ1}$. Нейрон $S_{ПЭ1}$, соответствующий телу биологического элемента, складывает взвешенные входы алгебраически, создавая выход, который назовем NET. В векторных обозначениях это может быть записано следующим образом:

$$NET_{ПЭ1} = X_{ПЭ1}W_{ПЭ1} . \quad (7)$$

Из выхода нейрона $S_{ПЭ1}$ получим значения вероятности безотказной работы ПА $R_{ПА1}(t)$ при ненормальных режимах.

Здесь появляется возможность определения тяжести каждого нарушения и обращение каждому из них позволяет отображать состояния ПЭ на экране ЭВМ, и эффективно выявлять аварийные факторы и принять необходимую экстренную разработку корректирующих мер, направленных на повышение безопасности работы ПЭ.

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.-М.: 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. Борисов Е.С., Основные модели и методы теории искусственных нейронных сетей. . <http://mechanoid.narod.ru/nns/base/>.

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

УДК 621.365

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЗЕРВОВ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ****Ф.А. Хошимов, И.У. Рахмонов, Д.А. Жалилова**

Мақолада саноат корхоналарида электр энергиясини тежаши захираларини баҳолаши усули таклиф этилган. Электр энергиясини тежаши захираларини баҳолашининг асосий тадқиқот йўналишлари келтирилган. Хом-ашёни қайта ишлаши (G) ёки ишлаб чиқарилган маҳсулот ҳажмига (Π) боғлиқ равишда қувват (P), абсолют (W) ва солиштирма (e) электр энергия сарфи функцияларини ўзида акс эттирувчи энергетик характеристикани қуриши асосида ишлаб чиқариши бўлинмалари ва алоҳида агрегатларнинг электр юктамалари ва солиштирма электр энергияси сарфининг асосий ўзгариши қонуниятлари аниқланган. Энергетик характеристикаларни таҳлили асосида электр энергиясини меъёрлаши ва унинг минимум ҳаражатларини таъминловчи рационал режимлар танланади. Хом-ашё ва материалларнинг солиштирма сарфи бевосита ишлаб чиқариши бўлинмалари ва корхона бўйича электр энергиясининг солиштирма истеъмоли ифодасига киритилиши таклиф этилган усул ишлаб чиқилган. Бунда электр энергиясини тежаши захиралари хом-ашё, материал ва энергия кўрсаткичларининг компонентларини оптималлаши натижасида аниқланади.

В статье предлагается методика оценки резервов экономии электроэнергии на промышленных предприятиях. Приведены основные направления исследований при оценке резерва экономии электроэнергии. На основе построения энергетических характеристик, представляющих собой функции мощности (P), абсолютного (W) и удельного (e) расхода электроэнергии от количества перерабатываемого сырья (G) или произведенной продукции (Π), выявлены основные закономерности изменения электрических нагрузок и удельного электропотребления отдельных агрегатов и производственных подразделений. На основе анализа энергетических характеристик выбираются рациональные режимы электропотребления, обеспечивающие минимум затрат и нормирование электроэнергии. Разработана методика в котором предложено включить удельные расходы сырья и материалов непосредственно в расчетные формулы удельного электропотребления каждого производственного подразделения и предприятия в целом. При этом резервы экономии электроэнергии выявляются в результате оптимизации компонентов показателей сырья, материалов и энергии.

The article proposes a methodology for assessing the reserves of energy savings at industrial enterprises. The main directions of research in assessing the reserve of energy savings are given. Based on the construction of energy characteristics, which are functions of power (P), absolute (W) and specific (e) consumption of electricity from the amount of processed raw materials (G) or manufactured products (Π), the main patterns of changes in electrical loads and specific power consumption of

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

individual units have been identified and production units. Based on the analysis of energy characteristics, rational modes of power consumption are selected, which ensure a minimum of costs and rationing of electricity. A technique has been developed in which it is proposed to include the specific consumption of raw materials and materials directly into the calculation formulas for the specific power consumption of each production unit and the enterprise as a whole. In this case, the reserves of energy savings are revealed as a result of the optimization of the components of the indicators of raw materials, materials and energy.

Опыт научно-исследовательских и экспериментальных работ, проводимых в электросиловых и электротехнологических процессах на действующем оборудовании предприятий различных отраслей промышленности с использованием методов системного анализа, показывает высокую эффективность этих работ, а также научную обоснованность предложенных рекомендаций [1-6].

При оценке резервов экономии электроэнергии на промышленных предприятиях основными направлениями исследований являются:

- выявление закономерностей изменения электрических нагрузок электроприводов при изменении режима работы технологического оборудования;
- составление соответствующих математических моделей, позволяющих выявить возможности минимизации электрических нагрузок;
- оценка влияния энергетических, технологических и эксплуатационных факторов на величину электрических нагрузок, абсолютное и удельное электропотребление;
- использование уравнений парных и множественных связей, а также графоаналитических методов;
- выполнение работ по выявлению функциональных зависимостей электрических параметров от конструктивных особенностей электротермических агрегатов;
- разработка методов наивыгоднейшего распределения мощности во внутривоздушной зоне высоких температур;
- разработка методов снижения потерь электроэнергии в промышленных электрических сетях, в электрических машинах и аппаратах;
- рационализация выработки и распределения реактивной мощности с учетом уровня напряжения в соответствии со статическими характеристиками;
- разработка новых методов регулирования электрических нагрузок со снижением потребляемой мощности в часы максимума энергосистемы предприятий с круглосуточным режимом работы без сокращения их производительности;
- изыскание путей и способов перевода предприятий в режим потребителей-регуляторов нагрузки энергосистемы;
- разработка алгоритмов и комплекса программ по анализу, расчету, прогнозированию и нормированию энергоресурсов с учетом внутренних и внешних межпроизводственных связей;
- анализ экономии энергоресурсов при переводе на энергосберегающие режимы действующего оборудования и внедрение новых перспективных машин, механизмов и технологических процессов.

Остановимся на некоторых примерах энергосбережения.

Известно, что основные закономерности изменения электрических нагрузок и удельного электропотребления отдельных агрегатов и производственных подразделений могут быть выявлены построением энергетических характеристик, представляющих собой функции мощности (P), абсолютного (W) и удельного (e) расхода электроэнергии от количества перерабатываемого сырья (G) или произведенной продукции (Π) [7-11].

Эти характеристики, кроме своей основной служебной роли, заключающейся в выборе наивыгоднейших режимов, обеспечивающих минимум затрат и нормирования электроэнергии, могут быть использованы и для выявления резервов экономии электроэнергии. Для этого можно предложить следующие методы [12-13].

На основании паспортных и факторных данных технологического оборудования и технологического регламента строим энергетическую характеристику производственного подразделения (цех, предприятие). В качестве исходных данных для построения этой характеристики должны быть приняты фактически потребляемая мощность и расход электроэнергии, полученные по замерам при нормальном режиме работы предприятия и нормальном состоянии машин и механизмов [14].

На рис.1 кривые $W = f(\Pi)$ и $e = f(\Pi)$ представляют собой минимально возможный уровень расхода электроэнергии и удельного электропотребления, ниже которого он не может быть снижен при данном составе и техническом уровне технологического оборудования. Здесь каждой точке производительности соответствует строго определенное количество машин, механизмов, станков, линий и др., работающих с максимальной производительностью.

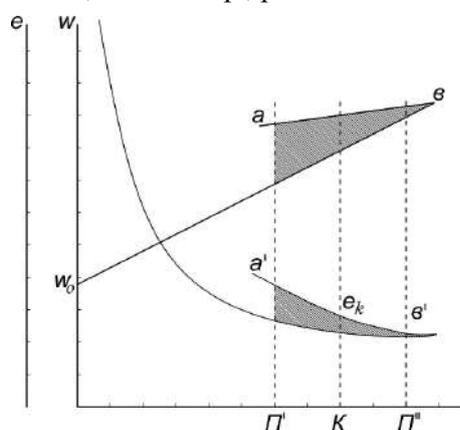


Рис.1. Нормативная энергетическая характеристика предприятия

В постоянную составляющую расхода электроэнергии (W_0) входит расход на освещение, отопление, вентиляцию и т.д.

Для рабочей зоны характеристики, ограниченной практически возможными отклонениями величины выпускаемой продукции ($\Pi' \div \Pi''$), по фактическим

данным производства, методами математической статистики, находим участок энергетической характеристики, отражающий уровень электропотребления ($a \div b$), ($a' \div b'$).

Таким образом, величина резерва экономии электроэнергии в точке K определяется из выражения: $\Delta W_{\text{э.к}} = (e_k - e)\Pi$. (1)

Полученный по формуле (1) результат дает представление об общем резерве экономии энергии при данном уровне эксплуатации и организации производства. Естественно, что для реализации этого резерва необходимо выявить

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

конкретные факторы, под воздействием которых непроизводительно расходуется электроэнергия. Для этой цели могут быть использованы корреляционный и регрессионный многофакторный анализы.

В результате анализа оперативной информации с участием специалистов производства выделяем для расчета те факторы, которые по своим качественным показателям могут оказать определенное влияние на показатели электропотребления.

В качестве функции принимаем удельный расход электроэнергии на единицу продукции.

В результате получаем множественную математическую модель:

$$e = a + \vartheta x_1 + c x_2 + \dots + \gamma x_n, \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n - наиболее значимые нормобразующие факторы, такие, например, как коэффициент использования оборудования, температура, влажность и др.; a, ϑ, c, γ - постоянные коэффициенты.

Полученная полиномиальная модель позволяет выявить факторы, под воздействием которых повышается электропотребление, дать их качественную оценку и включить в резерв экономии электроэнергии.

С использованием характеристик $e = f(\Pi)$ можно решать также такую задачу, как выявление резерва снижения энергозатрат на предприятиях, на которых полезный продукт извлекается из первичного сырья и качество готовой продукции зависит от содержания его в сырье и степени извлечения (фосфориты, хлопок-сырец и др.). Естественно, что повышение коэффициента выхода полезной продукции (ξ), снижение ее потерь могут привести к значительной экономии энергии [15-16].

Удельный расход электроэнергии на единицу перерабатываемого сырья составит:

$$e_G = \frac{W_G}{G}. \quad (3)$$

где G - количество перерабатываемого сырья.

$$\text{Количество готовой продукции составит: } \Pi = \xi G, \quad (4)$$

Соответственно, удельный расход электроэнергии на производство готовой продукции находится из выражения:

$$e = \frac{W}{\xi G}. \quad (5)$$

Принимая, что расход электроэнергии остается постоянным при переработке одного и того же объема сырья и не зависит от содержания полезного продукта и коэффициента выхода ($W_G = W$) получим:

$$e = \frac{1}{\xi} e_G. \quad (6)$$

Значение (e) может быть получено также непосредственно из энергетической характеристики $e = f(\Pi)$.

Увеличение коэффициента выхода за счет совершенствования технологии и организации производства на величину $\Delta \xi$ приведет к уменьшению удель-

ного электропотребления и экономии электроэнергии в соответствии с выражением:

$$\Delta e = \left(\frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi + \Delta \xi} \right) e_G. \quad (7)$$

Для предприятий, на которых процесс извлечения полезного продукта из сырья двухступенчатый (предварительное и полное извлечение) резерв экономии энергии скрывается в соотношении коэффициентов выхода полезной продукции каждой ступени. Например, при извлечении масла из семян в прессовом производстве, часть масла остается в ракушке и извлекается путем экстракции на второй ступени процесса. Удельный расход электроэнергии на каждой из двух ступеней будет противоположно меняться в зависимости от изменения коэффициента извлечения на первой ступени - чем выше он при предварительном отжиме, тем ниже удельный расход электроэнергии и наоборот – выше в процессе экстракции. Энергетически наивыгоднейший коэффициент в пределах технологического регламента может быть получен графоаналитическим методом, учитывающим показатели обеих ступеней процесса получения масла [17-19].

Значительные резервы экономии энергоресурсов скрыты в мероприятиях по снижению материалоемкости готовой продукции, снижения удельных показателей расхода сырья и полуфабрикатов.

Естественно, что для решения данной задачи необходимо, в первую очередь, иметь ясное представление об энергоемкости применяемых материалов, изделий и конечной продукции, а не всегда возможно. Дело в том, что до настоящего времени нет единого подхода к оценке энергоемкости отдельных видов промышленной продукции, например, на предприятии с полным технологическим циклом, включающем процессы, начиная с переработки первичного сырья, кончая изготовлением готовой продукции, учитывается и определяется полная электроемкость выпускаемой продукции.

На предприятиях же с неполным циклом производства, того же профиля, получающих от смежных предприятий соответствующий полуфабрикат, та же готовая продукция, имеющая по существу ту же энергоемкость, будет оцениваться только по той энергии, которая затрачивается на предприятии с неполным циклом производства. В результате показатель удельного электропотребления в справочной литературе для одной и той же продукции меняется в достаточно больших пределах. При этом метод оценки энергоемкости внутри самого предприятия также различен. Так, если взять предприятия разных отраслей промышленности, с полным циклом производства, например, по производству цемента и хлопкового масла, то в первом случае в энергоемкость готовой продукции (цемент) входит производство полуфабриката – клинкера, а во втором случае в энергоемкость готовой продукции – рафинированное масло, энергоемкость полуфабриката – черное масло, не включается. В результате отсутствия одного подхода к решению данной задачи в ряде случаев возникают значительные трудности в оценке истинной энергоемкости того или иного продукта.

Рассмотрим метод оценки полной энергоемкости промышленного изделия, в изготовлении которого на отдельных его этапах участвует ряд предприятий, в том числе, других отраслей промышленности.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Принимаем K общее количество производств, участвующих в получении и изготовлении сырья, полуфабрикатов и материалов, необходимых для производства конечной продукции Z . Количество продукции, выпускаемой каждым из этих производств, обозначим соответственно Q, Q_1, \dots, Q_n .

Полная электроемкость составит:

$$\varepsilon_n = . \quad (8)$$

здесь m - количество видов сырья, материалов, полуфабрикатов, поступающих на предприятие для изготовления конечной продукции; ε_i - удельный расход электроэнергии на выпуск i -го производства, участвующего в выпуске конечной продукции; $\gamma_{zi} = \frac{Q}{Z}$ - удельный расход i -го промежуточного продукта на единицу конечной продукции; e - величина удельного расхода электроэнергии на предприятии, выпускающем конечную продукцию.

Сокращение затрат сырья, материалов и полуфабрикатов на выпуск готовой продукции является очень важным направлением в работе по рациональному использованию энергетических ресурсов. Эти затраты в электроэнергетических расчетах, как правило, не учитываются. Между тем они являются определяющими в электропотреблении на всех многочисленных технологических переделах каждого производства.

Естественно, что уровень электропотребления будет зависеть как от качества сырья материалов, так и от технического совершенства технологического оборудования и процесса.

Учитывая, что для получения одной тонны готовой продукции необходимо, в ряде случаев переработать десятки тонн сырья и материалов и там, где организация производства находится на недостаточном уровне, могут быть допущены сверхнормативные потери и соответственно перерасход энергии.

Учет всего этого позволит поднять на новый качественный уровень содержание работ по нормированию электроэнергии.

Сущность предлагаемого метода заключается в том, что удельные расходы сырья и материалов включаются непосредственно в расчетные формулы удельного электропотребления каждого производственного подразделения и предприятия в целом. При этом резервы экономии электроэнергии выявляются в результате оптимизации компонентов показателей сырья, материалов и энергии.

В качестве примера можно привести предприятие по производству аммофоса. Удельный расход электроэнергии на одну тонну аммофоса (заводской показатель) составляет, для:

$$\text{аммиака } \gamma_a = 0,327;$$

$$\text{фосфоритов } \gamma_\phi = 0,425;$$

$$\text{серной кислоты } \gamma_{с.к} = 0,322.$$

Соответственно, удельный расход электроэнергии на предприятиях, производящих данные материалы составляет:

$$\xi_a = 13640 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т} \text{ (электролитический аммиак);}$$

$$\xi_\phi = 50 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т};$$

$$\xi_{с.к} = 87 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}.$$

Полная электроемкость аммофоса составит:

$$\xi_{аммофос}^n = 13640 \cdot 0,327 + 50 \cdot 0,425 + 87 \cdot 0,332 + 620 = 5060 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}.$$

При использовании в технологии консервированного аммиака:

$$\xi_a = 1580 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т} \quad \xi_{аммофос}^n = 1197 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{т}.$$

Таким образом, полная (истинная) электроемкость аммофоса в 2-8 раз больше, чем электроемкость, исчисляемая заводом – изготовителем конечной продукции. Величина экономии электроэнергии от экономии конечной продукции на величину ΔZ при ее использовании составит:

$$W_{эк.} = \xi \cdot \Delta Z. \quad (9)$$

В нашем примере, каждая тонна сэкономленного аммофоса в сельском хозяйстве дает более 5000 кВт.ч экономии электроэнергии.

Далее рассмотрим метод оценки влияния материалоемкости на электроемкость готовой продукции и определения величины резерва экономии энергии от снижения этого показателя.

Экономия электроэнергии для предприятия в целом при снижении материалоемкости в цехах составит:

$$W_{эк.} = \sum [\alpha_i - (d_i \pm \Delta d_i)(q_i - \Delta q_i)] Z; \quad (10)$$

где q и Δq - удельный расход сырья или полуфабрикатов и соответственно отклонение на единицу конечной продукции;

d и Δd - удельный расход электроэнергии и, соответственно, его отклонение на единицу цеховой продукции;

$\alpha = dq$ - долевое участие данного цеха в величине удельного электропотребления конечной продукции.

Таким образом предложенные методы электроэнергетической оценки влияния технологических и организационных факторов на энергетические показатели производства позволяют обоснованно включать их в резерв экономии энергоресурсов и способствует совершенствованию действующих и созданию новых энергосберегающих процессов и видов оборудования. Кроме этого при оценке величины полной электроемкости конечной продукции промышленных предприятий, а также выявление резервов экономии энергии при сокращении материалоемкости, должны учитываться в эксплуатации, планировании и прогнозировании энергетических показателей.

Литература

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. -Т.: Fan va texnologiya, 2021. - 923 с.
2. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Шеметов А.Н. и др. Управление электропотреблением и энергосбережение. Теория и практика. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013. – 420 с.
3. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. -Н.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. - 296 с.

4. Сергеев Н.Н. Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий: монография. -Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. – 116 с.

5. Кудрин Б.И. О теоретических основах и практике нормирования и энергосбережения // Промышленная энергетика. 2006. № 6.

6. Авилов-Карнаухов Б.Н. Приложение энергетических характеристик агрегатов для нормирования и анализа потребления электроэнергии//Нормирование потребления электроэнергии и энергобалансы предприятий. -М.: МДНТП, 1979., - С. 62-65.

7. Вагин Г.Я. К вопросу о нормировании расходов топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях //Промышленная энергетика. 2007. - №3. – С.6-7.

8. Копцев Л.А., Журавлев Ю.П. Управление энергетической эффективностью электросталеплавильного цеха// Вестник ЮУрГУ. 2008. - №17. – С.13-20.

9. A.V. Kabyshev, A.I. Muravlev, G.A. Nizkodubov. Electrical supply of industrial enterprises / doi.org/10.1051/e3sconf/201912402006.

10. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. – Л.: Энергия.1966. - 319 с.

11. Казаринов Л.С. Метод многоуровневого нормирования и оптимального прогноза объемов потребления электрической энергии промышленным предприятием / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, О.В. Колесникова, А.А. Захарова // Автоматика и вычислительная техника. 2014. - № 6. -С. 20-32.

12. Гнатюк В.И. и др. Оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса методами рангового анализа: Учебно-методическое пособие. –Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. – 233 с.

13. Кокшаров В.А. Концепция эффективного управления энергопотреблением промышленного предприятия // Экономика, статистика и информатика. 2014. - №4. – С.66-71.

14. Рахмонов И.У., Жалилова Д.А., Ньматов Л.А., Азимова Г.У., Коптлеуов Т.Т. Программа определения значений корректировки удельного электропотребления /Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №11097 21.05.2021.

15.Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Анализ нормирования электропотребления на предприятиях черной металлургии//Журнал «Вестник ТашГТУ». Ташкент, 2019. - №1. С. 52-57.

16. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Энергосбережение на предприятиях черной металлургии // Электронный научный журнал «Исследования технических наук». Россия, Москва, 2016. - №1(19) Январь-Март. – С. 3-5.

17. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Методика определения оптимальных пределов параметров электропотребления оборудования предприятий черной металлургии //Научно-технический журнал ФерПИ. Фергана, 2019. – Том 23 - №3. -С. 147-150.

18. Rakhmonov I.U. Analysis and Calculation of Energy Indicators based on the Formation of the Predicted Value of the Total and Specific Energy Consumption //

Global Journal of Science Frontier Research. Volume 20 Issue 2 Version 1.0. Year 2020 Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Снижение расхода электроэнергии на предприятиях с непрерывным характером производства путем выбора числа технологических агрегатов и режимов их работы //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2020. - №4. -С. 164-168.

19. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Основные направления по рациональному использованию электроэнергии на предприятиях с непрерывным характером производства //Проблемы энерго-и ресурсосбережения. Ташкент, 2020. - №4. -С. 198-203.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.324

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ
ПОДЗЕМНЫХ ПЛОДОВООЩЕХРАНИЛИЩ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГРУНТОВОГО АККУМУЛЯТОРА ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА**

Г.Н. Узаков, Ш.К. Яхшибоев

Ушбу мақолада Қариши шаҳри шароитида ташиқи ҳавонинг совуқ ҳароратли давомийлигини ҳисобга олиб мева-сабзавот омборларини совутиши тизимлари учун қайта тикланадиган табиий совуқ ҳаво манбаларидан фойдаланиши самарадорлиги таҳлил қилинган. Ушбу тадқиқотнинг мақсади энергия сарфи камлиги ва экологик тозаллиги билан фарқ қиладиган табиий совуқлик аккумуляторли мева-сабзавот омборларини совутиши тизимининг технологик схемасини ишлаб чиқиши ва ер ости сақлаш омборининг тупроқ қатламида аккумуляция қилинган табиий совуқликдан фойдаланишида энергия тежаш имкониятларини аниқлашдан иборат. Бажарилган назарий тадқиқотлар асосида совутиши давомийлиги, қувур узунлиги, тупроқнинг иссиқлик-физикавий хоссалари, ҳавонинг сарфи ва ҳароратини ҳисобга олиб, табиий совуқлик аккумулятори қувури атрофидаги тупроқ қатламини ҳароратини ўзгаришини аниқлаш имконини берадиган аналитик боғлиқлик олинган. Табиий совуқлик аккумуляторли ер ости мева-сабзавот омборининг энергия тежамкор совуқлик таъминоти тизимининг қўлланилиши натижасида анъанавий тизимларга нисбатан маҳсулотларни 6 ой сақланишида 60-75 фоизгача электр энергиясини тежалиши аниқланган.

В данной работе проведен анализ эффективности использования возобновляющиеся источников естественного холода наружного воздуха для систем холодоснабжения плодовоощехранилищ с учетом продолжительности стояния отрицательных температур наружного воздуха в условиях г. Қариши. Целью данного исследования является разработка технологической схемы системы холодоснабжения плодовоощехранилищ с использованием грунтового аккумулятора естественного холода, отличающихся малой энергоемкостью и экологической чистотой, а также определить возможности экономии энергии при использовании аккумулятированного естественного холода в грунтовом массиве подземной хранилище. На основе выполненных теоретических исследований получена аналитическая зависимость, которая позволяет определить изменение температуры прилегающего грунтового массива вокруг трубы грунтового аккумулятора естественного холода в зависимости от расхода и температуры приточного воздуха, теплофизических свойств грунта, длины трубы и времени охлаждения. Установлено, что применение энергосберегающей системы холодоснабжения подземного плодовоощехранилища с использованием грунтового аккумулятора естественного холода позволяет снизить расход электроэнергии на охлаждение за 6 месяцев хранения продуктов на 60 ÷ 75% по сравнению с традиционными системами.

In this paper, an analysis of the efficiency of using renewable sources of natural outdoor cold for fruit and vegetable storage cold supply systems is carried out, taking into account the duration of negative outdoor temperatures in the conditions of Karshi. The purpose of this study is to develop a technological scheme for the cooling system of fruit and vegetable storages using a ground accumulator of natural cold, characterized by low energy intensity and environmental cleanliness, as well as to determine the possibilities of saving energy when using accumulated natural cold in the underground storage ground array. Based on the theoretical studies carried out, an analytical dependence was obtained that allows us to determine the temperature change of the adjacent soil massif around the pipe of the soil accumulator of natural cold depending on the flow rate and temperature of the supply air, the thermophysical properties of the soil, the length of the pipe and the cooling time. It has been established that the use of an energy-saving cooling system for an underground fruit and vegetable storage with the use of an underground accumulator of natural cold allows to reduce the consumption of electricity for cooling for 6 months of food storage in comparison with traditional systems.

Введение. Повышение цен на традиционные энергоресурсы и экологических нагрузок в атмосфере вызывает большой интерес к способам использования нетрадиционных источников энергии и, в частности, низкопотенциального природного холода. На основании анализа научной литературы [1-7] выявилось, что разработка и внедрение энергосберегающих систем охлаждения плодоовощных продуктов (ПОП) с использованием естественного холода является одним из эффективных способов снижения расхода энергии в системах холодоснабжения, сохранения качества и удлинения сроков хранения ПОП.

В традиционных системах охлаждения холодильных камер производство искусственного холода с применением парокомпрессионных холодильных машин связано большими затратами электроэнергии [8]. В стационарных плодоовощехранилищах обеспечение требуемого температурного режима хранения ПОП с использованием парокомпрессионных холодильных установок имеет ряд недостатков. Прежде всего, это значительные капитальные затраты, высокая энергоемкость-от 2000 до 7000 $kWh \cdot час$ на одну тонну хранимой ПОП [8 - 10].

В связи с этим, для охлаждения и активного вентилирования в системах холодоснабжения плодоовощехранилищ (ПХ) могут быть использованы естественные источники холода (низкотемпературный атмосферный воздух, артезианская и грунтовая вода и т.п.).

Запасы естественного холода практически неограниченны и являются экологически чистыми и малоэнергоемкими. Поэтому разработка и проектирование систем холодоснабжения плодоовощехранилищ с использованием естественного холода наружного воздуха является актуальным.

Целью данного исследования является разработка системы холодоснабжения плодоовощехранилищ с использованием грунтового аккумулятора естественного холода и определение резервов экономии энергии при использовании аккумулированного естественного холода в грунтовом массиве подземного плодоовощехранилища.

Методы и материалы. В работе для подземных плодоовощехранилищ предлагается применение системы охлаждения с грунтовым аккумулятором

естественного холода (ГАЕХ). Использование ГАЕХ позволяет уменьшить мощность холодильной установки на 30-40 %. ГАЕХ-это теплообменное устройство, горизонтально, вертикально или наклонно расположенное в грунтовой массе и обеспечивающее теплообмен между грунтом и циркулирующим через данное техническое устройство теплоносителем (воздух, вода и т.п.).

Основными теплотехническими параметрами аккумуляторов естественного холода являются хладоемкость (кДж, кВт·час), величина зарядной хладопроизводительности (кВт), температура, влажность воздуха и грунта. Эффективность ГАЕХ зависит от климатических параметров наружного воздуха местности. Климат Кашкадарьинский области является резко-континентальным, средняя температура в январе от -7 до -14⁰С, июле от +20 до +42⁰С [12].

Важным теплотехническим параметром для оценки аккумулялирования естественного холода является индекс холода. Индекс холода вычисляется по формуле [11]:

$$Q_x = \Sigma(t_i \cdot D_i); \tag{1}$$

где t_i - среднесуточная температура окружающего воздуха в зимний период времени, ⁰С; D_i - количество дней в году с температурой ниже нуля.

С целью оценки потенциальной возможности использования естественного холода атмосферного воздуха вычислены индексы холода для условий г. Карши в зависимости от количества дней в году, имеющих отрицательную температуру. Результаты расчетов представлены в табл.1.

Количество суток, имеющих отрицательную температуру по месяцам в периоде хранения ПОП для условий г. Карши представлены в табл.2. и на рис.1.

Таблица 1

Индексы холода по годам (г. Карши)

Осенне-зимний сезон	Количество дней с отрицательной температурой в году	Индекс холода, градус суток
2018	62	170,29
2019	44	122,92
2020	88	296,31

Анализ метеорологических данных [12] для города Карши показывает, что количество суток, имеющих температуру наружного воздуха в пределах $0^0C \leq t_n \leq 5^0C$ в 2020 году составило в периоде ноябрь – март 34 суток (табл.3).

Результаты анализа среднесуточных температур наружного воздуха для г. Карши (табл.2) показывают, что в 2020 году количество суток с отрицательной температурой составляет 88 суток (почти 3 месяца в год), а индекс холода в период хранения ПОП составил 296,31 градус суток. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в условиях г. Карши можно эффективно использовать потенциал естественного холода для охлаждения ПОП в подземных плодохранилищах. Если учесть, что в 2020 году общее количество суток с температурой наружного воздуха $0^0C \leq t_n \leq 5^0C$ составило 34 суток (табл.3), в южном регионе республики имеется возможность использования естественного холода воздуха в течение $88+34=122$ суток (4 месяца).

Таблица 2
Количество суток с отрицательной температурой по месяцам в период хранения
ПОП (г.Карши)

№	Годы	Месяцы					Количество суток с отрицательной температурой
		Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	
1	2018	10	14	20	16	2	62
2	2019	15	9	14	12	-	50
3	2020	17	28	24	13	6	88
	Итого	36	51	58	41	8	200

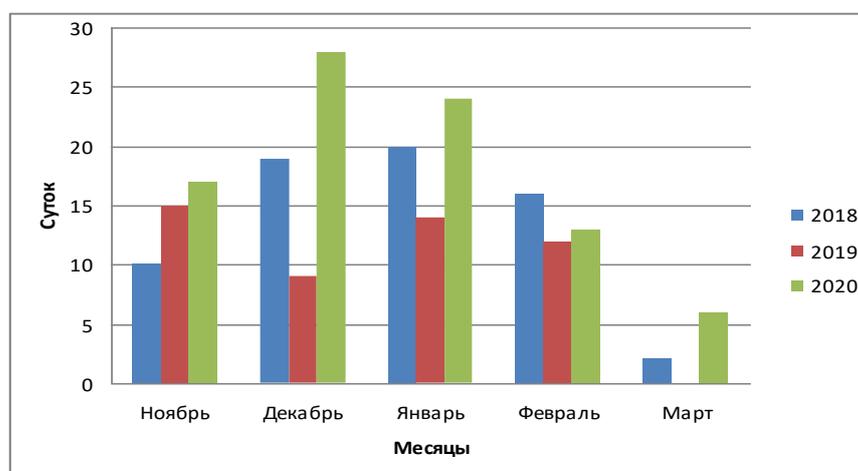


Рис.1. Количество суток с отрицательной температурой наружного воздуха

Таблица 3
Количество суток, имеющих температуру наружного воздуха $0 \div 5^{\circ}\text{C}$

№	Годы	Месяцы					Число суток с температурой $0 \div 5^{\circ}\text{C}$
		Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	
1	2018	18	14	11	7	5	55
2	2019	11	15	14	14	15	69
3	2020	4	3	7	13	7	34
	Итого	33	32	32	34	27	158

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований, а также проведенных экспериментов в натурном объекте, нами предложено энергосберегающее подземное плодовоовощехранилище с ГАЕХ и теплонасосной установки (ТНУ). Альтернативная энергосберегающая система холодоснабжения (АЭСХ) состоит из подземного плодовоовощехранилища с системами активной вентиляции (САВ), ГАЕХ и энергоэффективной ТНУ [13, 14,15].

Поперечный разрез подземного хранилища и схема расположения ГАЕХ представлен на рис.2. Геометрические размеры подземного плодовоовощехранилища следующие:

$B = 12 \text{ м}, L = 50 \text{ м}, h = 3 \text{ м}$, соответственно, строительный объем камеры составляет $V_{стр} = 1800 \text{ м}^3$. При норме загрузки $g = 0,3 \text{ т}/\text{м}^3$ вместимость камеры $G_{пр} = 500 \text{ т}$.

Удельный расход воздуха на систему активной вентиляции для ПОП по технологическим требованиям составляет $G_{пр} = 50 \div 100 \text{ м}^3 / (\text{т} \cdot \text{час})$ [16,17]. При удельном расходе приточного вентиляционного воздуха $G_в = 80 \text{ м}^3 / (\text{т} \cdot \text{час})$ для активного вентилирования подземного хранилища вместимостью $G_{пр} = 500 \text{ т}$ требуется холодный воздух в количестве:

$G_в = 80 \cdot 500 = 40000 \text{ м}^3 / \text{час}$ или $G_в = 11,1 \text{ м}^3 / \text{сек}$. Количество подаваемого холодного воздуха через системы активной вентиляции и трубы ГАЕХ является основным технологическим параметром для определения требуемого расхода холода плодоовощехранилищ.

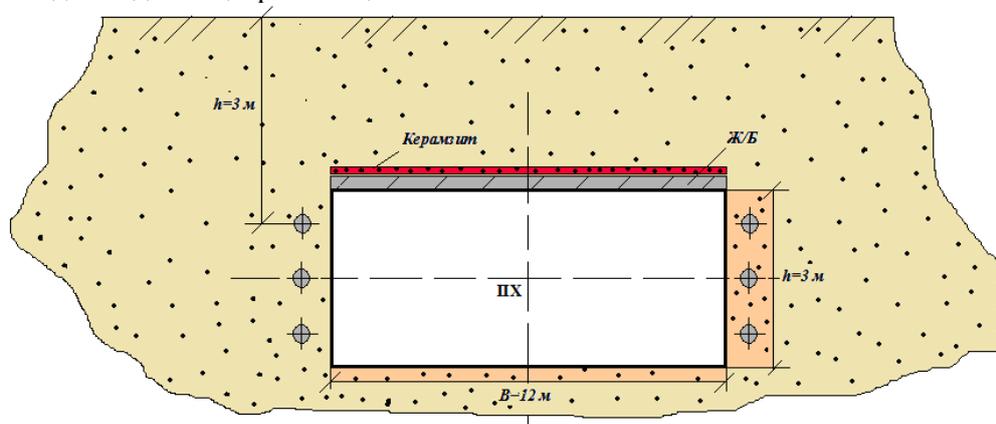


Рис.2. Поперечный разрез подземного плодоовощехранилища

Требуемый расход холода для охлаждения и хранения ПОП (для яблок зимних сортов) в плодоовощехранилище вместимостью 500 т в условиях г. Карши определен на основе решения уравнения теплового баланса с учетом всех составляющих теплопритоков согласно методикой [18,19] и составляет $Q_x = 165 \div 180 \text{ кВт}$ в зависимости от изменения температуры наружного воздуха. При сквозном проветривании холодильной камеры через систему активной вентиляции холодным приточным воздухом при пассивном режиме ГАЕХ потенциальная возможность использования естественного холода определена по формуле и составляет:

$$Q_{ГАЕХ} = G_в \cdot c_{pв} \cdot \rho_в \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где $G_в$ - расход охлаждающего приточного вентиляционного воздуха в системе ГАЕХ, $\text{м}^3 / \text{сек}$; $c_{pв}$ - теплоемкость воздуха $\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$; $\rho_в$ - плотность воздуха,

$\frac{\kappa_2}{M^3}$; $\Delta t = t_{e1} - t_{e2}$ - разность температуры воздуха в вытяжном канале и на входе САВ, $^{\circ}C$.

При $\Delta t = 10^{\circ}C$, холодильная мощность ГАЕХ составляет $Q_{ГАЕХ} = 11,1 \cdot 1,05 \cdot 1,293 \cdot 10 = 150,4$ кВт; при $\Delta t = 12^{\circ}C$, $Q_{ГАЕХ} = 11,1 \cdot 1,05 \cdot 1,293 \cdot 12 = 180,5$ кВт.

Таким образом, при подаче естественного холода наружного воздуха $40000 \text{ м}^3/\text{час}$ ($11,1 \text{ м}^3/\text{сек}$) с температурой $t_e = 0^{\circ}C$ в холодильную камеру ПХ через систему САВ и ГАЕХ, полностью покрывается требуемый расход холода.

Разработана и исследована энергосберегающая система холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ (рис.3).

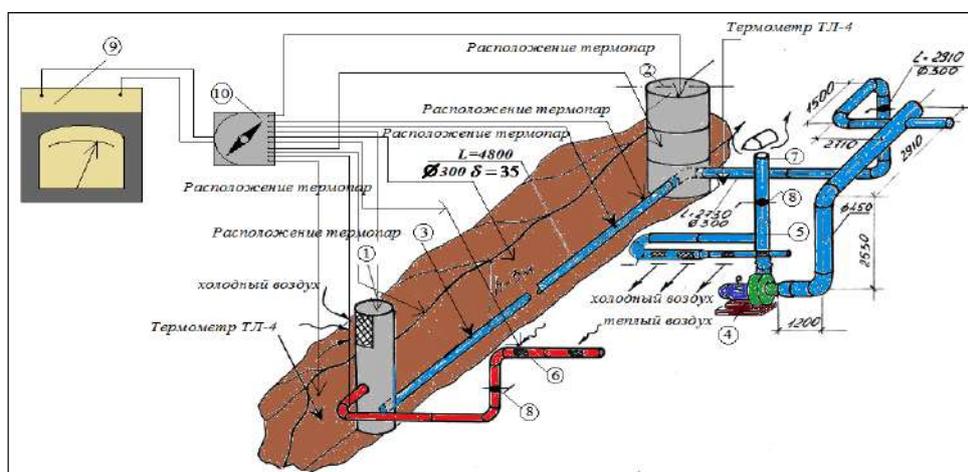


Рис.3. Технологическая схема энергосберегающей системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с использованием грунтового аккумулятора естественного холода: 1 - воздухозаборный колодец; 2 - смотровой колодец; 3 - подземный канал грунтового аккумулятора естественного холода; 4 - вентиляционный агрегат 90ЦС240; 5 - воздуховод режима сквозного проветривания; 6 - воздуховоды режима снятия избытки тепла; 7 - вытяжная труба; 8 - задвижки; 9 - самопишущий прибор КСП-4; 10 - переключатель

Для исследования температурного режима ГАЕХ составлена математическая модель теплового баланса установки согласно схеме рис.4 [20]:

$$dQ = G_e c_e \rho_e (t_{e2} - t_{e1}) d\tau, \quad (3)$$

$$dQ = k_1 \pi \Delta t_{cp} d\tau, \quad (4)$$

$$dQ = m_{cp} c_{cp} (t_{cp} - t'_{cp}), \quad (5)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{\ln \frac{t_{e2} - t_{cp}}{t_{e1} - t_{cp}}}. \quad (6)$$

Приравнявая уравнения (3) и (4) получено следующее:

$$k_l \pi l \frac{t_{\theta 2} - t_{\theta 1}}{\ln \frac{t_{\theta 2} - t_{cp}}{t_{\theta 1} - t_{cp}}} = G_{\theta} c_{\theta} \rho_{\theta} (t_{\theta 2} - t_{\theta 1}). \quad (7)$$

В уравнениях (3)-(6) приняты следующие обозначения: Q - количество тепловой мощности, полученное воздухом при охлаждении грунтового массива, кВт; l - длина трубы ГАЕХ, м; k_l - линейный коэффициент теплопередачи, $Вт/м \cdot K$; τ - время, с; m_{cp} - масса грунтового массива прилегающего к трубе ГАЕХ, кг; c_{cp} - теплоемкость грунта, $\frac{кДж}{кг \cdot ^{\circ}C}$; t_{cp} - температура, $^{\circ}C$.

Из уравнения (4.6) получим следующее:

$$t_{\theta 2} = t_{cp} + (t_{\theta 1} - t_{cp}) \exp\left(-\frac{k_l \pi}{G_{\theta} c_{\theta} \rho_{\theta}} l\right). \quad (8)$$

Полученное уравнение (8) позволяет определить температуру воздуха на выходе из трубы ГАЕХ в зависимости от t_{cp} , G_{θ} , и l .

Линейный коэффициент теплопередачи через трубы ГАЕХ вычислен по формуле [20]:

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{2\lambda_{cp}} \ln \frac{d_{cp}}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_T} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_1 d_1}}; \quad (9)$$

где λ_{cp} - коэффициент теплопроводности грунта, $\frac{Вт}{(м \cdot K)}$; d_{cp} - диаметр прилегающего грунтового массива, м; d_1 и d_2 - внутренний и внешний диаметр трубы ГАЕХ, м; α_1 - коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot K)$; λ_m - коэффициент теплопроводности материала стенки трубы ГАЕХ, $\frac{Вт}{(м \cdot K)}$.

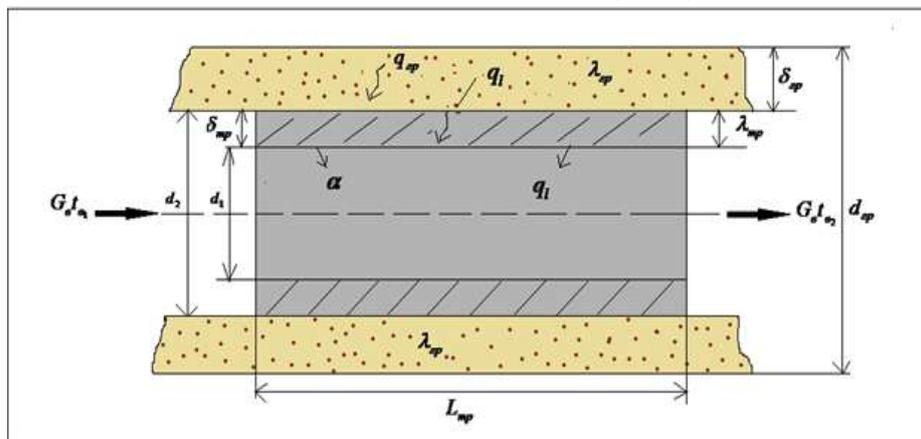


Рис.4. Расчётная схема теплового баланса ГАЕХ

Приравнивая уравнения (5) и (3) получаем:

$$t'_{zp} = t_{zp} - (t_{zp} - t_{e1}) \left(1 - \exp\left(-\frac{k_l \pi}{G_e c_e \rho_e} l\right) \frac{G_e c_e \rho_e}{m_{zp} c_{zp}} \cdot \tau\right). \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет определить изменение температуры прилегающего грунтового массива вокруг трубы ГАЕХ в зависимости от расхода воздуха, температуры приточного воздуха, теплофизических свойств грунта, длины трубы и время охлаждения.

Результаты и обсуждение. Результаты расчетов и экспериментов температурного режима ГАЕХ для двух вариантов труб (Ж/Б и стальная труба) представлены на рис.5-8. Расчеты произведены при $\tau = 1 \text{ суток} = 86400 \text{ сек}$. Длина каждой трубы ГАЕХ составляет 48 м, а общая длина грунтового теплообменника в плодоовощехранилище вместимостью 500 т составит $6 \times 48 = 288 \text{ м}$.

Масса прилегающего грунта вокруг одной трубы ГАЕХ в нашем случае равна:

$$m_{zp} = \rho_{zp} \frac{\pi}{4} (d_{zp}^2 - d_2^2) l = 1700 \cdot \frac{3,14}{4} (1,3^2 - 0,3^2) \cdot 48 = 102490 \text{ кг}.$$

Тогда количество аккумулированного холода в грунтовом массиве равно:
 $Q = m_{zp} \cdot c_{zp} \cdot (t'_{zp} - t''_{zp}) = 102490 \cdot 2,4 \cdot 2 = 491952 \text{ кДж}$ или $136,6 \text{ кВт} \cdot \text{час}$.

Количество аккумулированного естественного холода в грунтовом массиве в течение 5 суток охлаждения наружным воздухом с температурой 0°C и ниже составляет 638,25 кВт.час. Таким образом, в холодные периоды года использование естественного холода в ГАЕХ позволяет сэкономить электроэнергию для производство искусственного холода в работе парокомпрессионных холодильных машин.

В режиме разрядки ГАЕХ, работают только вентиляторы САВ, при этом отключается парокомпрессионная ХМ. Произведен сравнительный технико-экономический расчет предложенной системы охлаждения с ГАЕХ и ТНУ (табл.4).

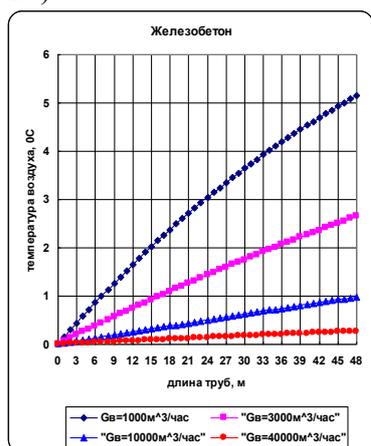


Рис.5. График температуры воздуха по длине трубы ГАЕХ в зависимости от расхода приточного воздуха

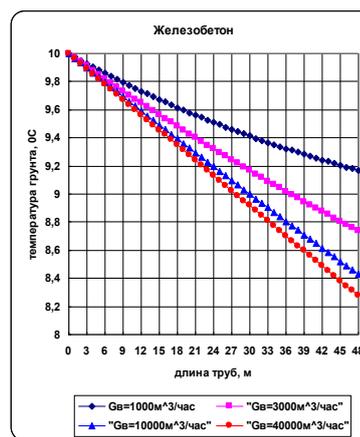


Рис.6. График изменения температуры грунтового массива и по длине трубы ГАЕХ от расхода приточного воздуха

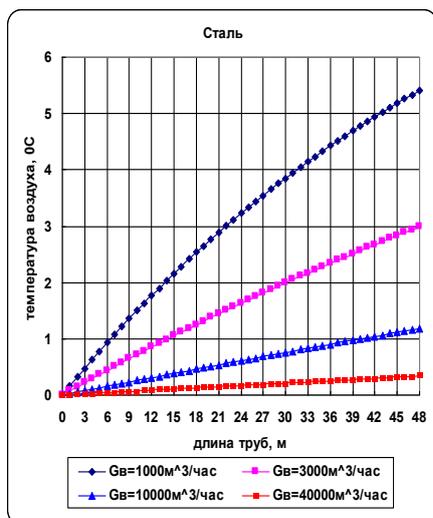


Рис.7. График изменения температуры воздуха по длине трубы ГАЕХ в зависимости от расхода приточного воздуха

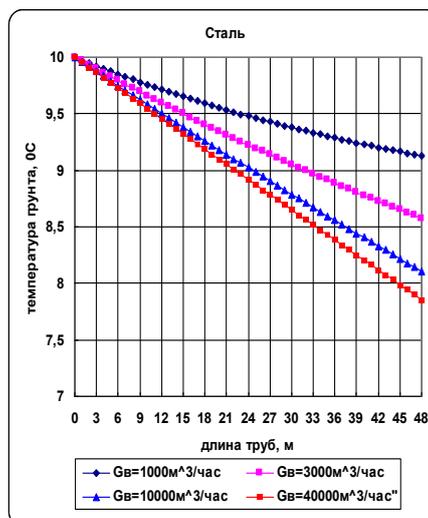


Рис.8. График изменения температуры грунтового массива и по длине трубы ГАЕХ от приточного расхода воздуха

Предложенная система охлаждения с ГАЕХ включает в себя, один осевой вентилятор марки ВО-С-11,2, центробежный вентилятор [21] и ТНУ.

Результаты расчетов технико-экономического анализа показали, что применение системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с ГАЕХ и ТНУ позволяет сэкономить 60-75 % электроэнергии за 6 месяцев по сравнению с традиционными системами.

Таблица.4

Результаты технико-экономического расчета

Параметры хранилища	Плодоовощехранилище с парокompрессионной холодильной машиной (типовой проект)	Плодоовощехранилище с парокompрессионной ХМ и САВ	Плодоовощехранилище с ГАЕХ и ТНУ
1. Вместимость, т	500	500	500
2. Вид хранимого продукта	Яблоки зимних сортов	Яблоки зимних сортов	Яблоки зимних сортов
3. Режим хранения: $t_{от.}$, °C, ϕ , %	0 ÷ 4 °C 90 ÷ 95	0 ÷ 4 °C 90 ÷ 95	0 ÷ 4 °C 90 ÷ 95
4. Продолжительность хранения, сутки	180	180	180
5. Расход электроэнергии на охлаждении кВт·час	1104796,8	1255200	311040
6. Удельный расход электроэнергии	2209,5	2510,4	622,1

Заключение. Проведенный анализ показал, что существующие системы охлаждения плодоовощехранилищ с парокомпрессионными холодильными машинами являются энергозатратными. Энергоемкость хранения ПОП в хранилищах достигает до 2000-7000 кВт·час на тонну, что отрицательно сказывается на себестоимости хранимых продуктов. Из анализа установлено, что перспективным является система холодоснабжения плодоовощехранилищ на основе использования источников естественного холода.

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана технологическая схема энергосберегающей системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с использованием грунтового аккумулятора естественного холода.

В результате теоретических исследований получена аналитическая зависимость, которая позволяет определить изменение температуры прилегающего грунтового массива вокруг трубы ГАЕХ в зависимости от расхода воздуха, температуры приточного воздуха, теплофизических свойств грунта, длины трубы и времени охлаждения.

Результаты проведенных расчетов и натурных экспериментов показали, что применение энергосберегающей системы холодоснабжения подземного плодоовощехранилища с использованием ГАЕХ и ТНУ позволяет снизить расход электроэнергии на охлаждение за 6 месяцев в период хранения ПОП, на 60 ÷ 75 % по сравнению с традиционными системами.

Литература

1. Стребков Д.С. Проблемы энергосбережения в сельском хозяйстве. // Энергосбережения в сельском хозяйстве: труды 2-ой международной научно-технической конференции. Часть 2. -М.: ВИЭСХ, 2020. -С.8-14.
2. Кормановский А.П. Энергосбережение-первостепенная задача в предстоящем столетии// Техника в сельском хозяйстве. 2005. -№4. -С.2-3.
3. Бородин И.Ф. Основные направления сбережения электрической энергии в сельском хозяйстве. / Сборник трудов 2-ой международной конференции часть 1. -М.: ВИЭСХ, 2000. -С.15-18.
4. Киреев В.В. Применение естественного холода для охлаждения пищевых продуктов// Вестник международной академии холода. 2003.-Вып.№3. -С.34-37.
5. Кваженников В.И. Энергосберегающий метод охлаждения молочной продукции// Известия ОГАУ. 2013. -№3. -С.97-99.
6. Иванов В.В. Повышение энергоэффективности оборудования для охлаждения молока с использованием природного холода// Автореферат дис. на соис. ученой степени к.т.н., -Москва, 2016. -26 с.
7. Колошин Д.В. Снижение потерь картофеля и энергопотребления системы вентиляции картофелехранилища совершенствованием воздуховода. Дисс.. на соис. к.т.н. -Рязань, 2017. -132 с.
8. Узаков Г.Н. Научные основы повышения энергоэффективности систем теплохладоснабжения плодоовощехранилищ с использованием нетрадиционных источников энергии. – Т; Фан, 2012. – 214 с.
9. Брем В.К. Разработка теоретических основ расчета и проектирования систем обеспечения параметров воздушной среды в овощехранилище с использо-

ванием естественного источника холода наружного воздуха в грунтовых аккумуляторах. Автреф. на соиск.к.т.н.- Санкт-Петербург, 1998, -19 с.

10. Попель О.С., Фрид С.Е., Тарасенко А.Б., Чернявский А.А. Анализ эффективности практического использования систем сезонного аккумулирования природного холода.// Вестник Дагестанского центра. 2013 №49. - С. 19-26.

11. Савин В.Н. Возможности использования природного холода//Вестник Международной академии холода. 1998.-№1.

12. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/power.larc.nasa.gov>.

13. Uzakov G.N., Yaxshiboyev Sh.K., Vardiyashvili A.A., Mansurov A.A., Mamedova D.N. Mathematical modeling of changes in the air temperature under the ventilation channel in underground fertilizer storage// Scientific-technical journal, 2020. –vol. 24, issue-1, article 6. pp 89-93.

14. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Вардияшвили А.А. Математическое моделирование процессов теплообмена при аккумулировании естественного холода в грунтовом массиве// Научно-технический журнал ФерПИ. -Фергана, 2021.- Том 25.-№ 5. С. 65-69.

15. Узаков Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Рузикулов Г.Ю. Исследование тепловлажностного режима энергосберегающей солнечно-теплонасосной сушильно-холодильной камеры// Проблемы энерго-и ресурсосбережения. -Ташкент, 2021. - № 2.- С. 121-130.

16. Глущенко Н.А. Сооружения и оборудования для хранения продукции растениеводства и животноводства. - М.: Колос, 2009. -303 с.

17. Волкинд И.Д. Промышленная технология хранения картофеля, овощей и плодов. -М.: Агропромиздат, 1989.- 240 с.

18. Румянцев Ю.Д. Холодильная техника.- СПб.: Профессия, 2005. -360 с.

19. Волкинд И.Д. Комплексы для хранения картофеля, овощей и фруктов. - М.: Колос, 1981. -224 с.

20. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. -М.: Энергия, 1977. - 344 с.

21. Оборудование для систем вентиляции овощехранилищ// Каталог вентиляторов для овощехранилищ ООО «Альтернатива».- Брест, 2012. -18 с.

*Представлено Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

УДК 658.012.011.56

**ЁҚИЛҒИ-ЭНЕРГЕТИКА РЕСУРСЛАРИНИ ТЕЖАШНИ БОШҚАРИШ
ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ФУНКЦИОНАЛ МАСАЛАЛАРИНИ ЕЧИШНИНГ
АХБОРОТ ТАЪМИНОТИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ****Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов**

Мақолада ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнининг ўзаро ахборотли боғланган функционал масалаларини ечишининг ахборот таъминоти тузилмаси, IDEFIX услубиятидан фойдаланиб ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнининг ахборот таъминотининг инфологик моделини ишлаб чиқиш, SQL Developer data modelar дастури ёрдамида ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёни ахборот таъминотининг ягона маълумотлар базаси тузилмасини лойиҳалаш жараёни кўриб чиқилган, ҳамда яратилган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг ягона маълумотлар базасидаги ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмоли тўғрисидаги маълумотларни яхлитлигини, улар устида амалларни тезкор бажарилишини ва ортиқча такрорий маълумотларни ортиб кетишини олдини олиш усуллари ва алгоритмлари берилган.

В статье рассматриваются структура информационного обеспечения для решения взаимосвязанных функциональных задач процессов управления сбережением топливно-энергетических ресурсов, разработка инфологической IDEFIX модели информационного обеспечения, решение взаимосвязанных функциональных задач процессов управления сбережением топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), проектирование единой базы данных информационного обеспечения процессов управления сбережением ТЭР с использованием программного средства SQL Developer data modelar, методы расчета нормативных показателей потребления ТЭР в процессах управления их сбережением. Приведены методы и алгоритмы обеспечения целостности данных о потреблении ТЭР, оперативного выполнения действий по ним и предотвращения увеличения избыточных данных в единой базе данных процессов управления сбережением ТЭР.

The article discusses the structure of information support for solving interrelated functional tasks of management processes for the conservation of fuel and energy resource, development of the infological IDEFIX model of information support, solution of interrelated functional tasks of fuel and energy resources conservation management processes, designing a unified database of information support for fuel and energy resources conservation management processes using the SQL Developer data modelar software tool, methods for calculating the standard indicators of consumption of fuel and energy resources in the management processes for the conservation of fuel and energy resources. Methods and algorithms for ensuring the integrity of data on the consumption of fuel and energy resources, prompt execution of actions on

them and preventing an increase in redundant data in a unified database of management processes for saving fuel and energy resources are presented.

Кириш. Жаҳонда ахборот-коммуникация технологияларидан фойдаланган ҳолда ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш, сарфларини камайтириш ва оқимларини назорат қилиш масалалари ечимларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. «European Energy Research Alliance ташкилоти томонидан олиб борилган илмий изланишлар натижалари шуни кўрсатдики, нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарида ёқилғи-энергетика ресурсларни тақсимлаш ва истеъмол қилишдаги йўқотишларнинг аксарияти (90%гача) ёқилғи-энергетика ресурсларини истеъмол қилишга тўғри келади ва қолган 9-10% эса ёқилғи-энергетика ресурсларини узатишдаги йўқотишлар ташкил этади». Бугунги кунда жаҳондаги йирик нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарининг устувор вазифаларидан бири бўлиб ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш, тежаш ва сарфларини назорат қилиш усулларини ишлаб чиқиш ҳисобланмоқда. Жумладан Россия, АҚШ, Эрон, Ироқ, Бразилия, Норвегия, Мексика ва бошқа давлатлардаги нефть ва газ қазиб чиқарувчи корхоналари ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш, тежаш ва сарфларини назорат қилишга имкон берадиган бошқарув тизимининг модель, алгоритм ва дастурий воситасини яратиш устида тадқиқот олиб боришга катта эътибор қаратмоқдалар.

Жаҳонда ёқилғи-энергетика ресурслари истеъмолини самарали бошқариш, тежаш ва сарфларини назорат қилиш муаммоларини ечиш, ёқилғи-энергетика ресурслари сарфларини оптимал режалаштириш, уларнинг оқимлари устида тезкор мониторинг олиб бориш ва олинган натижаларнинг иқтисодётни башоратлаш мақсадида фойдаланишга доир кўплаб илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада, ёқилғи-энергетика ресурслари самарадорлигини ошириш муаммолари ечимларини ягона платформада бирлаштирувчи ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш (ЁЭРТБ) жараёнларининг модель ва алгоритмларини ишлаб чиқиш, улар асосида унинг ахборот тизимини яратиш, ҳамда нефть ва газ қазиб чиқариш корхоналарида қўллаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади [1-3].

Асосий қисм. ЁЭРТБ жараёнларининг тезкор ишлаши учун бошқарилаётган объект ҳолати, ташқи муҳит ва қабул қилинган бошқарув таъсирлари тўғрисидаги ахборотлар керак. ЁЭРТБ жараёнларини ишлашида турли ҳил бошқарув блокларидан келиб тушадиган ахборотларнинг оптимал ҳажми, ахборотлар оқимини вақт ва майдонлар бўйича тақсимлаш каби шартлар керак бўлади. Бу ўз навбатида ахборот таъминотини самарали даражада қуриш кераклигини англатади. ЁЭРТБ жараёнларининг ахборот таъминотини асосий вазифалари ахборотни йиғиш, назорат қилиш, ўзгартириш, сақлаш, янгилаш, тақсимлаш ва ахборотларни манбалардан унинг истеъмолчиларига узатишдан иборат. Ахборот таъминоти тузулмасининг чизмаси ЁЭРТБ жараёнларининг маълумотлар базаси элементлари таркибини аниқлаш, ахборот ва ҳисоблаш жараёнларини самарали қуриш имконини таъминлаш мақсадида уларнинг ўзаро алоқаларини ўрнатиш, ЁЭРТБ таркибидаги компонентларнинг ўзаро ҳаракатларини мувофиқ ахборотлар билан таъминлайдиган йўналишларни танлаш, ҳамда ЁЭРТБ жараёнларининг ахборот таъминотини лойиҳалаш

жараёнини самарали ташкил этиш учун ишлаб чиқилади. ЁЭРТБ жараёнларининг ахборот таъминоти чизмаси 1-расмда келтирилган. Ахборот таъминотининг маълумотлар базаси реляцион модель асосида лойиҳалаштирилган. ЁЭРТБ жараёнларининг ахборот таъминотининг ягона маълумотлар базаси лойиҳалаш жараёни реляцион модель фойдаланган ҳолда SQL Developer data modelar дастури ёрдамида амалга оширилган.



1-расм. Ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнларининг ахборот таъминоти чизмаси

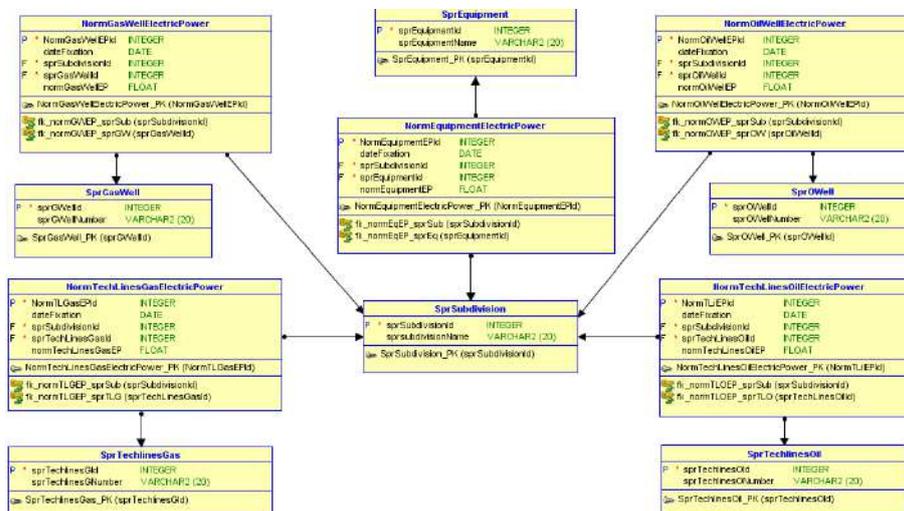
Унинг натижаси 2-расмда кўрсатилган. ЁЭРТБ жараёнларининг ахборот таъминотини тузилмасини қуришдаги кировчи маълумотлар (1) ЁЭРТБ жараёнлари ишлашининг умумлаштирилган ахборот модели, (2) бошқарувнинг турли даражалардаги ЁЭРТБ жараёнларини ахборотли ўзаро алоқаси чизмаси, (3) ЁЭРТБга кировчи нимтизимларнинг ривожланиши йўналишлари тўғрисидаги маълумотлар, (4) техник қурилмалар тузилмаси, ҳамда (5) ЁЭРТБнинг ахборот таъминотидаги ўзаро мобил техник воситаларга хос дастурлар тўғрисидаги маълумотлар ҳисобланади [4, 5].

Умумий ҳолда ЁЭРТБнинг ахборот модели қуйидаги кўринишга эга:

$$AM = \{K, P, L, T, Z\},$$

бу ерда $K = \{K_i\}$, $i = \overline{1, k}$, $k > 0$ - мумкин бўлган тузилманинг таркибий қисмлари тўплами (ЁЭРТБ ахборот таъминотидаги тузилманинг таркибий қисмлари ЁЭРТБнинг ҳар бир жараёни ҳисобланади); $P = \{P_\mu\}$, $\mu = \overline{1, \rho}$, $\rho > 0$ - тузилманинг таркибий қисмларига ва уларнинг турларига қўлланидиган мумкин бўлган операциялар тўплами; $L = \{L_\tau\}$, $\tau = \overline{1, l}$, $l \geq 0$ - тузилманинг таркибий қисмларига ва уларнинг турларига қўлланидиган мумкин бўлган яхлитликни таъминловчи чекловлар тўплами; $T = \{T_{ij}\}$, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, t_i}$, $t_i \geq 0$ - барча тузилманинг таркибий қисмларининг турлари тўплами; $Z = \{Z_{ij\vartheta}\}$, $i = \overline{1, k}$, $j =$

$\overline{1, t_i}, \vartheta = \overline{1, z_{ij}} z_{ij} \geq 0$ - тузилмани таркибий қисмларини барча турларининг намуналар тўплами [6-8].



2-расм. Ахборот таъминотининг ягона маълумотлар базасининг реляцион модел асосида SQL Developer data modelar дастури ёрдамида лойиҳалаштирилган чизмаси

ЁЭРТБ ахборот моделида маълумотлар моделини $D = \{K, P, L\}$ ва тузилмаси $S = \{K, T\}$ ажратамиз. T тўплам маълумотлар чизмаси деб номланади.

ЁЭРТБ ахборот модели куйидаги шартларни қаноатлантириши керак: 1) Моделнинг воситалари, яъни ЁЭРТБнинг функционал масалаларини ечишда фойдаланиладиган барча объектлар, предметлар ва ҳодисалар, ҳамда уларнинг ўртасидаги барча муносабатлар тавсифланиши керак; 2) Модел воситалари билан ЁЭРТБда мавжуд маълумотларнинг яхлитлигини таъминлашнинг барча чекловлари тавсифланиши керак; 3) Модел воситалари билан маълумотлар базасининг ташқи, мантиқий ва жисмоний схемаларини лойиҳалаштириш учун керак бўладиган маълумотларнинг барча яққол хусусиятлари берилиши керак; 4) Маълумотлар базасини бошқариш тизимларида қўлланиладиган мантиқий, ташқи ва жисмоний маълумотлар моделида ЁЭРТБни умумий баёнини тасвирлайдиган усул ва услубият мавжуд бўлиши керак.

Мавжуд маълумотлар моделларининг хилма-хиллигига қарамай, келтирилган барча шартларни қаноатлантирадиган ЁЭРТБ жараёнларининг объектларини тасвирлаш учун ахборот моделини яратиш деярли мумкин эмас. Шу сабабли ушбу ишда ЁЭРТБнинг ахборот моделини куришда IDEF1X услубиятидан фойдаланилган.

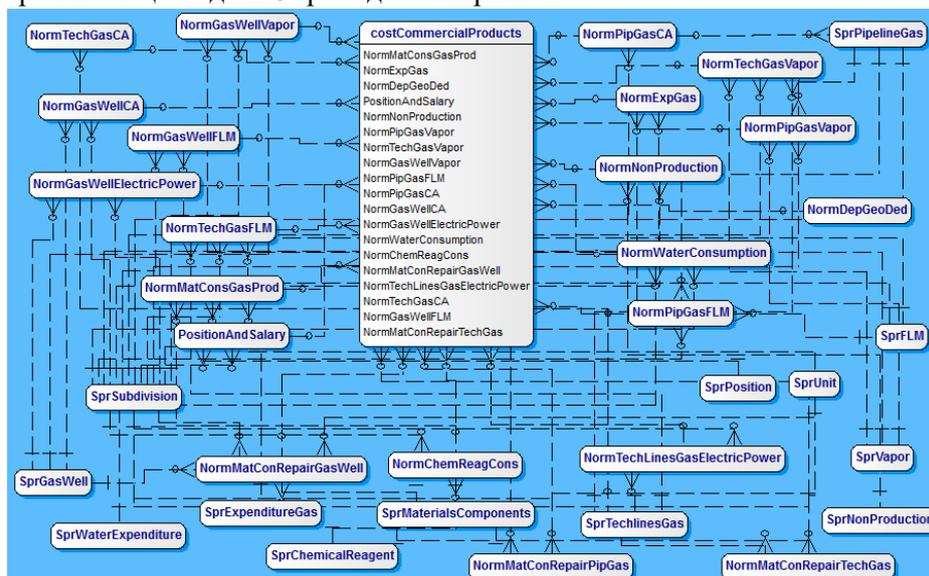
IDEF1X услубияти реляцион маълумотлар базасини яратиш усули ҳисобланади ва у концептуал схемани қулай куриш учун махсус ишлаб чиқилган шартли синтаксисни қўллайди. IDEF1X усулининг реляцион маълумотлар базасини ишлаб чиқишда фойдаланилган кўплаб усуллар билан солиштирилганда унинг асосий устунлиги қатъий ва қаттиқ стандарт асосида

моделлаштириш ҳисобланади. IDEF1X услуби ёрдамида ЁЭРТБнинг ахборотли алоқа модели куриш жараёнларини қуйидаги кўринишда акс эттириш мумкин:

$$K = \{A, F, NR, \Theta, N\Theta\},$$

бу ерда $A = \{A_i\}$ $i = \overline{1, a}$ - атрибутлар тўплами; $F = \{F_j\}$, $j = \overline{1, f}$, $F_j = C_j \rightarrow A_k$, $C_j \subset A_k$, $A_k \in A$ - атрибутлар ўртасидаги функционал боғлиқликлар тўплами; $NR = \{NR_\rho\}$, $\rho = \overline{1, t}$, $NR_\rho \subset A$ - атрибутлар ўртасидаги нофункционал боғлиқликлар тўплами; $\Theta = \{\Theta^\vartheta\}$, $\vartheta = \overline{1, m}$, $\Theta^\vartheta = \{I^\vartheta, B^\vartheta, E^\vartheta\}$ - объект турлари тўплами, бу ерд $I^\vartheta \subset A$ а - асосий калит, $B^\vartheta \subset A$ - мажбурий атрибутлар, $E^\vartheta \subset A$ - мумкин бўлган атрибутлар; $N\Theta = \{N\Theta_\rho\}$ $\rho = \overline{1, q}$, $N\Theta_\rho \subset A$ - объект турлари ўртасидаги муносабатлар тўплами [9, 10].

IDEF1X услубидан фойдаланиб ЁЭРТБнинг барча масалаларининг ахборотли алоқа моделини куриш Dezign for Database дастури ёрдамида амалга оширилган. IDEF1X услуби асосида Dezign for Database дастуридан фойдаланиб газ маҳсулоти таннархини ҳисоблаш масаласи маълумотлар базасининг ахборотли алоқа модели 3- расмда келтирилган.



3-расм. IDEF1X услуби ёрдамида газ маҳсулоти таннархини ҳисоблаш масаласи маълумотлар базасининг ахборотли алоқа модели

Хулоса. Юқорида келтирилган ёқилғи-энергетика ресурсларини тежашни бошқариш жараёнининг ўзаро ахборотли боғланган функционал масалаларини ечишнинг ахборот таъминоти тузилмаси, инфологик модели ва унинг ягона маълумотлар базаси тузилмасининг реляцион модели 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., Мирзаахмедов Д.М. Задачи оперативного управления энергосбережением на предприятиях топливно-энергетического комплекса / Сборник материалов, II Всероссийской научно-практической конференции. Энергетика и энергосбережение: теория и практика. - Кемерово, 2015.
2. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Разработка методов рационального управления энергосбережением на предприятиях нефтегазовой отрасли // Проблемы информатики и энергетики. 2016. -№1. –С. 77-88.
3. Султанов М.Б. Концепция создания интегрированной информационной системы управления энергосбережением на предприятиях нефтегазовой отрасли / Сборник материалов, Республиканской научно-технической конференции. Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении. - Джизак, 2016. –С.322-326.
4. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Проблемы создания интегрированной информационной системы управления энергосбережением на предприятиях нефтегазовой отрасли // Вестник ТашГТУ. 2016. -№2. -С. 74-82.
5. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Нурмамедов Б.Б. Задачи информационной системы управления энергосбережением на предприятиях нефтегазовой отрасли // Научно-технический журнал «Нефтегазовые технологии». 2016. -№5. –С. 74-77.
6. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Оптимальное планирование и оперативное управления потреблением топливно-энергетических ресурсов // Проблемы информатики и энергетики. 2018. №1, -С. 55-61.
7. 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.
8. 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.
9. 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. -378-380 с.
10. Heli Helskyaho. Oracle SQL Developer Data Modeler for Database Design Mastery (Oracle Press) 1st Edition, Kindle Edition// McGraw-Hill Osborne Media (GB), ISBN: 978-0-07-185009-4. -305p.

*Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси
«Энергетика муаммолари институти» томонидан тақдим этилган*

УДК 62-684

**РАСЧЁТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ
ВНЕДРЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА НА
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ ПУНКТЕ****А.А. Мукольянц, А.Д. Таслимов, А.А. Таубалдиев**

Мақолада табиий газни ташиши ва тақсимлаида иккиламчи энергия ресурсларидан фойдаланишнинг долзарб муаммоси кўриб чиқилган. Технологик жараёнлар учун иккиламчи энергия ресурсларининг асосий компоненти сифатида ортиқча газ босими газ тақсимлаш пунктларида деярли қўлланилмайди. Детандер-генератор технологиясидан фойдаланган ҳолда электр энергияси ишлаб чиқариши учун газ тақсимлаш станциялари ва газ тақсимлаш пунктларида ташилайётган табиий газ босимини пасайтириши ҳисобига аниқланган иккиламчи энергия ресурсларидан фойдаланиши энергия ва ресурсларни тежаишнинг устувор ёналишларидан бирига айланди. Ўзбекистон Республикаси газ транспорти тизимини таҳлил қилиши натижаси келтирилиб, бу ерда “Навоий Бетон Комплекси” ва “Навоий Логистик” автомобил газ тўлдирши компрессор станцияларининг газ тақсимлаш пунктлари иши ўрғанилган. Газ тақсимлаш пунктларида детандер-генераторни жорий этишдан энергия тежовчи иқтисодий самарани ҳисоблаш учун экспериментал синовлар ўтказилди ва номинал мавжуд электр қуввати ва йиллик электр ишлаб чиқариши аниқланди.

В статье затронута актуальная проблема использования вторичных энергоресурсов в системе транспорта и распределения природного газа. Избыточное давление газа как основной компонент вторичных энергоресурсов по технологическим процессам практически не используется на газораспределительных пунктах, где применяются дроссельные устройства. Использование вторичных энергоресурсов, определяемых редуцированием давления транспортируемого природного газа на газораспределительных станциях и газораспределительных пунктах для генерации электроэнергии при применении детандер-генераторной технологии, стало одним из приоритетных направлений энерго- и ресурсосбережения. Приведён результат анализа газотранспортной системы Республики Узбекистан где изучена работа газораспределительных пунктов автомобильных газонаполнительных компрессорных станций «Навоий Бетон Комплекс» и «Навои Логистик». Для проведения расчёта энергосберегающего экономического эффекта от внедрения детандер-генераторного агрегата на газораспределительных пунктах были проведены экспериментальные испытания и определены номинальная располагаемая электрическая мощность и годовая выработка электроэнергии.

The article touches upon the actual problem of using secondary energy resources in the transport and distribution of natural gas. Excessive gas pressure as the main component of secondary energy resources for technological processes is practically not used at gas distribution points where throttling devices are used. The use of secondary energy resources, determined by reducing the pressure of transported natural gas at gas distribution stations and gas distribution points for generating electricity using expander-generator technology, has become one of the priority areas of energy and resource conservation. The result of the analysis of the gas transportation system of the Republic of Uzbekistan is given, where the work of gas distribution points of automobile gas filling compressor stations "Navoi Beton Complex" and "Navoi Logistic" is studied. To calculate the energy-saving economic effect from the introduction of an expander-generator set at the hydraulic fracturing, experimental tests were carried out and the nominal available electric power and annual electricity generation were determined.

Введение. Одна из самых значимых проблем современности, проблема энергосбережения, являющаяся одной из важнейших во всех развитых странах, становится особенно острой в Республике Узбекистан, так как с ростом экономики и уровня жизни населения выросла и потребность в энергии.

Прогнозная оценка показывает, что в период до 2030 года ежегодный рост потребления электрической энергии по Республике Узбекистан будет составлять порядка 6 - 7 %, в связи с чем основной целью Концепции обеспечения электрической энергией на 2020-2030 годы является удовлетворение растущей потребности в электрической энергии по конкурентоспособным ценам, динамичное развитие электроэнергетической отрасли, строительства новых генерирующих мощностей на базе высокоэффективных технологий производства энергии, совершенствования системы учета электроэнергии, диверсификации топливно-энергетических ресурсов с развитием использования вторичных источников энергии (ВЭР) [1].

Одним из перспективных подходов к энергосбережению является использование детандер-генераторных агрегатов (ДГА) для производства электроэнергии за счет использования технологического перепада давления транспортируемого природного газа [2].

В мировой практике накоплен значительный опыт успешной эксплуатации ДГА. В отечественной и зарубежной научно-технической периодической литературе дается высокая оценка эффективности ДГА, которая определяется, прежде всего, меньшими удельными капитальными затратами и удельными расходами топлива на выработку электроэнергии, чем на паротурбинных энергоблоках [3].

Соответственно, для бесперебойного обеспечения электроэнергии на собственные нужды, использование ДГА на газораспределительных станциях (ГРС), газораспределительных пунктах (ГРП) является более чем целесообразным для генерации чистой электроэнергии, так как эффективность производства электроэнергии по технологиям с применением детандеров в два раза выше, чем на современных электростанциях. Результаты

расчетов для условий работы ГРП показывают, что такая установка позволяет полезно использовать свыше 70 % электроэнергии, выработанной ДГА [4-5].

Детандер-генераторный агрегат представляет собой устройство, в котором теплосодержание транспортируемого потока природного газа сначала преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электричество в генераторе (рис 1.) [6].

Развитие технологий малой энергетики и создание собственных автономных энергетических систем на базе высокоэффективных турбодетандерных установок мощностью от 0,5 до 10 МВт в населенных пунктах и различных промышленных объектах является экономически обоснованным и перспективным [7-8].

Ресурсный потенциал сжатого газа определяется следующими параметрами:

- давлением газа на входе и выходе;
- КПД турбодетандера и генератора;
- расходом газа и термодинамическими характеристиками газа.

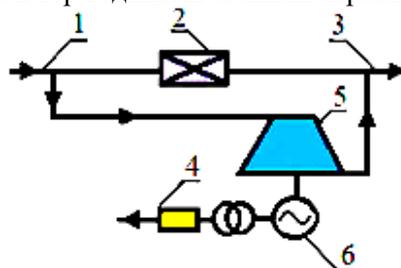


Рис.1. Схема ГРП с детандер-генераторным агрегатом. 1 – вход природного газа, 2 – дроссель, 3 – выход природного газа, 4 – линия подачи электроэнергии в электросеть, 5 – турбодетандер, 6 – электрогенератор

Поскольку детандерные установки являются источниками чистой энергии, расчет экологического результата от их внедрения, выраженный в Единицах сокращения выброса (ЕСВ) парниковых газов (ПГ) и измеряемый в условных тоннах CO_2 эквивалента, определяется как: 1 МВт·ч чистой энергии равен 0,68 условной тонны CO_2 [9].

Производство газа в Узбекистане в 2020 году составило 49,7 миллиарда кубометров, к концу 2021 года планируется добыть 53,8 миллиардов кубометров газа [10]. Согласно этому прогнозу, растёт добыча и, следовательно, объём транспортировки газа. В связи с чем внедрение энергоэффективных технологий является неотъемлемой частью повышению эффективности всей газовой отрасли Республики Узбекистан.

Методы и материалы. Для проведения анализа эффективности ДГА, были проведены экспериментальные испытания на ГРП автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) «Навоий Бетон Комплекс» и «Навоий Логистик» (рис .2).

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Оценка располагаемой мощности ГРП, которая может быть получена при помощи турбодетандерного агрегата, определялась при определённых допущениях, принимаемых для упрощения расчёта без существенного снижения его достоверности [11].



Рис.2. Экспериментальная установка ДГА

Для расчёта приняты фактические значения природного газа (табл.1).

Таблица 1

Исходные данные природного газа

Наименование	Значение	
	ГРП АГНКС «Навои Логистик»	ГРП АГНКС «Навоий Бетон Комплекс»
Расход газа G , м ³ /сут	790000	810000
Давление входное $P_{вх}$, МПа	0,6	0,6
Давление выходное $P_{вых}$, МПа	0,15	0,15
Температура входа $t_{вх}$, °С	40	40

Плотность в обоих пунктах принимаем равной $\rho_{см} = 0,709 \text{ кг/м}^3$.
Расчёт производился по следующей методике.

Снижение затрат, то есть выручка за один год работы ДГА, сум.

$$\Delta\Pi_{ДГА} = W_{ДГА} \cdot \Pi_{ээ}; \quad (1)$$

где $\Pi_{ээ}$ - среднегодовой тариф на покупную электроэнергию,

$$\Pi_{ээ} = 450 \frac{\text{сум}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Годовая выработка электроэнергии ДГА, кВт·ч:

$$W_{ДГА} = N_{ДГА} \cdot 24 \cdot \tau; \quad (2)$$

где τ - продолжительность работы ДГА в году.

Номинальная располагаемая мощность $N_{ДГА}$, кВт, которая может быть получена при помощи ДГА:

$$N_{ДГА} = G \cdot H_{Ад} \cdot \eta; \quad (3)$$

где G – массовый расход природного газа, кг/с; $H_{Ад}$ – перепад энтальпии, кДж/кг; η – общий КПД ДГА.

Общий КПД ДГА получается при учёте КПД электрогенератора, механического и внутреннего КПД:

$$\eta = \eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_0. \quad (4)$$

Перепад энтальпии при адиабатическом процессе расширения газа, $H_{\text{Ад}}$, кДж/кг, в детандер–генераторе:

$$H_{\text{Ад}} = \frac{k}{k-1} \cdot z \cdot R \cdot T \cdot \left(1 - \left(\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right); \quad (5)$$

где z – коэффициент сжимаемости, в зависимости от температуры и давления; $z = 0,9933$ (табличное значение); k – объёмный показатель адиабаты, в зависимости от температуры и давления; $k = 1,3$; R – индивидуальная газовая постоянная, Дж/кг·К; T – температура газа на входе в ДГА, °К; где $T = t_{\text{вх}} + 273$; $t_{\text{вх}}$ – °С; $P_{\text{вх}}$ – давление газа на входе в ДГА, МПа; $P_{\text{вых}}$ – давление газа на выходе из ДГА, МПа.

Таблица 2

Наименование	Значение	
	ГРП АГНКС «Навои Логистик»	ГРП АГНКС «Навоий Бетон Комплекс»
Перепад энтальпии при адиабатическом процессе расширения газа, $H_{\text{Ад}}$, кДж/кг	193,1	193,1
Номинальная располагаемая мощность $N_{\text{ДГА}}$, кВт	32,4	33,45
Годовая выработка электроэнергии ДГА, кВт·ч	272160	280980
Снижение затрат (выручка за один год работы ДГА), сум	122 472 000	126 441 000

Массовый расход природного газа G , через ГРС, кг/с:

$$G = \frac{Q_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{см}}}{3600}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{к}}$ – часовой расход газа по нитке, м³/ч; $\rho_{\text{см}}$ – плотность газовой смеси, кг/м³.

Результаты. После проведения расчётов были получены мощности и выручки от внедрения ДГА (табл. 2).

Выводы. Таким образом, расчёт технико-экономического обоснования внедрения детандер-генераторного агрегата на газораспределительном пункте подтверждает высокие показатели экономической эффективности инвестиционных проектов по внедрению ДГА.

В заключение необходимо отметить, что детандер-генераторы относятся к оборудованию, созданному по «бестопливным» технологиям, поддерживаемым Киотским протоколом к конвенции ООН по изменению климата. Поэтому реализация этих проектов может проводиться с использованием механизма привлечения средств за счет продажи квот на эмиссию парниковых газов.

Литература

1. Концепции «Обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы» [Электронный ресурс]: <http://www.minenergy.uz>.
2. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Эргашева Д.К., Каримова Н.Е. (2020). Исследование эффективности схем бестопливных агрегатов выработки электроэнергии в системе газоснабжения. //Международный журнал передовых наук и технологий, 29, 9269-9273.
3. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Эргашева, Д.К., Таубалдиев А.А. (2021). Детандер-генераторная установка для утилизации энергии избыточного давления природного газа. E3S Web of Conferences., 289, 07034.
4. Зацепин С.С., Купцов С.М. (2016). Применение турбодетандерных установок на газораспределительных станциях. /Территория «НЕФТЕГАЗ», 12, 50-53.
5. Борисова П.Н. (2019). Оценка эффективности использования станций технологического понижения давления в системе газоснабжения для создания на них бестопливных систем генерации // Энергосбережение и водоподготовка., №117, 6 - 9.
6. Мукольянц А.А., Буранов М.Д., Сотникова И.В., Таубалдиев А.А. (2021). Нагрев воздуха в установке воздушного теплового насоса в детандер-генераторной установке. Materials Science and Engineering., 1155, 012080.
7. Агабабов В.С., Джураева Е.В., Корягин А.В. (2003). Сравнение различных способов подогрева газа в детандер-генераторном агрегате // Теплоэнергетика., №11, 46-50.
8. Мукольянц А.А., Сотникова И.В., Каримова Н.Э., Таубалдиев А.А. (2021). Анализ зависимости мощности детандер-генераторного агрегата от температуры низкопотенциального источника тепла. Deutsche Internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft., №11, 46-49.
9. Клименко А.В., Агабабов В.С., Борисова П.Н., Петин С.Н. (2017). Термодинамическая эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа // Теплофизика и аэромеханика., №24, - С.964 – 968.
10. Керимов И.А., Саидов А.А., Батаев Д.К., Дебиев М.В. (2012). Экономические аспекты использования детандер-генераторных агрегатов в системе газовых сетей Чеченской Республики // Вестник ТГУ., 17, 786-790.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.358 (043): 66.067

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ВТОРИЧНОГО ПАРА КОТЛОВ - УТИЛИЗАТОРОВ КУКП-10/40 И КУПЖВ-20/40 АО “АЛМАЛЫКСКИЙ ГМК”

С.А. Абдухалилов, В.В. Хакимов, Б.А. Абдухалилов

Maqolada mis eritish ishlab chiqarishining chiqindi issiqlik qozonlarining ikkilamchi bug'iga asoslangan elektr energiyasini ishlab chiqarishning joriy tizimi bilan bog'liq eng tipik muammolar va ularni bartaraf etishning mumkin bo'lgan usullari muhokama qilinadi. “Olmaliq KMK” aksiyadorlik jamiyati tarkibida mis eritish pechlari va texnologik gaz parametrlari bilan elektr energiyasi ishlab chiqarish imkonini beruvchi agregatlar uzoq vaqtdan beri ishlab kelmoqda. Elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun muhim issiqlik potentsialiga ega bo'lgan ba'zi birliklar (konvertorlar anodli pechlar) davriy rejimda ishlaydi, bu elektr energiyasi sifatiga qattiq talablar qo'yilgan elektr tarmog'ida ishlash uchun qabul qilinishi mumkin emas. Metallurgiya jarayonlari KFP (kislorodli olovli eritish) PJV (suyuq to'lqinda eritish) to'g'ridan-to'g'ri va shunga mos ravishda ikkilamchi bug'da elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun yomon bo'lib, uning jihatlari ushbu maqolada aks ettirilgan.

В статье рассмотрены характерные проблемы и возможные способы их преодоления, связанные с внедренным системы выработки электроэнергии на базе вторичного пара котлов-утилизаторов медеплавильного производства. В составе АО “Алмалыкский ГМК” длительное время эксплуатируются медеплавильные печи и агрегаты с параметрами технологических газов, позволяющими использовать их для выработки электроэнергии. Часть агрегатов (конверторы, анодные печи), обладая значительным тепловым потенциалом для выработки электроэнергии, работают в периодическом режиме, что неприемлемо для работы на электросеть с жесткими требованиями к качеству электроэнергии. Metallургические процессы КФП (кислородно-факельная плавка) и ПЖВ (плавка в жидкой ванне) являются непосредственными и, соответственно, приемлемыми для выработки электроэнергии на вторичном паре, аспекты чего отражены в данной статье.

The article discusses the most typical problems and possible ways to overcome them associated with the introduced system for generating electricity based on the secondary steam of waste heat boilers of copper smelting production. Copper-smelting furnaces and units with process gas parameters allowing them to be used to generate electricity have been operating for a long time as part of Almalyk MMC JSC. Some of the units (converters anode furnaces), having a significant thermal potential for generating electricity, operate in a periodic mode, which is unacceptable for operation on an electrical grid with stringent requirements for the quality of electricity. Metallurgical processes KFP (oxygen-flare smelting) PZhV (smelting in a liquid

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

wave) are direct and, accordingly, nasty for the generation of electricity on secondary steam, the aspects of which are reflected in this article.

В медеплавильном производстве АО “Алмалыкский ГМК” на сегодняшний день задействованы три плавильные печи, работающие в непрерывном режиме:

- печь КФП (кислородно-факельной плавки);
- печь ПЖВ (плавка в жидкой ванне);
- печь ОП (отражательной плавки).

В перспективе предполагается развивать процесс ПЖВ с полной ликвидацией отражательной плавки. Поэтому, в дальнейшем печь отражательной плавки не рассматривается.

Конструктивно, за каждой из плавильных печей КФП и ПЖВ, установлены и успешно эксплуатируются котлы-утилизаторы КУКП-10/40 (после КФП) и КУПЖВ-20/40 (после ПЖВ).

Технические характеристики котлов-утилизаторов, необходимые для оценки эффективности выработки электроэнергии; приведены в табл.1.

Таблица 1

№	Наименование параметров	Ед.	КУКП-10/40	КУПЖВ-20/40
1	<u>Паропродуктивность</u>	т/ч	10	18-20
2	<u>Давление пара</u>	кгс/см ²	40	40
3	<u>Температура пара (насыщен)</u>	°С	249	249

В настоящее время, медеплавильные печи, оснащенные котлами утилизаторами, вырабатывают пар давлением 40 ата, который в дальнейшем редуцируется до давления, требуемого технологией, отоплением, вентиляцией или ГВС.

В то же время, наряду с медеплавильным переделом использующим, как исходное сырьё концентрат (шихту), существуют непрерывные и периодические процессы способные перекрыть тепловые нужды технологии, отопления и ГВС (конвертеры, анодные печи), поэтому для выработки электроэнергии рассматриваются только котлы-утилизаторы, установленные за медеплавильными печами.

Оба котла утилизатора КУКП-10/40 и КУПЖВ-20/40 вырабатывают насыщенный пар с давлением 40 ата. (39 кгс/см²) со снижением давления в редуцированных установках для технологических нужд и обеспечения отопления, вентиляции и ГВС.

В настоящее время в барабанах котлов-утилизаторов установлены простейшие сепарационные устройства, обеспечивающие влажность пара 2-3 и более процентов, что не критично для технологических и бытовых потребителей, но абсолютно недопустимо для паровых турбин. Поэтому, для выработки электроэнергии на основе пара котлов-утилизаторов, прежде всего, следует обеспечить необходимое качество пара на входе в турбину со следующими показателями:

- Na⁺, мкг/кг – 100;
- свободная углекислота CO₂, мг/кг – 20;
- общее солесодержание, мг/кг – 0,25.

Нарушение качества пара, особенно повышенная влажность и солесодержание способствуют образованию отложений на лопатках ротора турбины, что может нарушить балансировку и привести к разрушению высокоскоростной турбомашины.

Для обеспечения требуемого качества пара, наряду со стабильной работой химической водоподготовки и деаэрационно-питательной установки необходимо организовать систему возврата чистого конденсата и произвести коренную реконструкцию внутрибарабанных устройств котлов утилизаторов, так как существующие сепарационные устройства неспособны обеспечить необходимое качество пара ни по солесодержанию, ни по влажности [1.2]. Одна из возможных схем сепарационных устройств барабанов приведена на рисунке.

Важнейшим вопросом является также выбор типа турбины: конденсационная турбина, противодавленческая турбина, турбина, работающая на перегретом паре или турбина, работающая на насыщенном паре [3]. Каждая из перечисленных конструкций имеет свои достоинства и недостатки, и должна быть тесно увязана с конкретной технологической ситуацией.

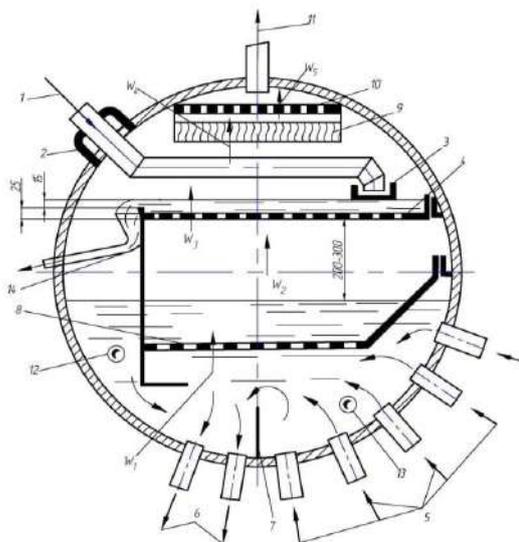


Рис.1. Сепарационное устройство: 1-подача питательной воды, 2-защитный стакан-рубашка, 3-распределительное корыто, 4- паропромывочный дырчатый беспровольный лист, 5-подвод пароводяной смеси, 6- опускные трубы, 7- разделительная перегородка, 8- затопленный дырчатый щит, 9- жалюзийный (пластинчатый) каплеуловитель, 10- дырчатый дроссельный потолок, 11- отвод пара, 12-подвод раствора фосфата, 13- отбор проб котловой воды, 14- воронка ОР-ГРЭС для отбора проб промывочной воды ($w_1=2/4$ м/с; $w_2=0,3/0,4$ м/с; $w_4=0,5/0,6$ м/с; $w_5=8/12$ м/с).

Особенное значение это имеет для котлов-утилизаторов с нестабильным режимом работы в условиях возможных колебаний, как давления пара, так и паропроизводительности. Это может негативным образом отразится на работе

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

турбины и, в конечном счете, на качестве электроэнергии отдаваемой турбиной в сеть.

На сегодняшний день котлы-утилизаторы КУКП 10/40 и КУПЖВ-20/40 вырабатывают насыщенный пар давлением 40 ата (39 кгс/см²) и, естественно было бы выбрать для внедрения турбины, работающие на насыщенном паре. Но, учитывая возможную нестабильность работы плавильных комплексов КФП и ПЖВ, вероятны значительные колебания параметров котлов с резким повышением влагосодержания пара.

В таких условиях целесообразно разместить в котлах-утилизаторах пароперегреватели с небольшим перегревом (20-25°С) пара, компенсирующим возможные повышения влагосодержания. Выбор турбин насыщенного пара останется при этом прежним.

Пароперегреватели должны быть выполнены из легированной стали с содержанием хрома не менее 13% поверхностью:

- для КУКП 10/40 40-45 м²;
- для КУПЖВ 20/40 80-85 м².

В технико-экономическом аспекте предстоит сделать выбор типа турбоагрегата, конденсационный или противодавленческий. В пользу конденсационной турбины свидетельствует более высокая выработка электроэнергии, так мощность конденсационных турбин для котлов составит:

- КУКП-10/40 690-695 кВт;
- КУПЖВ-20/40 1380-1390 кВт.

Для турбин с противодавлением 5кгс/см² (6 ата):

- КУКП-10/40 255-260 кВт;
- КУПЖВ-20/40 510-520 кВт.

Мощность турбин рассчитана по формуле:

$$N=D (I_{pe} - I_o) \cdot \eta_{oi}, \text{ кВт};$$

D – расход пара кг/с

- I_{pe} – I_o - энтальпия перегретого и отработавшего пара, кДж/кг;

- η_{oi} – внутренний относительный КПД.

Сопоставление мощностей показывает преимущество конденсационных турбин над противодавленческими в ~2,7 раз, но, учитывая что электроэнергия в данном случае, является побочным (вторичным) продуктом, а для конденсационных турбин требуется значительное количество вспомогательного оборудования (конденсатор, багерные насосы, конденсатные насосы и т.д.) [4], большой расход охлаждающей воды для конденсатора с градирнями, трубопроводами и арматурой, то вопрос о выборе типа турбин для котлов-утилизаторов должен решаться технико-экономическим расчетом (ТЭР).

ТЭР должен быть произведен по приведенным затратам каждого варианта, учитывающим снижение себестоимости за счет дополнительной выработки электроэнергии, дополнительные капитальные вложения, связанные с приобретением основного и вспомогательного оборудования, проектированием, строительством-монтажными и пусконаладочными работами.

В технико-экономическом обосновании выбора типа турбоагрегата (конденсационный или противодавленческий), также следует учесть, что отработавший в турбине с противодавлением пар обладает достаточно высоким тепловым потенциалом и может быть использован для технологических и бытовых нужд.

Кроме того, целесообразно решить вопрос об установке общей турбины на два котла утилизатора, что способствовало бы решению проблемы нестабильности режимов работы медеплавильных агрегатов, влияющих на выработку электроэнергии [5].

Мощность такой турбины могла бы составить:

- для конденсационных турбин $\sim 1,8 - 1,9$ МВт;

- для турбины с противодавлением 5 кгс/см² (бата.) – 0,7 – 0,75 МВт.

Выработка электроэнергии могла бы составить (при работе 8000 ч в год):

– для конденсационной турбины – $14,8 * 106$ кВт-ч/год;

– для турбины с противодавлением – $5,8 * 106$ кВт-ч/год.

Литература

1. www.lex.uz. Национальная база данных законодательства, 23.11.2018 г.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан N ПП-4422 от 22.08.2019 г. «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии». Электронный ресурс. <http://ngm.uz>. Дата обращения 10.03.2020 г.
3. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» / Национальная база данных законодательства, 22.05.2019., № 03/19/539/3161; 09.11.2020, № 03/20/646/1488).
4. Rene Letolle., Monique Mainguet. Der Aralsee eine ekologische Katastrophe Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996.
5. Развитие возобновляемой энергетики в Узбекистане: современное состояние, проблемы и пути их решения. Н.Матчанов. Ташкент, 2019. /Международный институт солнечной энергии – CAREC. Электронный ресурс. <https://www.carecprogram.org>. Дата обращения 18.03.2020.
6. Экологическая экспертиза: Учеб.пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. Питулько В.М. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.
7. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / Черп О.М., Винниченко В.Н., Хотулева М.В., Молчанова Я.П., Дайман С.Ю. – М.: Социально-экологический союз, 2001. – 312 с.
8. Максименко Ю.Л. Оценка воздействия на окружающую среду: Пособие для практиков/ Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина. – М.: РЭФИА, 1996.
9. Руководство по подготовке экологически обеспеченных инвестиционных проектов. – М.: Центр подготовки и реализации международных проектов технического содействия, 2001.
10. Nasrulin A., Khamdamov B., Yuldashev T, Ergasheva D. Kan E. Simulation of physical processes and environmental monitoring at training and research stands // E3S Web of Conferences 264, 01002 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401002>.
11. Булгаков К. В. Использование вторичных энергетических ресурсов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 184 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

12. Берлин З.Л. Рациональное использование вторичных энергоресурсов в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1972 – 352 с.
13. Юренев В.Н. Промышленные электростанции. – М.-Л: Госэнергоиздат, 1963. – 464 с.
14. Турчин Н.Я. Инженерное оборудование тепловых электростанций и монтажные работы. – М.: Высш. школа, 1979. 416 с.
15. Роддатис К.Ф. Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
16. Кузнецов Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. (Нормативный метод). – Москва: Энергия, 1973. – 296 с.
17. Гудима Н.В. Технологические расчеты в металлургии тяжелых цветных металлов, - М: Металлургия, 1977.
18. Гудима Н.В., Шеин Я.П., Краткий справочник по металлургии цветных металлов, - М: Металлургия. 1975.
19. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья, -М: Металлургия, 1988.
20. Роддаис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности, - М: Энергоатомиздат, 1989.
21. Правила устройства и безопасной эксплуатации установок испарительного охлаждения. 1987.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 662.997÷ 621.47

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГЛОТИТЕЛЯ
СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ
ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ДОННЫМ
ПОГЛОЩЕНИЕМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Р.Р. Аvezов, Ф.Ш. Касимов, Ш.К. Ниязов, А.Э. Хаитмухамедов,
А.Ю. Усманов, С.А. Худойбердиев**

Maqolada gorizontol holatda joylashgan quyosh suv isitish kollektorlarining ichki tomondan qoraytirilgan, issiqlik izolyatsiyalangan quyosh nurlanishini tubidan yutgichlarining issiqlik samaradorligini aniqlash bo'yicha hisob-kitoblar natijalari keltirilgan. Ko'rib chiqilayotgan turdagi suv isitish kollektorlarining asosiy issiqlik muhandislik parametrlari ko'rib chiqilgan, ular o'z navbatida, boshqa an'anaviy quyosh suv isitish kollektorlarida bo'lgani kabi, energiya samaradorlik darajasini ko'rsatadi va issiqlik samaradorligiga ta'sir qiladi.

В статье представлены результаты расчетов по определению тепловой эффективности плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) с емкостными поглотителями солнечного излучения (ПСИ), изготовленные из светопрозрачных пластиков, с донным поглощением солнечного излучения (СИ), которые представляют собой неглубокие горизонтально расположенные плоские теплоизолированные контейнеры с зачерненной с внутренней стороны дном. Рассмотрены основные теплотехнические параметры водонагревательных коллекторов рассматриваемого типа, показывающие степень их энергетического совершенства, и влияющие на их тепловую эффективность, как и у других традиционных плоских солнечных водонагревательных коллекторов.

The article presents the results of calculations to determine the thermal efficiency of flat-plate solar water-heating collectors (FSWHC) with capacitive absorbers of solar radiation (SR), made of translucent plastics, with bottom absorption of solar radiation (SR) which will provide shallow horizontally located flat-plate heat-insulated containers with blackened from the inner sides upside down. The main heat engineering parameters of water-heating collectors of the considered type are studied, showing the degree of their energy perfection, and affecting their thermal efficiency, as in other traditional flat-plate solar water-heating collectors.

Плоские солнечные водонагревательные коллекторы (ПСВК) с емкостными поглотителями солнечного излучения (ПСИ), изготовленные из светопрозрачных пластиков, с донным поглощением солнечного излучения (СИ) представляют собой неглубокие (толщиной до 0,1 м) горизонтально расположенные плоские теплоизолированные контейнеры с зачерненной с внутренней стороны дном [1]. Основными теплотехническими параметрами водонагревательных коллекторов рассматриваемого типа, показывающие степень их энергетического

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

совершенства, и влияющие на их тепловую эффективность, как и у других традиционных ПСВК являются:

- приведенный к единице площади фронтальной поверхности корпуса коллектора суммарный коэффициент тепловых потерь (K_{np-p-o}^{Σ}) и разности среднерабочей температуры зачерненной поверхности теплоприемника и температуры окружающей среды ($t_p - t_o$);

- коэффициент тепловой эффективности ПСИ, характеризующий эффективность переноса тепла от зачерненной поверхности дна корпуса к нагреваемой в рассматриваемом теплоприемнике воды ($\eta_{тп}$);

- приведенная к единице площади фронтальной поверхности корпуса ПСВК эффективная поглощательная способность суммарного СИ (далее эффективная приведенная поглощательная способность), характеризующая его оптическую эффективность, которая определяется произведением эффективной интегральной поглощательной способности суммарного СИ зачерненной поверхности дна корпуса ($\alpha_{p-эфф}$) на приведенную к единице площади фронтальной поверхности коллектора эффективной пропускательной способности суммарного СИ слоев СП и нагреваемой воды в коллекторе ($\tau_{сн-эфф}$), т.е. $\eta_o = (\alpha_p \tau_{сн})_{эфф}$;

- приведенная к единице площади фронтальной поверхности корпуса суммарная теплоемкость (далее приведенная теплоемкость) элементов ПСВК (C_{np}), характеризующая тепловую инерционность данного коллектора.

Коэффициент тепловой эффективности ПСИ коллектора рассматриваемого типа ($\eta_{тп}$), характеризует эффективность переноса тепла от зачерненной поверхности дна корпуса к нагреваемой в нем воде.

В соответствии с [1, 2, 3, 4] значение $\eta_{тп}$ для плоских ПСИ, имеющих ширину В, может быть определено по выражению

$$\eta_{тп} = \left(1 + \frac{BK_{np-p-o}}{\frac{\lambda_w}{\delta_w} \epsilon_3} + \frac{BK_{np-p-o}}{\alpha_{квн} \epsilon_4} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где ϵ_3 и ϵ_4 – соответственно, средний и нижний периметры ширины дна ПСИ.

Для ПСИ, принципиальная расчетная тепловая схема которого приведена на рис.1, с большой точностью можно допустить равенство ϵ_3 и ϵ_4 и в связи с этим для ПСИ рассматриваемого типа может быть представлена в виде

$$\eta_{тп} = \left[1 + K_{np-p-o}^{\Sigma} \left(\frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_{квн}} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

где δ_w и λ_w - соответственно, толщина и коэффициент теплопроводности нижней стенки пластикового ПСИ; $\alpha_{квн}$ - коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности нижней стенки ПСИ к нагреваемой в нем воде.

Методика определения значения, приведенного к единице фронтальной поверхности корпуса плоских солнечных водонагревательных коллекторов (ПСВК) коэффициента суммарных тепловых потерь от его зачерненного дна K_{np-p-o}^{Σ} .

Как следует из (2), значение $\eta_{тп}$ при прочих равных условиях (имеются в виду δ_w , λ_w и K_{np-p-o}^{Σ}) в основном зависит от $\alpha_{квн}$ -коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности нижней стенки ПСИ к нагреваемой в нем воде.

Для определения значения $\alpha_{квн}$ для горизонтального слоя неподвижной воды в диапазоне излучения числа Прандтля (Pr) от 0,6 до 2000 (тепло передается к нагреваемой воде снизу) пользуемся критериальными уравнениями, предложенными в [8,9] т.е.

$$\overline{Nu} = 0,96Ra_{\ell}^{\frac{1}{6}} \quad \text{при} \quad 1 \leq Ra_{\ell} \leq 200, \quad (3)$$

$$\overline{Nu} = 0,54Ra_{\ell}^{\frac{1}{4}} \quad \text{при} \quad 200 \leq Ra_{\ell} \leq 8 \cdot 10^6, \quad (4)$$

$$\overline{Nu} = 0,15Ra_{\ell}^{\frac{1}{3}} \quad \text{при} \quad 8 \cdot 10^6 \leq Ra_{\ell} \leq 3 \cdot 10^{10}, \quad (5)$$

где $\overline{Nu} = \frac{\alpha_{квн} \ell}{\lambda_g}$ - число Нуссельта (6)

$$Ra_{\ell} = \frac{\beta_g g (t_c - t_{\infty}) \ell^3 Pr}{\nu_g^2} \quad \text{- число Рэлея;} \quad (7)$$

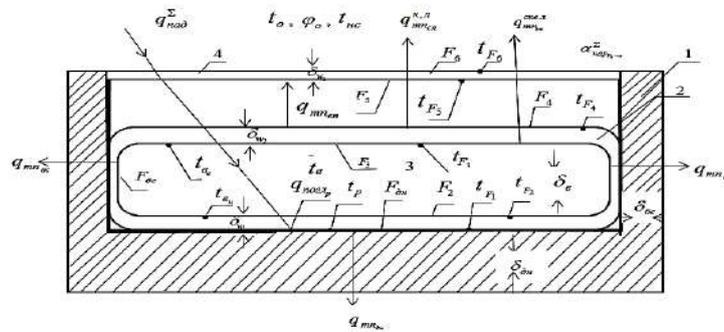


Рис.1. Принципиальная расчетная тепловая схема для определения значений составляющих суммарного коэффициента тепловых потерь ПСВК с емкостными ПСИ из СПП, частично проникаемого для ИК излучения с донным поглощением солнечного излучения (СИ): 1 – корпус ПСВК; 2- резервуар (контейнер) для воды, изготовленный из светопрозрачного покрытия (СП), частично проникаемого для инфракрасного (ИК) излучения; 3-нагреваемая вода; 4 – верхнее СП корпуса: $q_{mn_{cn}}^{k,l}$ -конвективно-лучистые теплопотери с наружной поверхности верхней стенки емкостного ПСИ; $q_{mn_{cn}}^{skb..l}$ - сквозные лучистые теплопотери от верхней поверхности воды в окружающую среду (небосвод) через частично проникаемое для ИК излучения верхнюю стенку емкостного ПСИ и СП

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

корпуса; $Q_{mn_{он}}$ - тепловые потери от зачерненной поверхности дна контейнера в окружающую среду; $Q_{mn_{бс}}$ - тепловые потери от теплой (или горячей) воды через боковые стенки контейнера.

$$\ell = \frac{F_n}{P_n} = \frac{A \cdot B}{2(A + B)} \quad \text{- определяющей размер поверхности воды в ПСИ} \quad (8)$$

где A и B - соответственно, длина и ширина дна емкостного ПСИ;

λ_g и ν_g - коэффициенты теплопроводности и кинематической вязкости воды при ее средней температуре, определяемой из:

$$\bar{t}_g = 0,5(t_c - t_\infty), \quad (9)$$

(t_c и t_∞ - соответственно, температуры внутренней поверхности нижней стенки резервуара ПСИ и воды вдали от этой поверхности); β_g - коэффициент объемного расширения воды при \bar{t}_g .

По ширине (B) и по длине (A) резервуара ПСИ, соответственно 1 и 5 м значение ℓ , определенное по (8), равно 0,417 м. При $t_c = 48^\circ C$ и $t_\infty = 47^\circ C$ значение \bar{t}_g , определенное по (9), составляет $47,5^\circ C$. При $\bar{t}_g = 47,5^\circ C$ значения β_g , ν_g и Pr , входящие в (7) составляют $4,335 \cdot 10^{-4} 1/^\circ C$; $0,58175 \cdot 10^{-6} m^2/c$ и 3,7292. Значение числа Ra_ℓ , определенное по (7), составляет $3,406 \cdot 10^8$.

В связи с тем, что значение Ra_ℓ , определенное таким образом, находится в диапазоне его изменения от $8 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^{10}$, для расчета значения $\alpha_{к_{вн}}$ пользуемся выражениями (4) и (5), т.е.:

$$\alpha_{к_{вн}} = Nu \frac{\lambda_g}{\ell} = 0,15 Ra_\ell^{\frac{1}{3}} \frac{\lambda_g}{\ell}. \quad (10)$$

При значениях $Ra_\ell = 3,406 \cdot 10^8$, $\lambda_g = 64,475 \cdot 10^{-2} Bm/(m \cdot ^\circ C)$ (при $\bar{t}_g = 47^\circ C$) и $\ell = 0,417 m$ значение $\alpha_{к_{вн}}$, определенное по (10), составляет $162,0 Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

При значениях $\delta_w = 0,0005 m$, $\lambda_w = 1,0 Bm/(m \cdot ^\circ C)$, $K_{нр-о}^\Sigma = 6,77 Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$ значение $\eta_{тн}$, определенное из (2) составляет 0,956.

Представляет интерес сопоставление значений $\alpha_{к_{вн}}$ и $\eta_{тн}$ для ПСИ рассматриваемого типа, когда к неподвижному слою воды в резервуаре тепло подводится сверху.

Согласно [5, 6, 7], тепловой поток к воде направлен сверху вниз, значение $\alpha_{к_{вн}}$ определяется из критериальных уравнений:

$$\overline{Nu} = 0,68 Ra_\ell^{0,2} \quad \text{при} \quad 3 \cdot 10^5 \leq Ra_\ell \leq 10^8, \quad (11)$$

$$\overline{Nu} = 0,27 Ra_{\ell}^{0,25} \quad \text{при} \quad 10^8 \leq Ra_{\ell} \leq 3 \cdot 10^{10}, \quad (12)$$

Согласно результатам расчетов, при $Ra_{\ell} = 3,406 \cdot 10^8$ значение $\alpha_{\kappa_{\text{ен}}}$, определенное по формуле (10), составляет $64,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, что в 2,5 раза меньше по сравнению со случаем, когда тепловой поток к горизонтальному слою неподвижной воды подводится снизу, что подтверждается с данными [6].

При $\alpha_{\kappa_{\text{ен}}} = 64,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ и $K_{\text{нр-о}}^{\Sigma} = 6,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ значение $\eta_{\text{тн}}$, определенное по (2), составляет 0,90, что на 6% выше по сравнению со случаем, когда тепловой поток к горизонтальному слою воды в резервуаре подводится сверху. Указанные обстоятельства свидетельствуют о преимуществе ПСВК с емкостным ПСИ с донным поглощением СИ по сравнению с потоковым лицевым поглощением СИ.

Литература

1. Ощепков М.Ю., Фрид С. Е. Моделирование конвективного теплосъема в стратифицированном баке аккумуляционной солнечной водонагревательной установки со встроенным теплообменником // Гелиотехника. 2016. №1. -С.45-52.
2. Бойбутаев К., Муродов Ж., Усмонов Ю. Қуёш энергиясидан халқ хўжалигида фойдаланиш. -Тошкент: Ўзбекистон «Билим» жамияти. 1964. -43б.
3. Мухитдинов М.М., Эргашев С.Ф., Исакулов Ж. Бытовой солнечный водонагреватель. // Гелиотехника. 1997. №4. -С. 80-82.
4. Аvezов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. -Ташкент: ФАН. 1988. - 288 с.
5. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р. Динамика накопления тепла и эффективности преобразования солнечной энергии в плоских солнечных коллекторах с емкими теплоприемниками. 1. Методы расчета // Гелиотехника. 1997. -№3. -С. 69-72.
6. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. /Пер. с англ. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2013. -888 с.
7. Аvezов Р.Р., Касимов Ф.Ш. Коэффициент тепловой эффективности лотковых солнечных водонагревательных коллекторов с донным поглощением солнечного излучения / Муқобил энергия манбалари ва улардан фойдаланишнинг долзарб муаммолари Республика илмий-техник анжумани материаллари. БухДУ. Бухоро 25-26 ноябрь 2015. –С.158-159.
8. Гуревич А.М., Позин Г.М., Рекант Н.Б. Определение коэффициента поглощения инфракрасного излучения для полупрозрачных материалов. // Гелиотехника. 1970. -№3. -С. 49-54.
9. Al-Arabi M., El-Riedy M.K. Natural convection heat transfer from isothermal horizontal plates of different shapes. –ИЖМТ, 1976, v. 19, No. 12, p. 1399-1404.

*Представлено Физико-техническим
институтом АН Республики Узбекистан*

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

С.В. Евдокимов, А.А. Орлова

Maqolada gidrotexnik inshootlarning ishonchliligi va texnik holatini baholashning asosiy mezonlari ko'rib chiqiladi. Murakkab texnik tizimlarning ishonchliligini baholash va hisoblashning asosiy usullari tahlil qilinadi. Gidrotexnika inshootlari va inshootlariga nisbatan ushbu usullarni qo'llash bo'yicha xulosalar chiqariladi va tavsiyalar beriladi.

В статье рассмотрены основные критерии оценки надежности и технического состояния гидротехнических сооружений. Проанализированы основные методы оценки и расчета надежности сложных технических систем. Сделаны выводы и предложены рекомендации по использованию этих методов применительно к гидротехническим объектам и сооружениям.

The article discusses the main criteria for assessing the reliability and technical condition of hydraulic structures. The main methods for assessing and calculating the reliability of complex technical systems are analyzed. Conclusions are made and recommendations are made on the use of these methods in relation to hydraulic facilities and structures.

Мониторинг технического состояния гидротехнических сооружений включает в себя множество методик наблюдения и оценки полученных результатов. Одними из наиболее объективных в настоящее время способов осуществления мониторинга являются методы теории надежности. Эти методы позволяют оценить надежность сооружения, объективно обосновать количество точек наблюдений, а также их месторасположение и периодичность замеров. В отличие от других методов исследований технического состояния гидротехнических сооружений методы позволяют обосновать социально значимый коэффициент запаса прочности.

В целом методы теории надежности позволяют в качестве исходных данных использовать различные статистические данные, например, характеристики свойств материалов ГЭС (табл.1). Например, в соответствии с результатами статобработки к использованию при обследовании эксплуатируемых гидротехнических железобетонных конструкций, могут быть рекомендованы дублирующие методы как имеющие минимальный коэффициент вариации $R_{оп}/R_T$.

Условимся надёжность используемого метода понимать как вероятность попадания результата произвольного измерения $R_{оп}/R_T$ в интервале 0,9 – 1,1.

На рис. 1 представлен график, отражающий вероятность получения ошибки более 10 % по результатам испытаний одновременно несколькими методами

сразу. Как видно из рисунка, коэффициенты вариации отношений $R_{оп}/R_T$ в основном имеют большие значения. Поэтому для повышения достоверности результатов целесообразно определять прочность бетона параллельно сразу несколькими методами.

Таблица 1

Результаты статистической обработки методов определения прочности бетона

Метод определения прочности бетона	Коэффициент вариации	Вероятность попадания в интервал 0,9-1,1
Скальвания	0,085	0,751
Пластических деформаций	0,274	0,284
Упругого отскока	0,283	0,274
Ультразвуковой	0,164	0,46
Ударный	0,199	0,38

В случае измерения прочности бетона одним способом, эта надёжность окажется равной W_1 , при измерении вторым способом – W_2 и т.д.

Считая эти измерения независимыми и существенно не отличающимися друг от друга, можно записать, что надёжность среднего способа (определённого как среднеарифметическое по двум средним).

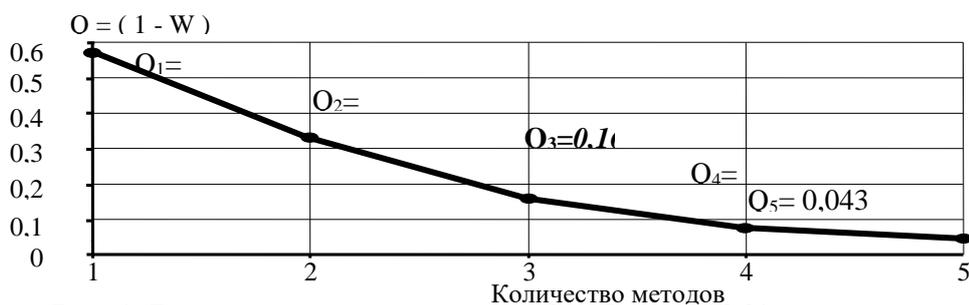


Рис. 1. Вероятность получения ошибки более $\pm 10\%$ по результатам испытаний одновременно несколькими методами

Таким образом, увеличение количества одновременно используемых способов измерений позволяет уменьшить вероятность появления ошибок в 13 и более раз, кроме этого это позволит:

- объяснить неоднозначность результатов расчета;
- учитывать накопление дефектов и увеличение интенсивности их воздействий в течение срока эксплуатации;
- расчетным образом обосновывать безопасность эксплуатации строительных элементов и систем;
- учитывать количество отказов за срок эксплуатации;
- связывать результаты оценки качества с контролем качества строительной продукции;
- различным образом подходить к расчету надежности элементов и систем;
- использовать математику и вычислительную технику;
- иметь специфичные направления использования.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Использование теории надежности при мониторинге технического состояния гидротехнических сооружений позволяет повысить объективность заключений о техническом состоянии объекта наблюдения. При разработке критериев надежности систем необходимо сформировать группу показателей, дающих комплексную вероятностную характеристику состояния сооружения.

Системы, к которым можно отнести все гидротехнические сооружения, могут выполнять одну или несколько задач одновременно, и называются они соответственно одноцелевыми или многоцелевыми.

Критериями надежности для системы, как известно, являются: коэффициент готовности – вероятность того, что объект находится в работоспособном состоянии в произвольный момент времени; коэффициент технического использования – отношение математического ожидания времени нахождения системы в работоспособном состоянии ко времени эксплуатации; вероятность безотказной работы; срок службы; наработка на отказ; среднее время технического обслуживания или ремонта; среднее время восстановления работоспособности; удельная суммарная трудоемкость восстановления работоспособного состояния.

Помимо вышеперечисленного, сложные технические системы, такие как гидротехнические объекты, обладают следующими критериями надежности:

- вероятностью выполнения системой всех поставленных перед ней задач;
- вероятностью выполнения системой наиболее важных задач;
- вероятностью выполнения системой определенного количества поставленных перед ней задач;
- математическим ожиданием числа выполненных системой задач.

Существуют и другие критерии, которые возникают по необходимости.

Расчет надежности гидротехнических сооружений устанавливает перед собой две задачи:

- оценка надежности всего гидротехнического объекта;
- оптимальное распределение заданной надежности по конструкциям гидротехнического объекта.

Существуют следующие методы оценки и расчета надежности технических систем, по которым следует определять критерии надежности:

- по качественному критерию;
- по количеству отказавших в ней элементов;
- логико-вероятностный;
- надежностных схем систем.

Рассмотрим некоторые из критериев надежности для вышеперечисленных методов применительно к гидротехническим объектам.

Расчет надежности системы по качественному критерию. Этот метод расчета надежности строительной системы предлагается поставить в зависимость от ее технико-экономической и социальной значимости.

Системы, к которым предъявляются высокие требования по надежности (уникальные сооружения, АЭС, плотины и др.), можно принять равными надежности элемента или исполняемой функции системы с максимальной вероятностью отказа. Системы, к надежности которых предъявляется средний уровень требований (промышленные здания, жилые многоэтажные дома), можно принять равными обеспеченному значению надежности по всем элементам или исполняемым функциям. Уровень обеспеченности определяется из экономических

соображений; характер статистического распределения надежностей элементов или функций системы требует специального изучения (в каждом конкретном случае). Системы, к которым предъявляются значительно меньшие требования по надежности (животноводческие здания, жилые малоэтажные дома, временные здания и сооружения и т.п.), можно принять равными математическому ожиданию надежностей элементов или функций системы.

Расчет надежности системы по количеству отказавших в ней элементов. В некоторых случаях отказ системы наступает при достижении определенного качества отказавших элементов (без предыдущего восстановления). В таких случаях надежность системы, в частности, надежность гидротехнического объекта, можно определить по вероятности отказа определенного количества элементов. Для этой цели целесообразно использовать теорему о повторении опытов. Используя ее, можно определить вероятности появления:

- точно заданного количества отказавших элементов системы;
- количества отказавших элементов не более заданного.

В случае, если вероятности отказов каждого элемента системы равны, а вероятность отказа системы соответствует точно заданному количеству ее элементов (n), вероятность ее отказа определяется по формуле:

$$P_{m,n} = C_n^m p^m q^{n-m}; \quad (1)$$

где C_n^m - количество сочетаний из m по n ; P - вероятность отказа; $q = 1 - p$; m - число элементов системе; n - число отказавших элементов.

Вероятности отказов каждого элемента могут быть не равными друг другу. В этом случае вероятность появления заранее определенного количества отказов определяется по формуле:

$$R_{m,n} = \sum_{i=m}^n P_{i,n}; \quad (2)$$

где P - вероятность отказа.

Таким образом, смысл расчета надежности системы по количеству отказавших в ней элементов заключается в том, что вероятность отказа системы принимают с вероятностью отказа или не более элементов системы.

Логико-вероятностный метод. Это метод системного анализа, в котором решение задач осуществляется на основе построения структурных схем исследуемых объектов. Работу таких объектов можно представить с помощью алгебры логики, а количественную оценку - с помощью теории вероятностей.

Логико-вероятностный метод приспособлен для полной автоматизации наиболее сложных процессов построения расчетных математических моделей, которые не могут быть построены традиционными ручными способами моделирования из-за структурной сложности и высокой размерности.

Данный метод состоит из четырех этапов:

1. Структурно-логический. На этом этапе осуществляется постановка задачи.
2. Определение логической функции работоспособности системы (построение логической модели функционирования исследуемой системы).
3. Определение расчетной вероятностной модели системы.
4. Выполнение расчетов системных характеристик с помощью полученной вероятностной модели.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Логико-вероятностный метод позволяет анализировать информацию, получать достаточно надежные статистические выводы (в условиях малой выборки и высокой размерности пространства переменных), подбирать функцию, которая подходит для полученных распределений. Главным достоинством метода является наблюдение за состоянием гидротехнического объекта с помощью ЭВМ, что избавляет исследователя как от необходимости изучения графических моделей, так и от непосредственного анализа последствий каждого отказа элементов.

К возможностям логико-вероятностного метода относится следующее:

- на примерах влияния законов распределения времени исправной работы и времени восстановления надежности резервированной системы;
- исследование влияния метода на надежность системы;
- исследование надежности системы методом зависимых испытаний;
- исследование абсолютной надежности системы по результатам наблюдения отказов ее элементов и др.

На данном этапе развития метода можно сделать следующие выводы:

1. Логико-вероятностный метод – это вид вычислительного эксперимента.
2. Его достоинства позволяют решать задачи надежности.
3. Широкое использование компьютерной техники позволяет учитывать различные особенности функционирования системы.

Расчет надежностных схем систем. Как правило, гидротехнические сооружения как техническая система является многоцелевой и многофункциональной. Все функции этой системы должны выполняться одновременно. Количество отказавших элементов в системе не может быть бесконечным. Может наступить момент, когда количество одновременно возникших отказов приведет к небезопасной эксплуатации объекта. Это осложняет понятие «отказ системы», делает его менее четким.

В связи с нечеткостью определения понятия отказа для гидротехнического объекта целесообразно говорить не о надежности объекта, а о надежности исполнения функций, предписанных этому объекту.

Любая строительная конструкция имеет индивидуальный набор функций. Исследования позволили объединить все функции в четыре большие группы: функцию безопасности, функцию комфортности, функцию технического обеспечения и группу специальных функций.

Схему предписанных для исполнения функций можно превратить в надежностную схему объекта, используя различного рода соединения, аналогичные электрическим. Надежностная схема системы состоит из последовательных и параллельно соединенных элементов. При этом способ соединения определяется либо логически, либо экономически.

Очевидно, что все функции, которые исполняет система, а также все элементы в функции безопасности следует рассматривать как последовательные соединения. Эти решения имеют логическую основу.

Последовательное соединение элементов – это соединение, при котором отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Например, отказ по огнестойкости конструкций или по экологической чистоте материалов приводит к отказу функции безопасности, что означает отказ всей системы.

Надежность системы при последовательном соединении равна произведению надежностей отдельных элементов и всегда меньше надежности наименее надежного элемента.

Логическое обоснование имеет также параллельное соединение элементов специальной функции.

При параллельном соединении надежность системы больше надежности самого надежного элемента. Отказ системы с параллельным соединением наступает лишь после отказа полностью всех элементов.

Кроме того, все элементы в системе с параллельными соединениями должны иметь одинаковое функциональное назначение. Параллельное соединение в теории надежности рассматривается как способ повышения надежности системы за счет дублирования, резервирования.

Для оценки надежности исполнения функции комфортности можно использовать формулы для системы с последовательным и параллельным соединениями элементов.

Надежность исполнения функции технического обеспечения определяется на основе представления ее как системы с комбинированными соединениями.

Комбинированное соединение элементов объединяет способы с параллельным и последовательным соединением.

Распределение заданной надежности системы по ее элементам. Так как гидротехнические сооружения являются многофункциональными, то надежность таких объектов, состоящих из параллельно соединенных элементов, запишется в следующем виде:

$$W = 1 - Q_{сис} = 1 - (1 - W_1)(1 - W_2)(1 - W_3) \dots (1 - W_n) = 1 - \prod (1 - W_i); \quad (3)$$

где Q – вероятность отказа; W_i – минимальная надежность i – го элемента; n – количество параллельно соединенных элементов в системе.

Исследований зависимости надежности исполнения специальных функций от каких-либо факторов к настоящему времени не произведено. Поэтому для ее оценки возможно элементы этой функции соединить параллельно, так как при отказе одной из специальных функций объекта может быть предписано исполнение другой, более подходящей. Можно предположить, что одним из наиболее весомых факторов, определяющих надежность специальных функций, является время морального старения проектного решения.

Задача по определению критериев надежности является первоочередной, решение которой позволит оценивать надежность и техническое состояние таких сложных и уникальных сооружений, как гидротехнические объекты. Причем для различных гидротехнических объектов существуют свои критерии оценки надежности, определение которых возможно после проведения экспериментальных исследований.

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель - М: Высшая школа, 1999. – 575 с.
2. Дорохов А.Н. Обеспечение надежности сложных технических систем / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. – М.: Лань, 2011. – 352 с.
3. Лычев А.С. Вероятностные методы расчета строительных элементов и систем: учеб. Пособие / А.С. Лычев; СамГАСА. – Самара, 1995. - 140 с.
4. Лычев А.С. Надежность строительных систем / А.С. Лычев; СамГАСА. - Самара, 2002. - 140 с.
5. Малаханов В.В. О концепции безопасности гидротехнических сооружений. – Гидротехническое строительство, 2003, -№ 9, -С. 34-40.
6. Скопова Е.М. Статистическая оценка уровня надежности работы оборудования ГЭС в процессе эксплуатации / В книге: Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов. 2019. – С. 1050.
7. Александровский А.Ю., Волков Д.М., Подольский М.С., Пугачев Р.В., Солдаткин А.Ю., Сычев Д.С. Повышение надежности оценки энергетических показателей ГЭС в современных условиях / В книге: Особенности функционирования гидроэнергетики России в изменяющихся внешних условиях (на примере Волжско-Камского каскада ГЭС). 2016. – С. 61-124.
8. Секретарев Ю.А., Панова Я.В. Оценка надежности и экономичности гидроагрегатов при ситуационном управлении на ГЭС / В сборнике: Гидроэлектростанции в XXI веке. Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции. 2018. – С. 55-62.
9. Соболев В.Ю. Создание системы прогнозирования безопасности и надежности гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС // Природообустройство. 2017. - № 2. – С. 6-11.
10. Тихонова Т.С. Экспертные оценки и их информационно-аналитическое обеспечение в проблеме надежности и безопасности гидротехнических сооружений ГЭС // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 1999. – Т. 234. – С. 119-126.
11. Султанов М.М., Труханов В.М., Аракелян Э.К., Куликова М.А. Методы достижения и обеспечения высокого уровня надежности и безопасности энергетического оборудования ТЭС, ГЭС, АЭС на всех этапах жизненного цикла // Новое в российской электроэнергетике. 2018. - № 3. - С. 6-14.
12. Беллендир Е. Научная аналитика // Энергонадзор. 2015. - № 12 (76). - С. 26-27.
13. Манчук Р.В. оценка надежности электротепловых систем гидротехнического назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. - № 2 (590). – С. 49-57.

*Представлено ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»,
Академия строительства и архитектуры, Россия*

УДК 662.447÷536.24

**ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЯ С ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ
ОКОННЫМ ОГРАЖДЕНИЕМ****Н.Р. Авезова, К.А. Самиев, А.У. Вохидов, М.Х. Дехконова,
Д.У. Абдухамидов**

Мақолада пассив қуёи иситиши тизимларининг турларидан бири бўлган янги турдаги энергия тежамкор ойна блокларининг иссиқлик хусусиятларининг бинода содир бўладиган иссиқлик режимиға таъсири кўриб чиқилган ва бу таъсирни ўрганиши учун математик модел ишлаб чиқилган. Иситиши ва совутиши режимларида иситиладиган бинода ҳаво оқимининг оптимал қийматлари ўрганилган ва олинган ўлчам параметрларини тўғри режаслаштириши орқали кун давомида ички ҳаво ҳароратини тартибга солиши мумкинлиги кўрсатилган.

В работе изучено влияние тепловых характеристик новых типов энерго-сберегающих оконных блоков, которые являются одним из видов пассивных систем солнечного отопления, на тепловой режим, происходящий в помещении, и с целью изучения этого эффекта была разработана математическая модель. Исследованы и получены оптимальные значения воздушного потока в отапливаемом помещении в режимах нагрева и охлаждения. Показана возможность регулировать температуры воздуха в помещении в течение дня, при правильном планировании весогабаритных параметров

The work studied the influence of the thermal characteristics of new types of energy-saving window units, which are one of the types of passive solar heating systems, on the thermal regime occurring in the room, and in order to study this effect, a mathematical model was developed. The optimal values of the air flow in the heated room in the heating and cooling modes have been investigated and obtained. Shown is the ability to regulate the air temperature in the room during the day, with proper planning of weight and size parameters

Введение. Известно, что в республике более 60% производимой энергии расходуется для нужд отопления зданий зимой и охлаждения летом [1]. Ограниченная доступность к традиционным источникам энергии и истощение запасов первичных энергоресурсов, ставит необходимость перед человечеством рационально пользоваться и экономить их, а также вести поиск новых источников энергии. Отметим, что более половины энергопотребления в нашей Республике расходуется на отопление и горячее водоснабжение зданий, которое составляет 24,5 млн. т.у.т. в год [2].

Одно из ключевых направлений снижения расхода органического топлива, идущего для период теплоснабжения зданий в Республики является внедрение в новое строительство технологий пассивно-солнечных домов. Энергоэффективный комфортабельный экологический дом — это сооружение, целью которого является обеспечение комфортных условий для проживания людей, минималь-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ное энергопотребление и соблюдение экологической безопасности для окружающей среды. Учитывая, что в настоящее время в Узбекистане имеется программа по строительству сельского жилья, целесообразным представляется осуществление строительства с учетом технологии пассивно-солнечного отопления [3, 4].

Тепловой расчет инсоляционных пассивных систем отопления, как и других изоляционных пассивных систем, тесно связан с архитектурным проектированием, поскольку сбор солнечного тепла и его аккумулирование осуществляется конструкциями здания [5].

В данной работе авторами представлены результаты по определению температурного режима и тепловой эффективности трехслойных вентилируемых светопрозрачных ограждений (СПО) с частично лучепоглощающим слоем (ЧЛС) (для создания комфортного состояния внутри здания) одноэтажного малогабаритного здания с двумя одинаковыми комнатами с инсоляционными пассивными системами солнечного отопления (ИПССО) и охлаждения, а также представлена валидация полученных расчетных и экспериментальных результатов.

Основными этапами исследования являются:

- разработка математической модели теплового режима помещения и предложенного оконного ограждения как система в целом;
- сопоставление полученных расчетных результатов с экспериментальными данными;
- определение весогабаритных показателей и тепловых характеристик системы в целом;
- определения оптимального значения массового расхода воздушного потока в помещении в режиме охлаждения.

При математическом моделировании приняты следующие допущения:

- тепловой инерционностью оконного ограждения пренебрежена;
- тепловой поток через ограждений является одномерным;
- температура воздуха на входе равной температуре комнатного воздуха;
- обратная циркуляция воздушного потока через оконные системы не рассмотрена.

Методы и материалы. Дневные ходы суммарного солнечного излучения, падающие на вертикальную плоскую поверхность, эффективные коэффициенты отражения, поглощения и пропускания ЧЛС относительно СПО определены на основе методики, предложенной в [5]. Оптические показатели обычных стекол в рассматриваемых системах получены на основе [6]. Освещенность внутри помещения определена на основе методики, приведенной в [7]. Коэффициенты теплообмена с внутрикомнатным воздухом пола, потолка и стен определены на основе выражений, приведенных в [8].

При решении уравнения нестационарного дифференциального уравнения приведенных в данной работе использован метод контрольного объема [9] с применением итерации, так как все коэффициенты теплообмена зависят от температуры внутрикомнатного воздуха и температуры элементов помещения. Расчеты выполнены в программном пакете MathCAD 2001 Professional, во всех расчетах максимальная допускаемая погрешность 10^{-4} , шаг по времени составляло $\Delta t = 120$ с.

Описание экспериментального объекта. Экспериментальный объект представляет собой одноэтажное малогабаритное здание с двумя одинаковыми комнатами (рис. 1) на территории гелиополигона Каршинского государственного университета для проведения научных исследований по пассивным системам солнечного отопления с краткосрочным аккумулятором тепла и плоским рефлектором излучения для дополнительной подсветки отопляемого помещения [10]. Толщина наружных стен, включая наружного и внутреннего слоев штукатурки 0,43 м. Удельная тепловая характеристика отопляемого помещения $q_0V=5,15\text{Вт}/^\circ\text{C}$. Обе комнаты имеют одинаковые двухслойные окна из обычного оконного стекла толщиной по 4 мм и площадью фронтальной поверхности $1,40 \times 1,55\text{м}^2$. Толщина воздушной прослойки между слоями стекол 1,5 см, а коэффициент ослабления проходящего солнечного излучения 16 м^{-1} . Площади поверхности пола комнаты равны и составляют $6,85\text{ м}^2$.

Описание и принципиальная схема трехслойного СПО. Предлагаемая принципиальная схема оконных ограждений, состоящих из трехслойного вентилируемого СПО с ЧЛС, представлена на рис. 2. Окно с внутренней стороны остекления тонировано, что исключает световой дискомфорт в помещении. Как показано на рис. 2.а, режим нагрева считается таким, что солнечные лучи падают на оконные перегородки, частично поглощаются, частично проходят, а оставшаяся часть отражается. Из-за поглощенного солнечного излучения температура почерневшего стекла повышается, и генерируемое тепло передается конвективным воздухом, поступающему снизу воздуху, внутри помещения и элементам здания путем облучения. Если трещин нет, наблюдается излучение тонированного стекла и потеря тепла в окружающую среду конвективным путем.

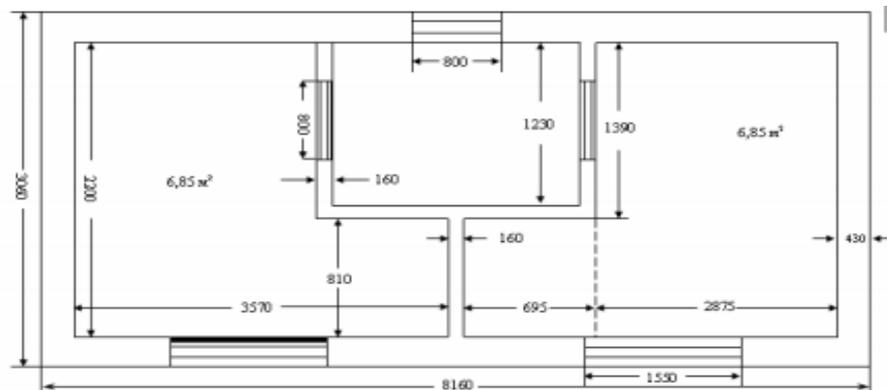


Рис.1. Габаритные размеры в плане экспериментального объекта с ИПССО

На рис. 2.б, показан режим охлаждения – летом температура наружного воздуха повышается, а температурный режим внутри здания меняется. Известно, что увеличение массового расхода движущего воздуха увеличивает количество энергии, передаваемой тонированному стеклу, и вызывает снижение температуры тонированного стекла, то есть количество энергии, передаваемой помещению и элементам помещения от стекла, которое усиливается конвекцией и излучением, уменьшается.

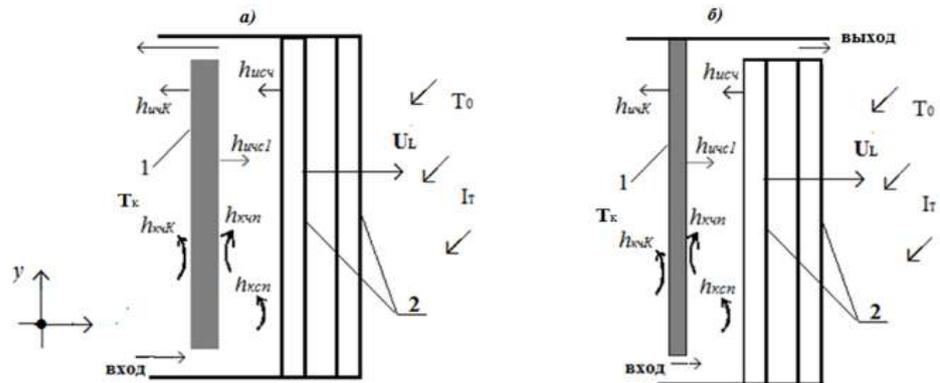


Рис.2. Принципиальная схема оконных ограждений (а-режим отопления; б-режим охлаждения) 1-ЧЛС; 2-стекло [11]

Далее представлена блок-схема программы, разработанная для моделирования вышесказанных процессов, которая приведена на рис. 3 [12].

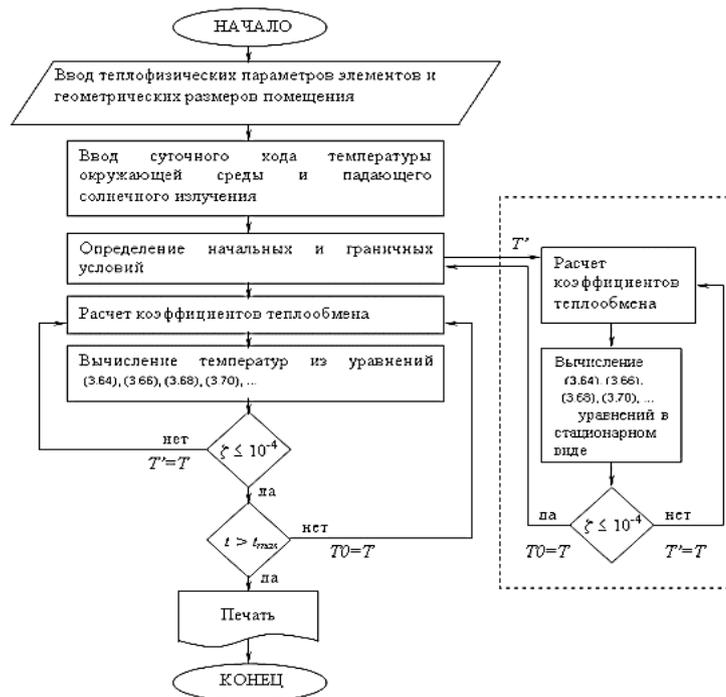


Рис.3. Блок-схема алгоритма математической модели для энергосберегающих оконных ограждений [13]

Результаты и обсуждение. На рис.4 сопоставлены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплового режима помещения [14]. Оптимизация площади поверхности фасада приведёт к повышению температуры внутри комнатного воздуха и может образоваться температурный дискомфорт

(рис.5), который в свою очередь позволит снизить массовый расход теплоты через воздушный поток (10), благодаря к чему температура ЧЛС повышается.

В летний период, благодаря уменьшению суммарного солнечного излучения (рис.4, б) на фронтальной поверхности оконного ограждения, не наблюдаются ощутимые повышения температуры внутрикомнатного воздуха (рис.4, а). Температура ЧЛС и температура воздушного потока на выходе тоже будет низким, относительно зимнего периода года. В соответствие с этим, тепловой поток передаваемый от ЧЛС на внутрикомнатный воздух, проходящего солнечного излучения через оконных систем и тепловой поток передаваемый с воздушным потоком тоже снижаются. Как видно из рис.4, б в течение дня прошедшее солнечное излучение меньше чем тепловой поток, передаваемый от ЧЛС к внутрикомнатному воздуху, это объясняется тем, что в летний период года солнечные лучи образуют острый угол между фронтальной поверхности оконного ограждения. Анализ результатов, приведенный на рис. 4, а и рис. 5 свидетельствует, что при $A_c \geq 2,17 \text{ м}^2$ в зависимости от геометрических размеров помещения эффект предложенного типа оконных ограждений будет незначительным, в пределах $0,5-1^\circ\text{C}$. Как сказано выше, повышение массового расхода воздушного потока приведет к снижению температуры ЧЛС (рис. 5).

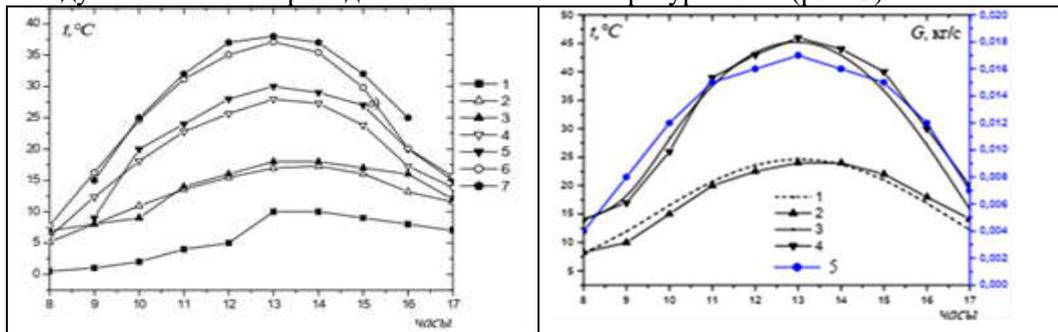


Рис. 4. Суточные изменение температуры соответствующих элементов помещения, и тепловая мощность оконных ограждений в теплый период года (естественная циркуляция), с учетом в расчетах $A_c=2,17\text{м}^2$

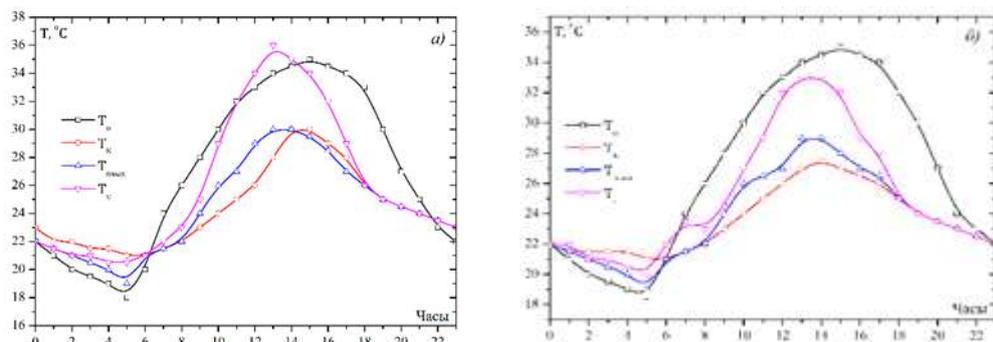


Рис. 5. Суточные изменения температуры соответствующих элементов помещения в теплый период года в различных массовых расходах (а- $0,044 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$; б- $0,09 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$), с учетом в расчетах $A_c=2,17 \text{ м}^2$

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Результаты расчетно-теоретических исследований показывают, что повышение расхода воздушного потока от $0,09 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$, почти не меняет температурный режим помещения с оконными ограждениями, но в зависимости от геометрического размера может разрушать их вентиляционный режим (рис.6).

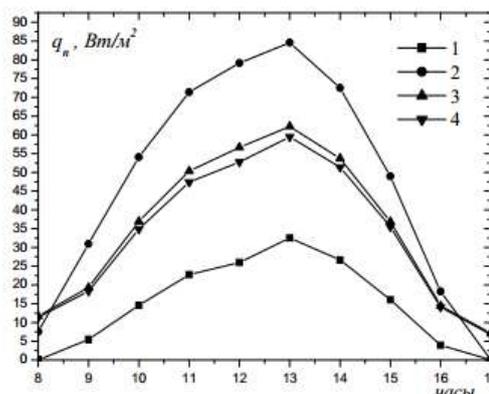


Рис. 6. Суточные изменения теплового потока на поверхности стеклянных ограждений в теплый период года, при различных массовых расходах воздушного потока (1,3 при $0,044 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$ и 2.4 при $0,09 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$)

Выводы: - как видно из полученных результатов, разработанная математическая модель системы оконных ограждений на достаточном уровне отображает его тепловой режим и хорошо согласовывается с экспериментальными данными;

- использование пассивных систем солнечного отопления с оконными ограждениями в жилых, социально-бытовых и промышленных зданиях, даст возможность регулировать температуру воздуха в помещении в течение дня, при правильном планировании весогабаритных параметров;

- определен массовый расход воздуха – $0,09 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$ через предложенные оконные ограждения, который является оптимальным для отопительного и летнего периода.

Литература

1. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. - Ташкент. Фан, 1988. -288 с.
2. Ходжаев Б., Ходжаев С., Кадыров Р. И и др. Аналитический доклад по проекту ООН. Глобального экологического фонда и Государственного комитета по архитектуре и строительству «Повышение энергоэффективности зданий в Узбекистане: направление реформ и ожидаемые эффекты». - Ташкент: UNDP. 2014. -59 с.
3. Кряклина И.В., Краснов С.А., Краснов В.С., Загребельный М.Н., Лисенков И.Д. Концепция энергоэффективного интеллектуального дома с ВИЭ для различных слоев населения в агломерации мегаполисов / Стратегия развития мегаполиса (некоторые аспекты). Взгляд в 2014 год. Международная конференция. - М.: Информиздат, 2012. - С. 48- 55.

4. Энергоэффективный дом с нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии. / Кряклина И.В., Шешунова Е.В., Грек И.Л. [Электронный ресурс]: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/1/386.pdf>.
5. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Пер. с англ. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект». 2013. -888 с.
6. Павлушкина Н.М. Стекло. Справочник. – М.: Стройиздат. 1973. -487 с.
7. СНиП КМК 2.01.05-98. Естественное и искусственное освещение. Ташкент. 1998. -129 с.
8. Awbi Н.В., Hatton А. Natural convection from heated surfaces // Energy and buildings. 1999. V-30. pp.233-244.
9. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамика жидкости: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
10. Дусяров А.С., Аvezов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // Гелиотехника, 2000. №4. - С.50-54.
11. Аvezова Н.Р., Рахимов Э.Ю. Учёт ориентации отапливаемых помещений в расчете инсоляционных пассивных систем отопления// Гелиотехника. 2017. - №2, -С. 41- 48.
12. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р., Самиев К.А. «Моделирование стационарного теплового режима помещения, отапливаемого инсоляционной пассивной системой с трехслойным светопрозрачным ограждением, содержащим частично лучепоглощающее пленочное покрытие на внутренней поверхности». // Гелиотехника. 2014, - №1, -С. 38 - 44.
13. Самиев К.А. Повышение эффективности сложных светопрозрачных ограждений с частично лучепоглащающим слоем инсоляционных пассивных систем солнечного отопления/ Автореферат дисс. канд.тех.наук, 2010. –С. 25.
14. Самиев К.А. Тепловые характеристики трехслойного вентилируемого светопрозрачного ограждения в инсоляционных пассивных системах солнечного отопления / Наука Каракалпакстана: вчера, сегодня, завтра: Тез. докл. Респ. научно-практической конф, посвященной 50-летию Каракалпакского отделения АН РУз. 26-27 ноября 2009. –Нукус. -С.70-71.

*Представлено Физика-техническим
институтом АН Республики Узбекистан*

UDC 621.315

NEW CLASS OF SOLAR PHOTOCELL BASED ON SILICON WITH
MICRO - AND NANOCLUSTERS

N.F. Zikrillayev, E.B. Saitov

Мақолада таркибига никел ва германий киришмаларининг микро ва нано кластерлари бўлган кремнийни вольт ампер таснифи (ВАТ) ўлчайдиган икки зондли қурилма ёрдамида Шоттки тўсигини қутбий хусусиятлари ўрганилди. Кремнийдаги микро ва наноструктуралар Шоттки тўсиги ёрдамида янги турдаги қуёш элементлари олиш имкониятлари кўрсатиб берилди.

В работе представлены результаты исследования вольт-амперной характеристики кремния с микро- и наноструктурами примесных атомов никеля и германия. Результаты исследования показали, что фотоэлектрические свойства рассмотренных наноструктур такие же, как в p-n структурах. Показаны возможности получения солнечного фотоэлемента нового класса в кремнии с наноструктурными барьерами Шоттки.

The paper presents the results of a study of the current-voltage characteristic of silicon with micro- and nanostructures of impurity atoms of nickel and germanium. The results of the study showed that the photoelectric properties of the considered nanostructures are the same as in p-n structures. The possibilities of obtaining a solar cell of a new class in silicon with nanostructured Schottky barriers are shown.

Introduction. One of the new and promising methods for creating nanoscale structures in the crystal lattice of a semiconductor is the formation of nanoclusters of impurity atoms with the participation of crystal lattice defects, since this is a method of creating nanoscale structures, in contrast to the existing methods of molecular beam epitaxy, which require complex expensive equipment, has the following advantages [1,2]:

- allows you to create nanoscale structures throughout of the crystal;
- allows you to easily control the structure, composition, distribution of nanoscale structures and their ordering;
- this method can be used to obtain magnetic nanoclusters with a controlled magnetic moment, i.e. new magnetic semiconductor materials [3, 4];
- allows you to control the charge state of nanoclusters in a wide range ($N + (-) n$, where $n > 3$), i.e. create multiply charged centers in a semiconductor, which are the basis for a very promising material for nanophotonics [1, 2].

This paper presents original experimental results on the study of the electrical, photoelectric properties of silicon with nanoclusters of impurity atoms, clearly showing that such materials are indeed unique materials with wide functional capabilities. It should also be noted that the production of such materials based on the basic material of the electronics industry, silicon, significantly increases the possibility of large-scale use of such materials in electronics.

Materials production technology and research method. Recently, specialists in the field of nanotechnology and nanoelectronics have been paying great attention to the technology of obtaining self-organizing impurity clusters with controllable structures and magnetic properties. In this regard, some interesting results should be noted on the implantation of Co and Ge ions in Si, as well as on ion implantation into other semiconductor materials [7, 8]. As far as we know, technologies for producing self-organizing impurity clusters using diffusion technologies are currently not sufficiently studied. And the diffusion technology for obtaining nanoscale structures is not only a more accessible and cheaper method that allows large-scale production, but also the ability to create nanoscale structures of various types (2D, 1D, 0D), and a given distribution and density over the volume of the crystal.

Therefore, the main goal of this work is to show that, under certain conditions of doping, the formation and control of the parameters of clusters occurs.

Experimental results and their discussion. We have developed a special doping technology, the so-called “low-temperature doping” of semiconductors. The essence of this alloying method is that the diffusion process is carried out in stages by gradually increasing the temperature from room temperature to the diffusion temperature.

The samples under study and, accordingly, the diffusant - pure metallic nickel with a certain mass (determined by the volume of the ampoule) are in evacuated quartz ampoules (the pressure in the ampoule is $\approx 10^{-6}$ mm mm. mercury degree), which are introduced into the diffusion furnace at $T = 300$ K. After that, with $T = 300$ K, the furnace temperature at the location of the ampoule gradually increases at a rate of 5 deg / min and heats up to the intermediate processing temperature at which it is maintained for a certain time, then the furnace temperature rises quite quickly $t = (15 - 20)$ deg / min to the diffusion temperature (1523 °C) and at this temperature the samples were kept for 40 minutes, after which the ampoules were removed from the oven and cooled. Such doping conditions ensure the introduction of the maximum Ni concentration into the Si lattice and uniform doping throughout the entire volume.

As an object, we used monocrystalline silicon of both n and p type with a phosphorus concentration $N_P = 10^{13} \div 10^{17}$ cm⁻³, and the boron concentration $N_B = 10^{14} \div 10^{17}$ cm⁻³. The samples used had minimal dislocations, the density of which was $N_D < 10^2$ cm⁻². The choice of impurities with different concentrations and types was dictated by the determination of the roles of the type and concentration of impurity atoms in the formation of clusters. The samples were alloyed according to the technology [6].

After diffusion, the samples were subjected to low-temperature annealing, after which they were polished to visually study the state and structure of impurity Ni atoms in the lattice using an Oxford Instruments ZEISS EVOMA-10 scanning electron microscope (SEM), Solver-Pro atomic force microscope (AFM). As studies have shown, with strict adherence to the technology of alloying and annealing: the alloying time, the cooling rate of the samples and the annealing temperature, the experimental results are 100 % reproducible.

Results and its discussion. The study of the state of nickel atoms in the samples was carried out using an atomic force microscope (AFM) "Solver-Pro" at room temperature. The research results showed that the formation of Ni clusters in the Si lattice was not detected in the samples doped at a temperature of 1220 °C, possibly

due to the limited resolution of the Oxford Instruments ZEISS EVOMA-10 scanning electron microscope (SEM).

Alloyed samples were subjected to additional low-temperature annealing in the range of $T=700\text{ }^{\circ}\text{C} - 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ for $t = 1 - 3$ hours in air. Then, after grinding from a surface of about $50\text{ }\mu\text{m}$, all samples were subjected to optical polishing for examination (AFM) microscope [5].

In the experiment with samples at temperature treatment for 3 hours, a sharp increase in the current $I - V$ characteristic was observed in comparison with samples after temperature treatment for 2 hours. In this case, the number of nanostructures based on nickel atoms from the volume in the surface was 0.5%. After temperature treatment of the samples, it was determined that the higher the temperature, the higher the Schottky microbarrier height and current will be. After additional heat treatment, the formation of systemic structures of clusters of nickel atoms on the surface and in the bulk of the samples was observed.

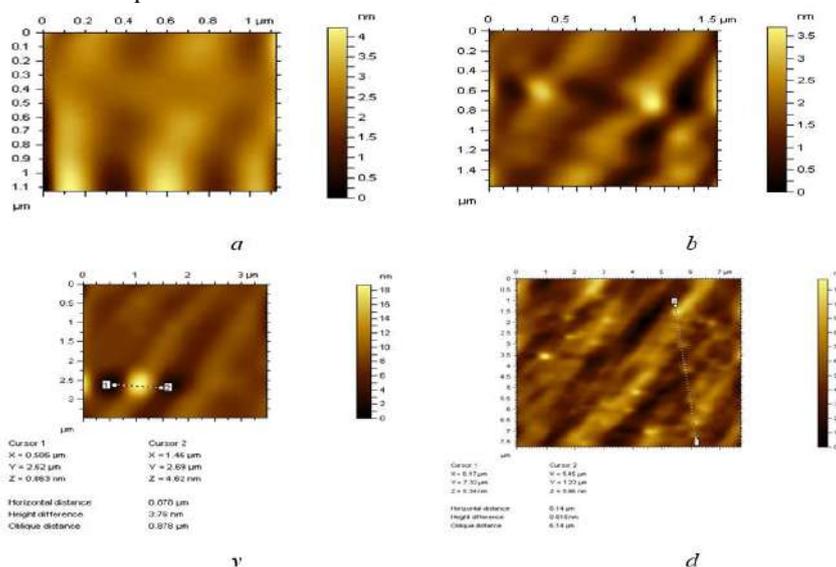


Fig. 1. Pictures of the microstructure of the surface of the samples under AFM with clusters of impurity Ni atoms at $T = 300\text{ K}$;
a – temperature untreated surface layer; *b* – after heat treatment $t = 1$ hour;
v – after heat treatment $t = 2$; *d* – after heat treatment $t = 3$ hours

In fig. 1 shows an image of the surface of samples with Ni clusters, obtained using an atomic force microscope (AFM).

The distribution of cluster impurities on the surface and in the bulk of the samples was studied using a Solver-Pro infrared microscope (AFM), which also confirmed the actual existence of clusters on the surface and in the bulk of the samples.

The results of the study showed that, in all samples that were subjected to low-temperature annealing, the formation of clusters of Ni atoms in the Si lattice appears. However, the following facts should be noted:

- 1) the geometric dimensions of the clusters increase with decreasing annealing temperature and change from $0.2 - 0.5\text{ }\mu\text{m}$ to $2 - 5\text{ }\mu\text{m}$;
- 2) the density of clusters decreases with decreasing annealing temperature;

- 3) clusters are distributed fairly evenly over the surface;
- 4) the size, density, and distribution of clusters does not depend on the type and concentration of the initial impurity atoms.

Therefore, the next stage of the study was to show that these clusters contain Ni atoms and determine the distribution of clusters in the bulk of the crystal, i.e. they are formed only on the surface or throughout the entire volume.

The surface of polished samples was examined using an EVOMA-10 electron microscope at a certain temperature. In fig. 9 shows a structural analysis of wafers in samples with impurity nickel atoms, which were obtained using an Oxford Instruments ZEISS EVOMA-10 electron microscope.

The results obtained prove that in the samples there are clusters of impurity nickel atoms 8–15%, while the experimental error was within the error $\sigma=0.1-0.2\%$.

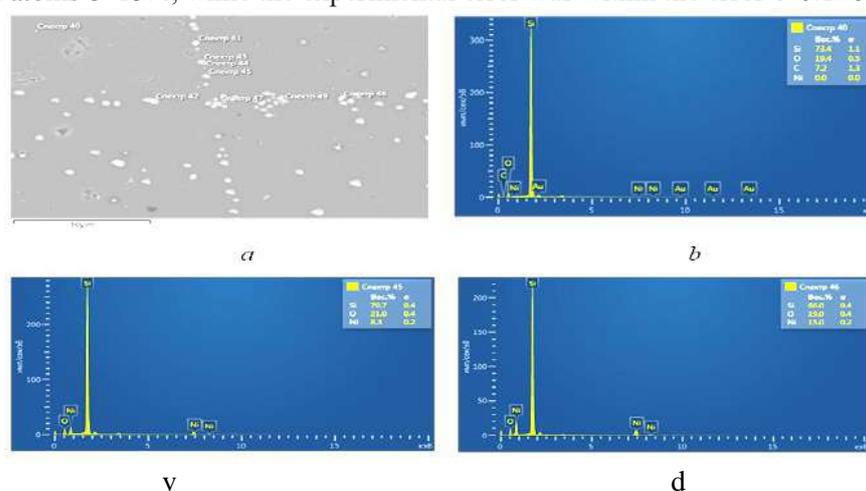


Fig. 2. Pictures of the microstructure of the surface compositions of samples with nickel clusters (SEM); *a* – cluster point zone distribution; *b* – without cluster zones; *v* – with cluster zones at Ni = 8.3%; *d* – with cluster zones at Ni = 15%

To answer these questions, an X-ray microprobe analysis was carried out on an Oxford Instruments ZEISS EVOMA-10 scanning electron microscope (SEM) setup. It was found that microparticles consist of Ni and Si atoms in a ratio of 60% to 40%, respectively. It should be noted that nickel does not appear over the entire silicon surface, but in separate places, i.e. in places where clusters are formed, which are installed by an AFM microscope. This gives grounds to believe that under the conditions of low-temperature annealing, self-organizing formation of nickel atoms into a cluster actually occurs.

To study the distribution of microparticles over the volume of the samples, they were subjected to grinding from the surface to 15–20 μm. After each stage of grinding, the samples were again polished and examined using an atomic force microscope (AFM) "Solver-Pro". This continued until more than half of the thickness of the samples was removed (about 350-300 microns). As shown, the research results, the size, density, and also the distribution of microparticles over the volume of the crystal do not change significantly, only the coordinates of their location on the surface change. This means that the formation and self-organization of clusters occurs throughout the

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

volume of the crystal, and they are distributed fairly uniformly. These data allowed us to calculate the concentration of the clusters. Calculations have shown that they vary in the range from $N = 10^9 \div 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ to $N = 10^{12} \div 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. These results show that, under certain conditions of doping and heat treatment, self-organized formation of clusters of Ni impurity atoms occurs in the lattice throughout the entire volume of the crystal. You can control their size, concentration and distribution (fig.2).

Based on the technology described above, the diffusion of Ni atoms into the initial silicon samples was carried out. The experimental results are shown in table. 1, 2. Table 1 shows the results of the change in the lifetime of minority charge carriers after the diffusion of Ni atoms into the initial silicon at $T = 1220 \text{ }^\circ\text{C}$.

Table 1

Index	Brand Si			
	KDB-0.5	KDB-10	KEF-40	KEF-4.5
Primary τ , μs	18-21	24-26	21-23	29-32
After Ni diffusion $T = 1220 \text{ }^\circ\text{C}$ τ , μs	6-10	8-12	12-14	16-18

Table 2 shows the results of changes in the lifetime of minority charge carriers after preliminary diffusion of nickel atoms at $T = 1220 \text{ }^\circ\text{C}$ and subsequent additional thermal annealing of samples with clusters of impurity nickel atoms at $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$.

Table 2

Index	Brand Si			
	KDB-0.5	KDB-10	KEF-40	KEF-4.5
Primary τ , μs	18-21	24-26	21-23	29-32
After Ni diffusion $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ τ , μs	24-26	28-32	10-12	10-12

An analysis of the results obtained shows that the introduction of impurity nickel atoms into p-type silicon increases the lifetime of minority charge carriers. In n-type silicon samples doped with nickel atoms, a feedback is observed, i.e. reducing the lifetime of minority charge carriers. With additional processing of the samples, τ becomes stable. Additional doping of the initial KDB samples with nickel atoms reduced the lifetime of minority charge carriers.

Unique results were obtained with additional low-temperature treatments at $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$. In this case, depending on the time of additional annealing, the ordering of clusters of impurity nickel atoms in silicon occurs (fig. 2). As shown by the results of studies, such an ordering of clusters of impurity atoms occurs throughout the entire volume of the crystal. It was found that with an increase in the additional annealing temperature, the ordering of the clusters is destroyed and again they are distributed uniformly.

Conclusion. It was experimentally established that in silicon doped with Ni using the multistage diffusion technology and after additional low temperature annealing, self-organization of clusters of impurity Ni atoms in the Si lattice occurs. By controlling the additional annealing temperatures, it is possible to vary the size of clusters $d = 0.2 - 5 \text{ }\mu\text{m}$, their volume distribution, and also their concentration in a

wide range. And at $T = 700$ °C, a unique phenomenon is observed - the ordering of clusters.

The formation of clusters and their parameters are practically independent of the type and concentration of the initial impurity atoms, which allows us to conclude that the initial impurity atoms do not play a role in the formation of clusters.

The physical mechanisms of the formation of clusters and their ordering, as well as the structure of the clusters, requires a more detailed study. Of great practical interest is the use of such clusters as micro and nano Schottky barriers for the creation of new classes of microelectronic devices, as well as integrated photocells.

Thus, we can say that silicon with nanoclusters of nickel atoms has unique functionality for modern electronics. It seems to us that this is only the beginning of research in this direction, and in the future it will be possible to discover even more interesting and new phenomena in these materials.

References

1. Yu.M. Kurbonov, E.B. Saitov and B.M. Botirov. Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station. ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012034.
2. Karimov R., Bobojanov M. Analysis of voltage stabilizers and non-contact relays in power supply systems. E3S Web of Conferences this link is disabled, 2020, 216, 01162.
3. Saitov E.B. Optimal model for additional operation of the storage system for photovoltaic wind power plants. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001080.
4. E.B. Saitov. Renewable Energy Development in Uzbekistan: Current Status, Problems and Solutions. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01134 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601134.
5. E.B. Saitov, J.B. Toshov, A.O. Pulatov, B.M. Botirov, Yu.M. Kurbanov. Networked interactive solar panels over the roof photovoltaic system (PVS) and its cost analysis at Tashkent state technical University. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01133 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601133.
6. Javoxir Toshov, Elyor Saitov. Portable autonomous solar power plant for individual use. E3S Web of Conferences 139 01087. 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012116.

*Presented by the Tashkent State
technical university*

UDC 620.97

PORTABLE AUTONOMOUS SOLAR POWER PLANT FOR
INDIVIDUAL USE

E.B. Saitov, J.B. Toshov

Kam quvvatli ishonchli portativ va arzon quyosh stansiyalarini yaratish va rivojlantirish fermerlar, yozgi aholi, geologlar va sayohatchilarda katta qiziqish uyg'otmoqda. Shu bilan birga, asosiy vazifa har xil sharoitlarda tashish paytida o'rnatishlarning ishonchliligini, qulayligi va foydalanish qulayligini ta'minlash, shuningdek, ularning har xil sharoitlarda keng miqyosda ishlatilishini ta'minlaydigan minimal o'lchamlari, og'irligi va maqbul narxini ta'minlashdir.

Создание и разработка надежных переносных и недорогих солнечных станций небольшой мощности представляет большой интерес для фермеров, дачников, геологов, путешественников. При этом основной задачей является обеспечение надежности установок при транспортировке в различных условиях, удобство и простота в эксплуатации, а также обеспечение минимальных размеров, массы и приемлемой цены, что позволит обеспечить их широкомасштабное использование в различных условиях.

The creation and development of reliable portable and inexpensive solar stations with low power is of great interest to farmers, summer residents, geologists, and travelers. At the same time, the main task is to ensure the reliability of installations during transportation in various conditions, convenience and ease of operation, as well as ensuring the minimum size, weight and reasonable price, which will ensure their large-scale use in various conditions.

Introduction. The sun is a source of inexhaustible energy resources, and the widespread use of this energy is one of the most important tasks for the Republic of Uzbekistan, which has significant solar energy resources. Other alternative energy sources (AES) are also important.

The main supplier of solar electricity is solar batteries, the principle of which is based on the conversion of solar energy directly into electricity. Solar cells produce energy with low operating costs and do not pollute the environment. Demand for alternative energy sources is expected to rise sharply due to rising oil prices. The environmental and social impacts of using solar power plants in remote and inaccessible areas should also be considered. Extensive use of nuclear power plants will help conserve natural resources, improve the environment, reduce carbon dioxide emissions, improve the living conditions of the population and encourage the training of specialists in the field of nuclear power plants.

Calculations show that the use of nuclear power plants in remote areas of the country provides not only social and environmental benefits, but also direct economic benefits.

Materials production technology and research method. Recently, specialists in the field of nanotechnology and nanoelectronics have been paying great attention to the technology of obtaining self-organizing impurity clusters with controllable structures and magnetic properties. In this regard, some interesting results should be noted on the implantation of Co and Ge ions in Si, as well as on ion implantation into other semiconductor materials [7, 8]. As far as we know, technologies for producing self-organizing impurity clusters using diffusion technologies are currently not sufficiently studied. And the diffusion technology for obtaining nanoscale structures is not only a more accessible and cheaper method that allows large-scale production, but also the ability to create nanoscale structures of various types (2D, 1D, 0D), and a given distribution and density over the volume of the crystal.

Therefore, the main goal of this work is to show that, under certain conditions of doping, the formation and control of the parameters of clusters occurs.

Table 1

Performance characteristics of the designed inverter

Parameter name	Parameter value
Rated power	2000 Vt
Maximum power (within 3 minutes)	2500 Vt
Short-term (up to 5 seconds) overload capacity from rated value	50%
DC input voltage	21 to 30 Volt
AC output voltage (50 hertz)	220V
Short circuit protection of 220V load	Circuit breaker 15A
Output voltage waveform	Sinusoidal, with peak limitation by protection device
Harmonic distortion (at rated power)	No more than 5%
Stability of the output voltage (with a full charge of a working battery) and maximum load	+5 to -10%
Weight	No more than 20 kg
Lifetime	At least 10 years
Continuous operation time	Not limited
The need for maintenance	Checking the cooling fan and air filter

A simplified diagram of the power section of the inverter is shown in fig. 1. The power block of the inverter (fig. 2) was made on a 4 mm thick aluminum base, on which insulated heat sinks of power transistors and diodes, as well as other elements of the power section, were fixed.

The entire control unit diagram is divided into four parts according to the functional-node principle.

The following nodes were highlighted:

- microcontroller part, combining the microcontroller, indication elements of operating modes and control elements,
- node of high-speed protection and formation of control pulses for power transistors,

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

- galvanic isolation unit with three channels,
- a power supply unit that forms the necessary parameters of the supply voltages.

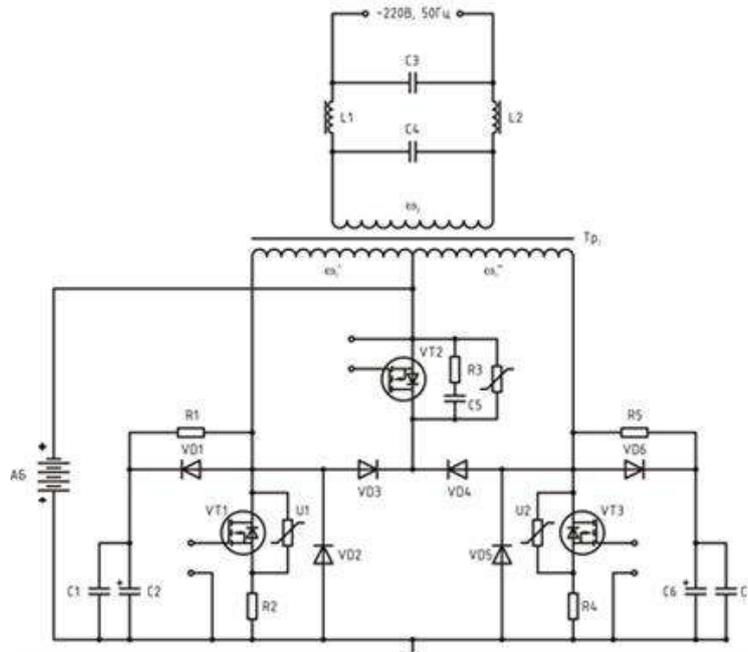
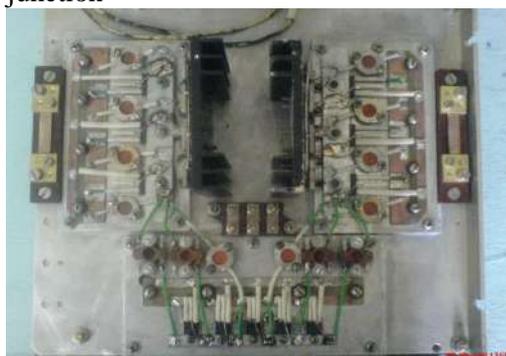


Fig. 1. Simplified diagram of the power section of the inverter

As for the batteries, the storage battery (assembled from ready-made batteries by parallel-serial connection for the required voltage and capacity).

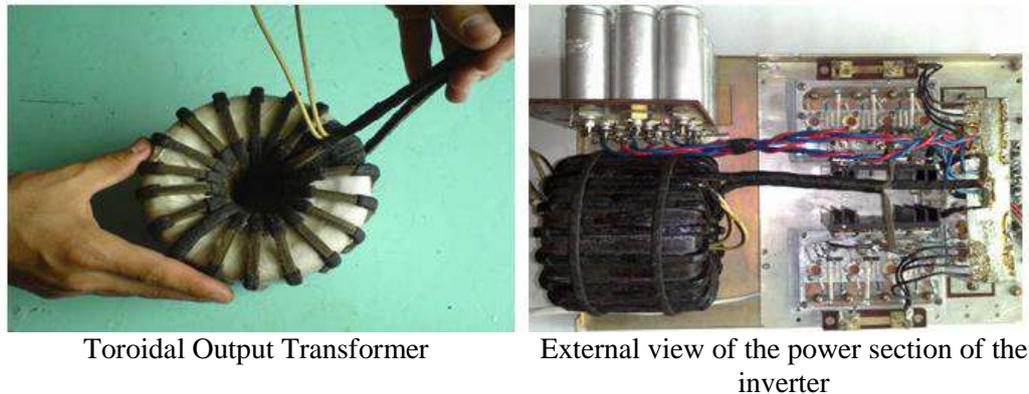
It should be noted here that a solar battery is a source of electrical power, the properties of which are highly dependent on illumination. For the case of a perfect p-n junction



The design of the power section of the inverter



Monitoring and control scheme



Toroidal Output Transformer

External view of the power section of the inverter

Fig. 2. Power block of the inverter.

$I = I_s \left(e^{\frac{U}{kT}} - 1 \right) - I_\phi$ The main dependencies follow from this formula U no-load voltage I_n , a $I_{short-circuit\ current}$, where Φ - illumination of the solar battery (SB).

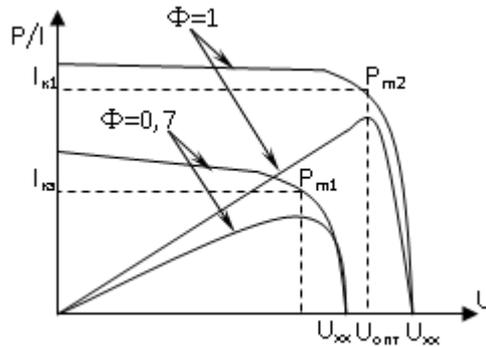


Fig.3. I - V characteristic of the SB

Fig.3 on the I - V characteristic of the SB there is always a point at which its output power is maximum, but the position of this point changes (see figure) from the illumination Φ , which, in the case of a stationary installation of the SB, changes greatly during the day. To increase the overall efficiency. a special charging regulator can be used to optimize the SB operating point.

Such a solar station provides continuous operation of one TV and lighting the room for 4 hours, and without a TV, it illuminates the room and provides charging of cell phones for 20 hours. To ensure the operation of such stations, it is necessary to place the solar panel in the sun from 6 to 10 hours, depending on weather conditions. Our experiments have shown that the service life of such solar stations is at least 20 years; from time to time, it becomes necessary to only replace the batteries. In fig. below is the appearance and design of such solar stations.



Fig. 4. Solar station is intended for individual use

Fig. 4 this solar station is intended for individual use, as well as for use in remote and hard-to-reach places where there is no traditional power supply

Conclusion. Potential consumers of products can be the Ministry of Defense, the Ministry of Internal Affairs, Glavgidromet, the Ministry of Agriculture and Water Resources, Uzbekgeologia, the Uzbekneftegaz Agency, as well as organizations or individuals whose specific activity is to carry out work in remote and hard-to-reach places where there is no traditional power supply.

References

1. YU.M Kurbonov, E.B Saitov, and B M Botirov. Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station. ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012034
2. Saitov E.B. Optimal model for additional operation of the storage system for photovoltaic wind power plants. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001080
3. Karimov, R. Study of the state of the issue of increasing the quality of electric energy in the power supply systems. E3S Web of Conferences this link is disabled, 2020, 216, 01163
4. Saitov E.B., Sobirov Y.B., Yuldoshev I.A., Jurayev I.R., Kodirov S. Study of Solar Radiation and Wind Characteristics in Various Regions of Uzbekistan. E3S Web of Conferences, Volume 220, Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives, SES 2020; Saint-Petersburg; Russian Federation; 29 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202022001061
5. E.B.Saitov. Renewable Energy Development in Uzbekistan: Current Status, Problems and Solutions. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01134 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601134
6. Shoguchkarov, S., Yuldoshev, I., Saitov, E., Boliev A. The effect of the surface geometry of a photovoltaic battery on its efficiency. E3S Web of Conferences.

Volume 216, 14 December 2020 Rudenko International Conference on Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems, RSES 2020; Kazan; Russian Federation; 21 September 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202021601149

7. E.B.Saitov., J.B.Toshov., A.O.Pulatov., B.M.Botirov., Yu.M.Kurbanov. Networked interactive solar panels over the roof photovoltaic system (PVS) and its cost analysis at Tashkent state technical University. RSES 2020, E3S Web of Conferences 216, 01133 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202021601133

8. Zikrillayev Nurullo, Saitov Elyor. Silicon materials -the future of photovoltaics. Monograph - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019, ISBN: 987-620-0-50311-4.

9. Toirov, O., Alimkhodjaev, K., Pirmatov, N., Kholbutaeva, A. Mathematical model to take into account the influence of saturation of the magnetic circuit on the starting characteristics of a synchronous motor. E3S Web of Conferences this link is disabled, 2020, 216, 01119

10. N.F.Zikrillaev, E.B.Saitov, O.B. Tursunov A.J. Khusanov, K.K. Kurbonaliev, Features Of Self-Oscillatory Processes In A Strongly Compensated Silicon With Nanoclusters Of Impurity Atoms. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.935-939, 2021.

11. Afrisal, H., Setiyono, B., Yusuf, M.F., Suin, R.M., Toirov, O. Trajectory Planning with Obstacle Avoidance of 3 DoF Robotic Arm for Test Tube Handling System. 7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, ICITACEE 2020 - Proceedings

12. E.B.Saitov, N.F.Zikrillayev, Photovoltaic Effect In Silicon With Schottky Micro-Barriers Created On The Basis Of Nickel Impurity Atoms And Spectral Characteristics. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 08, Issue 01, pp.982-992, 2021.

13. Saitov E.B, Toshov J.B, Umarov Sh.B., Fayzullayev B.H., Abdullabekov I.A, Nasriddinov B.A. Optimization of Solar Power Systems in Different Regions. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.

14. Saitov Elyor Bakhridinovich, Pulatov Abror Obidovich. Development of an Experiment Control System at a Laboratory Installation of a Photovoltaic Station in a Remote access Mode Based on Web Technologies. Journal of critical reviews, ISSN - 2394-5125 VOL 7, ISSUE 15, 2020.

15. Zikrillayev Nurullo, Saitov Elyor. Silicon materials -the future of photovoltaics. Monograph - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019, ISBN: 987-620-0-50311-4.

*Presented by the Tashkent State
technical university*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПРЯМОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОГО СТЕКЛЯННОГО РЕФЛЕКТОРА С ТЫЛЬНЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОТРАЖАЮЩИМ СЛОЕМ

А.С. Дусяров

Maqolada nur qaytaruvchi metal qoplamasi orqa tomonida joylashgan shishali yassi nur qaytargichlardan qaytuvchi quyosh nurlanishining integral nur qaytarish koeffitsientini hisoblashning nazariy hisob usuli keltirilgan. Tekis shisha reflektorning orqa metall qatlamli qismini to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlanishining integral aks ettirilishini aniqlash qiziqish uyg'otadi. Ikki muhit orasidagi chegaradan nurlanishning ko'p marta aks etishini hisobga olgan holda ko'rib chiqilayotgan turdagi tekis reflektorning integral aks ettirish koeffitsientini aniqlash uchun hisoblash sxemasi keltirilgan va ushbu sxema asosida orqa aks ettiruvchi qatlamli tekis reflektorning to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlanishining integral aks ettirish koeffitsientini aniqlash uchun ifoda berilgan.

В статье приведены теоретические основы метода расчетного определения интегрального коэффициента отражения солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным отражающим слоем. Представляет интерес определение интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным металлическим отражающим слоем. Приведена расчетная схема определения интегрального коэффициента отражения плоского рефлектора рассматриваемого типа, учитывающая многократное отражение излучения границы раздела двух сред, а на основе этой схемы приведено выражение для определения интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского рефлектора с тыльным отражающим слоем.

The article presents the theoretical foundations of the method for calculating the integral reflection coefficient of solar radiation of a flat glass reflector with a rear reflective layer. It is of interest to determine the integral reflection coefficient of direct solar radiation of a flat glass reflector with a rear metal reflecting layer. A calculation scheme is presented for determining the integral reflection coefficient of a flat reflective of the type under consideration, taking into account the multiple reflections of radiation from the interface between two media, and on the basis of this scheme, an expression is given for determining the integral reflection coefficient of direct solar radiation of a flat reflector with a rear reflecting layer.

Плотность потока солнечной энергии, падающего на плоский стеклянный рефлектор, зависит не только от плотности потока самого солнечного излучения, но и от угла между рефлектором и Солнцем. В случае, когда поглощающая поверхность рефлектора и солнечного излучение перпендикулярны друг к другу, плотность потока излучения будет максимальна [1,4].

Коэффициент отражения - безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела отражать падающее на него излучение. В тех случаях, когда спектр падающего излучения настолько узок, что его можно считать монохроматическим, или монохроматическом коэффициенте отражения. Если спектр падающего на тело излучения широк, то соответствующий коэффициент отражения иногда называют интегральным.

В общем случае значение коэффициента отражения тела зависит как от свойств самого тела, так и от угла падения, спектрального состава и поляризации излучения. Вследствие зависимости коэффициента отражения поверхности тела от длины волны падающего на него света: визуально тело воспринимается как окрашенное в тот или иной цвет.

Зеркальное (направленное) отражение происходит в тех случаях, когда излучение падает на поверхность, размеры неровностей которой значительно меньше, чем длина волны излучения. Практически интегральный коэффициент отражения вычисляется как отношение сумм ординат, взятых через 10 или 20 нм для кривых, характеризующих спектральный состав отраженного и падающего световых потоков [2,4].

Рефлекторы солнечного излучения могут быть выполнены с лицевым и тыльным металлическими отражающими слоями. Зеркало - гладкая поверхность, предназначенная для отражения света (или другого излучения). Наиболее известный пример - плоское зеркало. Для защиты поверхности рефлекторов с лицевым металлическим отражающим слоем от абразивного действия частиц атмосферы и периодической чистки применяются различные атмосферостойкие высокопрозрачные лаки [2] и оксиды SiO_1 , SiO_2 и TiO_2 , наносимые методом термического испарения и напыления в атмосфере кислорода [3]. Коэффициент интегрального отражения прямого солнечного излучения рефлектором рассматриваемого типа очень высок и близок к коэффициенту отражения металлического слоя.

Проблема защиты металлической отражающей поверхности рефлекторов солнечного излучения может быть решена также путем применения способа тыльного напыления отражающего слоя. В таких рефлекторах излучения, в качестве прозрачного защитного покрытия металлического отражающего слоя используется высокопрозрачное листовое стекло толщиной 2-4 мм. Отражающий металлический слой путем напыления наносится на его тыльную сторону. Снизу металлический отражающий слой покрывается специальным составом для защиты от различных механических и атмосферных воздействий. Коэффициент отражения солнечного излучения рефлекторов рассматриваемого типа за счет поглощения солнечного излучения прозрачным покрытием несколько ниже, чем у рефлекторов с лицевым отражающим слоем.

Представляет интерес определение интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным металлическим отражающим слоем.

Расчетная схема для определения интегрального коэффициента отражения плоского рефлектора рассматриваемого типа, учитывающая многократное отражение излучения границы раздела двух сред [4], приведена на рис. 1.

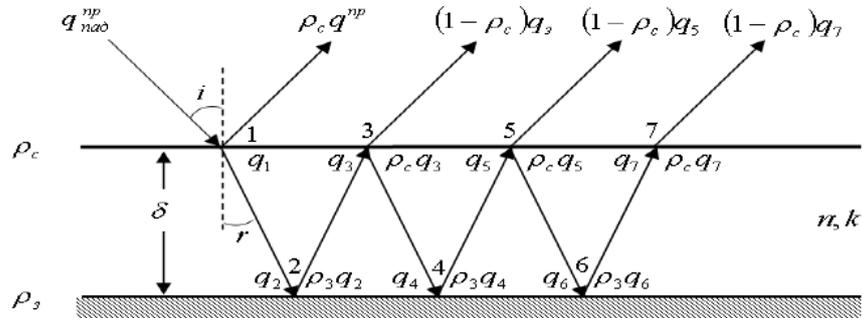


Рис.1. К составлению балансовых уравнений для падающего, отраженного и преломленного излучения для плоского рефлектора излучения с тыльным металлическим отражающим слоем: ρ_c и ρ_3 - соответственно коэффициенты отражения прозрачного защитного и металлического отражающего слоев; i и r - соответственно, углы падения и преломления прямого солнечного излучения; δ - толщина прозрачного защитного слоя; n - коэффициент преломления прямого солнечного излучения прозрачного защитного слоя; k - коэффициент ослабления проходящего прямого солнечного излучения материала прозрачного защитного слоя

Согласно рис.1., в точку 1 на плоскости фронтальной поверхности защитного стекла рефлектора падает поток прямого солнечного излучения q_{nad}^{np} . Часть этого потока, равная:

$$q_{omp}^{np} = \rho_c q_{nad}^{np}, \quad (1)$$

отражается от поверхности стекольной защиты рефлектора, а другая часть, равная:

$$q_1 = q_{nad}^{np} - q_{omp}^{np} = (1 - \rho_c) q_{nad}^{np}, \quad (2)$$

проходит через границу раздела воздух-стекло.

До точки 2 на плоскости тыльной поверхности защитного стекла рефлектора доходит поток прямого солнечного излучения, равный:

$$q_2 = q_1 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}, \quad (3)$$

из которого часть, равная $\rho_3 q_2$, от поверхности металлического отражающего слоя отражается назад.

В точку 3 на плоскости фронтальной поверхности защитного стекла рефлектора приходит поток прямого солнечного излучения:

$$q_3 = \rho_3 q_2 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}. \quad (4)$$

Часть этого потока, равная $\rho_c q_3$, отражается вовнутрь защитного стекла, а часть:

$$q_3 - \rho_c q_3 = (1 - \rho_c) q_3, \quad (5)$$

проходит через границу раздела стекло-воздух.

Аналогичным образом определяем значения потоков прямого солнечного излучения, проходящих через границу раздела стекло-воздух в точках 5, 7... .

Выражение для интегрального потока прямого солнечного излучения, отраженного от рефлектора с тыльным отражающим слоем в соответствии с рис. может быть представлено в виде:

$$q_{\text{отп}}^{\text{np}} = \rho_c q_{\text{над}}^{\text{np}} + (1 - \rho_c) q_3 + (1 - \rho_c) q_5 + (1 - \rho_c) q_7 + \dots = \rho_c q_{\text{над}}^{\text{np}} + (1 - \rho_c) (q_3 + q_5 + q_7 + \dots). \quad (6)$$

Значения $q_3, q_5, q_7 \dots$ в (6) в соответствии с расчетной схемой на рис.1. определяются из выражений:

$$q_3 = \rho_3 q_2 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}; \quad (7)$$

$$q_5 = \rho_3 q_4 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}; \quad (8)$$

$$q_7 = \rho_3 q_6 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}; \quad (9)$$

$$q_n = \rho_3 q_{n-1} e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}. \quad (10)$$

Значение q_2 в (7) определяется по выражению (2), а значения q_4, q_6, \dots, q_{n-1} в (10), в свою очередь, определяются из соответствующих выражений:

$$q_4 = \rho_c q_3 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}; \quad (11)$$

$$q_6 = \rho_c q_5 e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}; \quad (12)$$

$$q_{n-1} = \rho_c q_{n-2} e^{-\frac{k\delta}{\cos r}}. \quad (13)$$

Подставляя значения $q_3, q_5, q_7 \dots, q_n$ из (7) - (10) в (6), с соответствующим учетом значений q_4, q_6, \dots, q_{n-1} по (11) - (13), получим:

$$\sum q_{\text{отп}}^{\text{np}} = \left[\rho_c + \rho_3 (1 - \rho_c)^2 e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \left(1 + \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} + \rho_3^2 \rho_c^2 e^{-\frac{4kd}{\cos r}} + \dots \right) \right] q_{\text{над}}^{\text{np}}. \quad (14)$$

В связи с тем, что:

$$1 + \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} + \rho_3^2 \rho_c^2 e^{-\frac{4kd}{\cos r}} + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} \left(\rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \right)^i, \quad (15)$$

выражение (14) может быть написано в виде:

$$\sum q_{\text{отп}}^{\text{np}} = \left[\rho_c + \rho_3 (1 - \rho_c)^2 e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \sum_{i=0}^{\infty} \left(\rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \right)^i \right] q_{\text{над}}^{\text{np}}. \quad (16)$$

Если учесть, что:

$$\sum_{i=0}^{\infty} \left(\rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \right)^n = \frac{1}{1 - \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}}}, \quad (17)$$

то выражение (16) может быть представлено в несколько удобном для практических расчетов виде:

$$\sum q_{omp}^{np} = \left[\rho_c + \frac{\rho_3 (1 - \rho_c)^2 e^{-\frac{2kd}{\cos r}}}{1 - \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}}} \right] q_{nad}^{np}. \quad (18)$$

Выражение для определения интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского рефлектора с тыльным отражающим слоем, установленное на основе отношения:

$$R_p = \frac{\sum q_{omp}^{np}}{q_{nad}^{np}}, \quad (19)$$

при этом имеет вид:

$$R_p = \rho_c + \frac{\rho_3 (1 - \rho_c)^2 e^{-\frac{2kd}{\cos r}}}{1 - \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}}}. \quad (20)$$

Величина $\left(1 - \rho_3 \rho_c e^{-\frac{2kd}{\cos r}} \right)^{-1}$ в (20) учитывает относительное увеличение

интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным отражающим слоем за счет многократного отражения излучения на границах разделов «лицевое прозрачное защитное покрытие (стекло - воздух)» и «лицевое защитное покрытие - металлический отражающий слой».

Заключение. Коэффициент отражения - безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела отражать падающее на него излучение.

В тех случаях, когда спектр падающего излучения настолько узок, что его можно считать монохроматическим, или монохроматическом коэффициенте отражения. Если спектр падающего на тело излучения широк, то соответствующий коэффициент отражения иногда называют интегральным.

В общем случае значение коэффициента отражения тела зависит как от свойств самого тела, так и от угла падения, спектрального состава и поляризации излучения. Вследствие зависимости коэффициента отражения поверхности тела от длины волны падающего на него света визуально тело воспринимается как окрашенное в тот или иной цвет.

Зеркальное (направленное) отражение происходит в тех случаях, когда излучение падает на поверхность, размеры неровностей которой значительно меньше, чем длина волны излучения. Рефлекторы солнечного излучения могут быть выполнены с лицевым и тыльным металлическими отражающими слоями.

Зеркало — гладкая поверхность, предназначенная для отражения света (или другого излучения). Наиболее известный пример — плоское зеркало. Коэффициент интегрального отражения прямого солнечного излучения рефлектором рассматриваемого типа очень высок и близок к коэффициенту отражения металлического слоя.

Проблема защиты металлической отражающей поверхности рефлекторов солнечного излучения может быть решена также путем применения способа тыльного напыления отражающего слоя. В таких рефлекторах излучения, в качестве прозрачного защитного покрытия металлического отражающего слоя используется высокопрозрачное листовое стекло толщиной 2-4 мм. Отражающий металлический слой путем напыления наносится на его тыльную сторону. Снизу металлический отражающий слой покрывается специальным составом для защиты от различных механических и атмосферных воздействий. Коэффициент отражения солнечного излучения рефлекторов рассматриваемого типа за счет поглощения солнечного излучения прозрачным покрытием несколько ниже, чем у рефлекторов с лицевым отражающим слоем.

Представляет интерес определение интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным металлическим отражающим слоем.

В статье приведены теоретические основы метода расчетного определения интегрального коэффициента отражения солнечного излучения плоского стеклянного рефлектора с тыльным отражающим слоем.

Приведена расчетная схема для определения интегрального коэффициента отражения плоского рефлектора рассматриваемого типа, учитывающая многократное отражение излучения границы раздела двух сред и на основе этой схемы приведено выражение для определения интегрального коэффициента отражения прямого солнечного излучения плоского рефлектора с тыльным отражающим слоем.

Литература

1. Дусяров А.С. Влияние глубины светопроема инсоляционной пассивной системы солнечного отопления на оптимальный угол наклона шарнирно трансформируемого рефлектора. /Материалы международной конференции, посвященной 90-летию академика С.А. Азимова. 18-19ноября 2004 г. –Ташкент, -С. 145-147.
2. Алимов А.К., Гунер Е.А. Защита прозрачными лаками наружной стороны зеркальных фацет // Гелиотехника, 1986. –№3. –С.47-49.
3. Газиев У.Х., Саттарова З.С., Дыскин В.Г. Зеркала для гелиотехники и оптического приборостроения // Гелиотехника, 1997. –№2. –С.57-61.
4. Симон А. Потери энергии за счет поглощения и отражения в гелиостате и параболоидном отражателе солнечной печи. / В кн.: Солнечные высокотемпературные печи. Сб. перев. под ред. В.А.Баума. –М.: 1960. –С.264-271.

*Представлено Каршинским
инженерно-экономическим институтом*

УДК 620.92: 620.97

**АВТОМАТЛАШТИРИЛГАН КҮЁШ КУЗАТУВ ТИЗИМИДАН
ФОЙДАЛАНИШ ФОТОЭЛЕКТРИК ҚУРИЛМАНИНГ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

О.Х. Полвонов, Х.З. Сиддиқов, Р.А. Ситдиқов

Фотоэлектрик қуёш панеллари қуёш ҳолатини назорат қилишнинг автоматлаштирилган тизими ёрдамида 0,5 квт қувватга эга автоном фотоэлектрик станциянинг самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган. Қуёш батареясининг максимал қувватини қуёш ҳолатига қараб аниқлаш функциясини амалга ошириш учун мўлжалланган автоном фотоэлектрик модулнинг функционал назорат схемаси таҳлил қилинган.

Представлены результаты исследования по повышению эффективности автономной фотоэлектрической станции мощностью 0,5 кВт при использовании разработанной автоматизированной системы регулирования положения фотоэлектрических панелей относительно солнца. Сделан анализ и представлена функциональная схема управления автономным фотоэлектрическим модулем, разработанная для реализации функции определения максимальной мощности солнечной батареи в зависимости от положения солнца.

The results of designing a sketch of an autonomous photovoltaic station with extreme power regulation of solar panels and automatic monitoring of photovoltaic panels for solar energy with a capacity of 0.5 kW are presented. The functional diagram of the autonomous photovoltaic module was developed with the implementation of the solar battery power control function.

Қуёш энергиясининг асосий турларига фотоэлектрик элемент (фотон энергиясини электр энергиясига айлантириш); иссиқлик энергетикаси (қуёш томонидан иситиладиган элементлардан иссиқликни айлантириш); термоэнергия (қуёш томонидан иситиладиган сиртдан чиқарилган сув буғининг энергиясидан фойдаланиш); аэроэнергия (қуёш энергиясини ҳаво оқимлари энергиясига айлантириш).

Қуёш фотоэлектр станциясининг самарадорлиги қуёш элементи материалига ва унинг конструкциясига боғлиқ. Фотоэлектрик ўзгартиргичларнинг самарадорлигини пасайишининг асосий сабаблари уларнинг сиртига чанг тушиши ва кундузи нурланиш таъсирида материалнинг қизиши ҳисобланади. Натижада, ҳароратнинг кўтарилиши ишлаб чиқарилган электр энергиясини камайтиради.

Автоном фотоэлектрик электр станцияларини такомиллаштириш, биринчи навбатда, жорий манбалар - қуёш ва аккумулятор батареяларининг (ҚБ, АБ) техник хусусиятларини яхшилашга боғлиқ. Бироқ, ҳатто энг замонавий энергия манбалари бўлса ҳам, умуман электр станцияси ўз имкониятларидан

норационал фойдаланиш туфайли қониқарсиз энергия хусусиятларига эга бўлиши мумкин [1].

Энергия манбаларидан узоқ муддатли фойдаланиш жараёнида фойдаланиш самарадорлиги кўп жиҳатдан танланган структуравий схемага, лойиҳалаш ва энергия манбаларини бошқаришнинг қабул қилинган усулларига боғлиқ. Ҳозирги вақтда энергия тизимлари ва қурилмаларининг структуравий диаграммалари унинг қувватини тартибга солиш режимини амалга оширмасдан кенг қўлланилади [2].

Қуйидаги асосий усуллар билан энергия самарадорлиги коэффициентини камида 30-50% га ошириш мумкин:

- бутун хизмат муддати давомида қуёш батареясининг вольт-ампер характеристикасининг оптимал иш нуқтасида қувват олиш режимини амалга ошириш (қуёш батареяси қувватини экстремал тартибга солиш режимини амалга ошириш);

- қуёш учун фотоэлектрик панелларни узлуксиз автоматик қузатиш режимини амалга ошириш;

- қуёш батареяларини минимал кизишига эришиш учун қуёш батареяси конструкциясини оптималлаштириш.

Автоном электр станцияларининг қуёш панеллари сезиларли даражада ўзгарувчан иш шароитида қўлланилади. Улар атроф-муҳит таъсирига жуда сезгир. Уларнинг жорий кучланиш характеристикалари (ВАХ) чизикли бўлмаган ва беқарор. Вольт-ватт характеристикалари (ВВХ) ишлаб чиқарилган қувватнинг аниқ максималига эга, уларнинг ҳолати иш шароитларига (ресурс, ҳарорат, ёруғлик) қараб сезиларли даражада ўзгаради. Ишлаш ҳарорати $+70^{\circ}\text{C}$ дан -30°C гача ўзгарганда, кремнийли қуёш батареясининг оптимал иш нуқтасининг кучланиши тахминан 1,5 баравар ошади (фотоэлемент кучланиши 0,5-0,75 В оралиғида ўзгаради) [3]. Қуёш батареясининг токи ҳароратга боғлиқ хисобланади.

Назарий таҳлил шуни кўрсатадики, ҚБ ва АБ параллел уланган тизимлар билан таққослаганда (ҚБ нинг иш кучланиши АБ кучланишига тенг), чуқур зарядсизланган АБ билан ҚБ нинг қувватни бошқариш режимини амалга оширишнинг энергия самарадорлиги 40% га етиши мумкин [3-5].

Қуёш учун фотоэлектрик панелларни узлуксиз автоматик қузатиш режимини амалга оширишнинг таъсири ҳам сезиларли. Қуёшни автоматик қузатиш тизимларининг энергия самарадорлигини дастлабки таҳлиладан кўриниб турибдики, фотоэлектрик панелларнинг горизонтал жойлашишига нисбатан самарадорлик:

- қуёш батареясини жойлашувнинг кенглигига тенг бурчак остида очишда - 20%;

- қуёшни бир ўқли қузатиш тизимидан фойдаланганда - 42%;

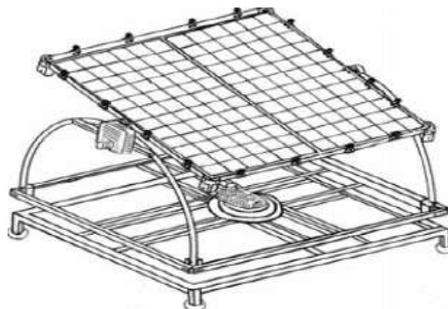
- қуёшни икки ўқли қузатиш тизимидан фойдаланганда - 51%.

Автоном фотоэлектр станцияларининг турли жойларида қуёш энергиясини қузатиш тизимларидан фойдаланиш ҳисобига энергия самарадорлигини ошириш ўртача ҳисобда бир ўқли тизимлар учун 31 фоизга, икки ўқли тизимлар учун 46 %фоизга ошади [3].

Ҳар қандай конструкциянинг бошқариш регулятори (аналог рақамли, рақамли, микропроцессор) бошқарув ускунасининг массасини деярли

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

оширмайди, унчалик катта бўлмаган қувват сарфига эга ва қуёш батареясида фойдаланиш самарадорлигини сезиларли даражада орттиради[1,4,5]. 1-расмда фотоэлектрик панелларнинг вертикал ва горизонтал айланиш механик тизимининг (азимут ва баландликда) эскизи кўрсатилган. Асосий конструкция деталлари: иккита фотоэлектрик модулли КСМ-160 ёки КСМ-180 билан рамка; ҳаракатланувчи рамка; қаттиқ рамка; баландликнинг бурилиш редуктори; азимут айланиш редуктори; ШД-5Д типигаги ккита кадам двигатели; иккита қуёш ҳолати сенсори.



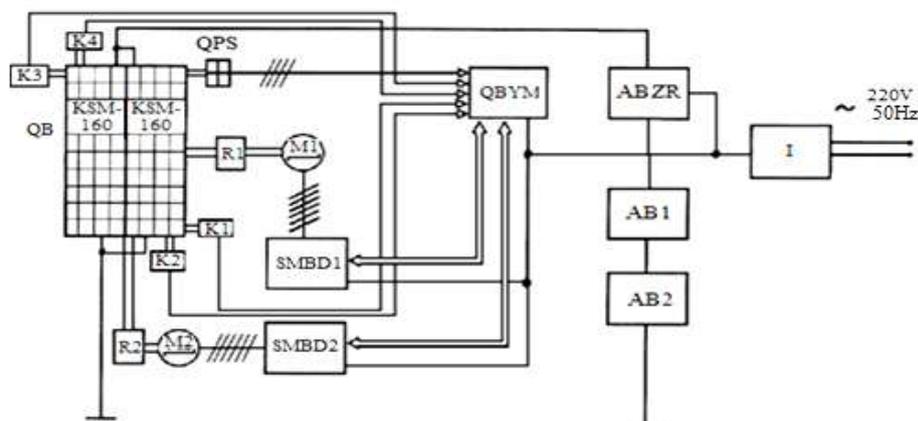
1-расм. Фотоэлектрик панелларнинг вертикал ва горизонтал айланиш механик тизимининг эскизи

Фотоэлектрик қурилманинг кўзгалмас рамкаси тўрт бурчакли пўлатдан пайвандланган рамкадан ва тўртта бурчак таянчига эга бўлган шаклли қувурли элементлардан ва айланадиган вал ўрнатилган битта марказий таянчдан иборат. Валнинг айланиши ШД-5Д поғонали двигател томонидан тишли узатма ва поғонали узатма орқали таъминланади. Сферик элементни марказий таянч сифатида ишлатиш туфайли валнинг айланиши таъминланган рамкага ўрнатилган пастки таянч блоки, шунингдек, суриш ва бурчакли алоқа подшипниклари бу алоқада энг кам ишқаланишни таъминлашга имкон беради [6].

Қурилманинг ҳаракатланувчи рамкаси пўлатдан пайвандланган рамкадан иборат бўлиб, унга кўзгалувчан тишли узатма бириктирилган бўлиб, у ҳам вертикал ўқ атрофида ўрнатишнинг айланишини таъминлаш учун пастки таянч блокларнинг марказий валига калитли уланиш орқали уланади. Худди шу рамкада иккита ёй ўрнатилган бўлиб, уларнинг устига КСМ-160 модуллари билан рамканинг айланиш ўқи баландликда айланишни таъминлаш учун ШД-5Д кадам двигателли муфта ва тишли узатма қутиси орқали ўрнатилади.

Фотоэлектрик ўрнатишнинг айланишини таъминлайдиган қувват механизмлари сифатида 1:250 гача бўлган тишли нисбати бўлган тишли узатма қутилари қўлланилади, бу эса 0,1 Нм номинал юклама моменти эга бўлган кадам моторларидан фойдаланишга имкон беради.

Лойиҳалаштирилган автоном фотоэлектрик электр станциясининг структуравий ва функционал диаграммаси 2-расмда кўрсатилган.



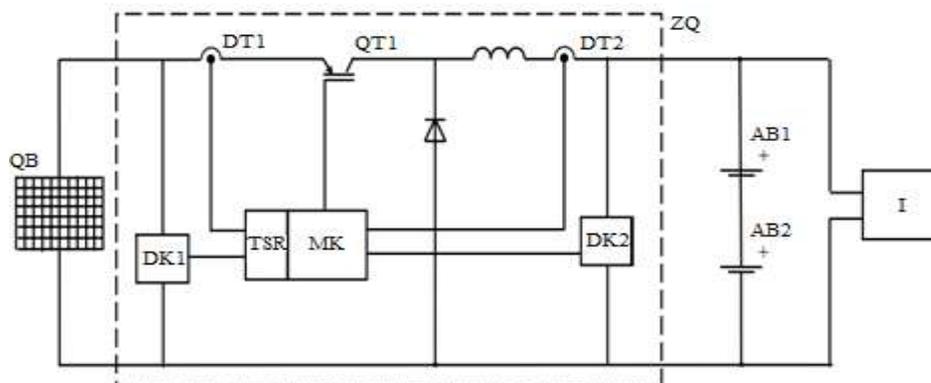
2-расм. Автоном фотоэлектр станциянинг структуравий ва функционал схемаси:

СБ - қуёш батареяси; АБЗР - аккумулятор батареясининг зарядсизланишини регулятори; И - инвертер; АБ1, АБ2 - қайта зарядланувчи батареялар; М1, М2 - қадамли моторлар; Р1, Р2 - редукторлар; СБД1, СБД2 - степ моторини бошқариш драйверлари; ҚХС - Қуёш ҳолати sensori; ҚЙБМ - қуёш йўналишини бошқариш мосламаси; К1-К4 - чегара калитлари

Қуёшнинг ҳолатини аниқлашнинг иккита sensori, Қуёшга ишора қилиш учун бошқарувчи, витес қутилари бўлган иккита степ мотори, степ моторларининг иккита қувват драйверлари ва тўрт учли калитлардан иборат бўлган автоматик қадамни назорат қилиш тизими икки координатани таъминлайди. Қуёш батареясининг механик ҳаракати горизонтал - камида 180° даража, вертикал - камида 70° даражадан ошмаслиги керак.

Қуёш позицияси sensori, кузатув бошқарувчиси ва қадам двигатели драйверларидан фойдаланиш фотоэлектрик ўрнатишнинг айланиш ўқларига нисбатан ҳар бир ҳаракат айланиши учун 1-5 даражага дискрет айланишини таъминлайди, бу эса қуёшни кузатишда ҳаракатланиш учун энергия сарфини камайтириш имконини беради. Қадам моторлари ҳеч қандай ҳаракат бўлмаганда қувват истеъмол қилмайди. Ҳаракатланаётганда чайқалиш ва тебранишларни камайтириш учун бошқарувчи степ моторларини бошқариш учун жойлашишни аниқлаш режимдан фойдаланади, яъни. бир позициядан иккинчисига ўтишда тезлик ва тезланишда чегара мавжуд. Иккала текисликдаги критик бурилиш бурчакларининг чекланиши механик ўрнатишнинг қўзғалмас рамкасига ўрнатилган чегара калитлари ва қуёшни кўрсатувчи регулятор томонидан таъминланади.

Текшириш мосламаси (КЗРАБ) 3-расмда кўрсатилган кучланишни пасайтириш конверторига (ППН) асосланган зарядловчи схемасидан фойдаланади. Ўчириш минимал қувват йўқотилишини таъминлаш шартидан ҳисобланади. Натижада 50 Hz оптимал конверсия частотаси аниқланди ва паст канал қаршилигига эга бўлган ИРФПС3810 қувватли транзистори танланди.



3-расм. Қуёш батареясини қувватни бошқариш функциясини амалга ошириш билан АФЭМнинг функционал схемаси

Зарядлаш қурилмаси Аtмега128 микроконтроллери (МС) томонидан бошқарилади, у фойдаланувчи интерфейси функцияларини қувват транзисторида (VT1) бошқарув ҳаракатини шакллантириш билан бирлаштиради. Иккита иш режими мавжуд, биринчиси, қўлда режим, ҚБнинг кучланиш стабилизацияси режими бўлиб, унда сиз ҚБ нинг I- V характеристикаси бўйича керакли иш нуқтасини ўрнатишингиз мумкин. Иккинчи, автоматик режим – ҚБ ТCR, бу режимда максимал чиқиш қувватига эга I - V характерли иш нуқтаси кидирилади [7-8].

Зарядловчини (зарядловчини) ёқишдан олдин ДК1 ва ДК2 кучланиш датчиклари сўралади, фақат ҚБ нинг очиқ туташув кучланиши АБ кучланишидан ошиб кетганда, зарядловчи ишга туширилади. Ёқишнинг яна бир шарти батареянинг тўлиқ бўлмаган зарядидир, бу батарея кучланиши билан белгиланади, бу максимал қийматдан ошмаслиги керак.

Ўтказилган баҳолаш ва ўлчовларга асосланиб, қуёш электр станциялари таркибида қуёш панели йўналишини амалга оширадиган ротацион йўналтирувчи тизимлардан фойдаланиш электр энергиясини ишлаб чиқаришни сезиларли даражада кўпайтиради. Қуёш фотоэлектр станцияларида (ҚФС) қуёш массивларини йўналтириш тизимларидан (гелиотракерлар) фойдаланиш назарий таҳлиллар асосида ўрганилганда стационар тизимларга қараганда 35-40%гача электр самарадорликка эришиш мумкин. Ушбу тизимни Ўзбекистон шароитида қўллаш натижасида мамлакатимиздаги қуёш электр станцияларни энергия самарадорлигини ошириш мумкин бўлади.

Адабиёт

1. Ситдиқов Р.А., Полвонов О.Х., Сиддиқов Х.З. Қуёш панелларининг йўналтириш тизимларидан фойдаланган ҳолда фотоэлектр станцияларининг самарадорлигини ошириш. /Муқобил ва қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиш тенденциялари: муаммолар ва ечимлар. 17-18 Май. 2021 йил.
2. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. – Ташкент: Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. 2021. -952 с.

3. Шиняков Ю.А. Экстремальное регулирование мощности солнечных батарей автоматических космических аппаратов / Ю.А. Шиняков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2007. – Вып. 1 (12). – С. 123–128. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/ru/pv/tcm.htm>, свободный (дата обращения: 22.09.2010).

4. Шиняков Ю.А. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, О.Е. Аркатова // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2010. -№ 2(22), ч.2. – С. 102–107.

5. Исследование эффективности схем энергоснабжения автономных потребителей в Африке на основе солнечной фотоэлектрической станции и электрохимических накопителей энергии [Электронный ресурс]. URL:http://mpei.ru/Science/Dissertations/dissertations/Dissertations/Kpau_Zondje_Rai_mond_diss.pdf.

6. Ситдиқов Р.А., Полвонов О.Х. Автоном фотоэлектрик станциялар учун аккумулятор батареялари ва уларнинг ишлаш хусусиятлари / Техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни: Республика илмий-амалий анжуман. Тошкент-2021.

7. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология. 2015. – № (8-9). – С. 12-18.

8. Дайв С. Методология оптимизации размера автономной комбинированной фотоэлектрической ветровой системы / С. Дайв, М. Белхамел, М. Хадиди, А. Лучар // Энергетическая политика, 2007. -№ 35. — С. 5708–5718.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 620.9:662.9

**ИНВЕСТИЦИИ ВСЕМИРНОГО БАНКА И ЕВРОСОЮЗА В
РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ ВОДОПОДЪЁМА
В УЗБЕКИСТАНЕ**

**А.М. Мирзабаев, Б.Б. Камалов, О.Р. Сытдыков, Ш.Ж. Махамадаминов,
О.Г. Бурунов**

Мақолада Жаҳон банки ва Европа Иттифоқи инвестицияларининг Ўзбекистонда қуёш технологияларини ривожлантиришидаги ўрни ўрганилган. Ўзбекистонда мавжуд қуёш сув кўтариш тизимларининг қисқача шарҳи, жорий этилиши чуқур насосларнинг электр таъминоти ишончлилиги ва самарадорлигини ошириш имконини беради. Жаҳон банкининг пилот лойиҳаларида амалга оширилган электр таъминоти тизимларида фойдаланиш схемалари ва мисоллари келтирилган

В статье рассматривается роль инвестиций Всемирного банка и Евросоюза в развитие солнечных технологий в Узбекистане. Проведен краткий обзор существующих солнечных систем водоподъема в Узбекистане, внедрение которых позволяет повысить надежность и эффективность электроснабжения глубоких насосов. Приводятся схемы и примеры их использования в системах электроснабжения, внедренные в пилотных проектах Всемирного банка

The article examines the role of investments of the World Bank and the European Union in the development of solar technologies in Uzbekistan. A brief overview of the existing solar water lifting systems in Uzbekistan, the introduction of which makes it possible to increase the reliability and efficiency of the power supply of deep pumps, is carried out. Schemes and examples of their use in power supply systems implemented in pilot projects of the World Bank are given

В современном мире энергетика на основе возобновляемых источников развивается стремительными темпами из-за множества причин: ограниченность традиционных топливных ресурсов, требования экологии, потребительский спрос и т.д. [1-4]. Факторами, определяющими развитие возобновляемых энергетических технологий, являются: прогнозирование потребления электроэнергии; низкоуглеродная топливная энергетика; загрязнение окружающей среды, наличие квалифицированных специалистов и другие.

Наиболее весомым фактором для развития солнечной энергетики в Узбекистане является привлечение прямых иностранных инвестиций. В стратегии развития до 2030 года предусмотрен ввод в эксплуатацию крупных солнечных и ветровых электростанций суммарной мощностью свыше 8 ГВт [5-7]. В этом году уже построена и запущена ФЭС мощностью 100 МВт в Навоийской области.

На развитие фотоэнергетики средней и малой мощности привлекаются также иностранные инвестиции: за счёт грантовых средств UNDP и GIZ в 2021 году построено свыше 500 солнечных электростанций.

В соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 16 сентября 2017 года № ПП-3282 реализуется проект «Управление водными ресурсами в Ферганской долине. Фаза 2» с участием Всемирного банка. Цель проекта - обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства на орошаемых землях, повышение эффективности использования водных и земельных ресурсов в Ферганской долине.

Международные Конкурсные торги на установку 10 комплектов фотоэлектрических станций (ФЭС) для электроснабжения глубинных насосов и солнечных систем очистки воды (СОВ) выиграли 3 компании из Узбекистана - ООО “Solar design”, ООО “Solar Nature”, ЧП “All solar” (табл.1).

Для электроснабжения глубинных насосов применена безаккумуляторная схема водоподъема (рис.1). Выбор этой схемы объясняется относительной дороговизной и небольшим сроком службы аккумуляторных батарей в условиях Центральной Азии. Как известно, срок службы фотоэлектрических модулей не менее 25 лет, насосных инверторов – не менее 10 лет, а аккумуляторов - не более 3 года.

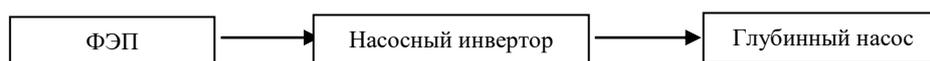


Рис.1. Безаккумуляторная схема водоподъема с использованием фотоэлектрических панелей (ФЭП)

Основным элементом этой системы (рис.1) является инвертор для привода насосов с асинхронными двигателями. Преимуществом такой схемы является относительная простота, дешевизна и долговечность установки, а недостатком - возможность её использования только для нужд водоснабжения, а непрерывность водоснабжения обеспечивается аккумулярованием воды.

При этом используются обычные виды оборудования, в том числе типовые насосные инверторы (табл.2).

С учетом круглосуточного режима работы солнечных систем очистки для электроснабжения их насосов установлена отдельно GRID OFF система мощностью 4 кВт в комплекте с гелевыми аккумуляторами.

Необходимо отметить, что при выборе схемы и комплектации ФЭС учтены рекомендации ученых Международного института солнечной энергии, Ташкентского государственного технического университета и ТИИМСХ [8,9].

Установленные за счёт иностранных инвестиций 10 солнечных систем водоподъема и очистки воды являются пилотными и служат для пропаганды современных водосберегающих и энергосберегающих технологий. На их базе будут организованы полевые школы фермеров для обучения специалистов фермерских и дехканских хозяйств последним достижениям в сфере сельского хозяйства.

Конец 20-го и начало 21-го века ознаменовано технологическими инновациями, крупными инвестициями и значительным сокращением себестоимости оборудования в области солнечной энергетики. Неисчерпаемость, общедоступность и экологичность являются неоспоримыми преимуществами возобновляемых источников энергии. 21-й век можно назвать веком солнечной энергетики,

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

на сегодняшний день ВИЭ уже конкурентоспособны по сравнению с традиционной энергетикой.

Таблица 1

Пилотные солнечные системы водоподъема, построенные в счет инвестиций Всемирного банка и Евросоюза

№	Дислокация ФЭС	Перечень услуг	Глубина колодца, м	Мощность насоса, кВт	Мощность ФЭС, кВт	Исполнитель
1	Хакикат КФЙ. Сад мелиораторов. Скважина № 409. Янгикурганский туман	Установка ФЭС и СОВ	90	32	50	ООО "Solar design"
2	Узак МФЙ. Создаваемый сад 180 Га на богарных землях.	Бурение скважин.	180	22	35	ЧП "All solar"
3		Установка насоса и ФЭС	180	22	35	ЧП All solar"
4	Чартак. Территория Богистон-Кумробот. Скважины №401 и №202. УНС.	Установка ФЭС и СОВ	100	2*11	50	ООО "Solar design"
5	Ферганский туман Ок билол КФЙ 210/1	Установка ФЭС	130	32	50	ООО "Solar design"
6	Ферганский туман. Ок билол КФЙ. Скважина №713	Установка ФЭС и СОВ	100	32	50	ООО "Solar design"
7	Кувасай. Суфон КФЙ. МТП «Бехизор» Ферганский вилоят, г. Кувасай	Установка ФЭС и СОВ	85	32	50	ООО "Solar design"
8	Кургантепинский туман. Массив Шарафа Рашидова. Ёртибош МФЙ. Скважина № 01-13-08.	Установка ФЭС с заменой насоса и СОВ	70	26	40	ООО "Solar Nature"
9	Кургантепа. Ёртибош МФЙ. Кургантепинский туман. УНС Скважина №01-13-07.	Установка ФЭС	83	32	50	ООО "Solar Nature"
10	Булокбоши туман. Жураповон МФЙ. Мелиоративная скважина 01-05-55	Установка ФЭС и СОВ	100	32	50	ЧП "All solar"
11	Хожаабадский туман. Хожаабод Мангит ФХ. Массив Узбекистан. Чимбулок МФЙ. Мелиоративная скважина 01-11-2МК.	Установка ФЭС и СОВ	50	22	35	ООО "Solar Nature"

Таблица 2

Основные параметры широко используемых насосных инверторов

Вид насосного инвертора	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, кВт		Рекомендуемое напряжение от ФЭП, В	
		P _{min}	P _{max}	U _{min}	U _{max}
Однофазный	220	0,5	5	290	500
Трехфазный	380	3,0	75	500	900

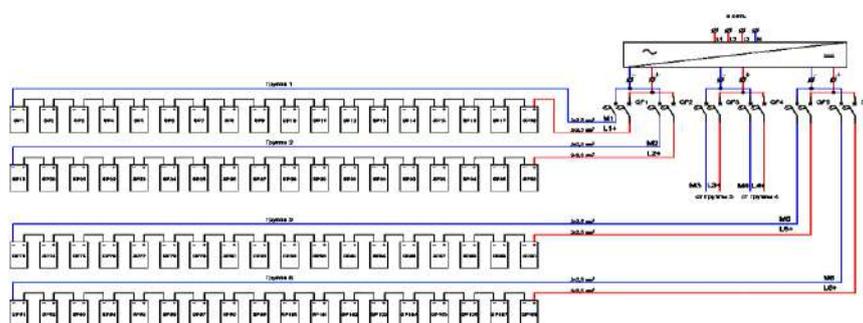


Рис.2. Схема ФЭС мощностью 50 кВт, установленная в Янгикурганском тумане Наманганской области



Рис.3. Монтаж ФЭС мощностью 50 кВт для системы водоподъема в Янгикурганском тумане Наманганской области, село Хакикат

На сегодняшний день ФЭС в промышленных масштабах активно используется более чем в 75 странах мира. За последние пять лет суммарная установленная мощность солнечной энергетики в мире увеличилась почти в шесть раз, и к началу 2021 года превышает величину 650 ГВт [2-4,8,9].

Климатические и природные условия Республики Узбекистан, а также наличие высококвалифицированных научных и инженерно-технических кадров предоставляют широкие возможности для использования солнечной энергии. Общий потенциал солнечной энергии составляет 50973 млн. т.н.э., а его технический потенциал равен 177 млн. т.н.э. Число солнечных дней по республике в среднем составляет 250-270, продолжительность солнечного сияния составляет 2850-3050 часов в году [2,5,8,9].

Расчеты показывают, что срок окупаемости этой ФЭС с учетом льгот, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», составляет менее 6 лет, при сроке их эксплуатации не менее 25 лет [6,7].

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

В заключение можно отметить, что одним из наиболее необходимых и перспективных направлений возобновляемой энергетики Узбекистана, является развитие солнечных систем водоподъема. Использование в этой сфере иностранных инвестиций позволит существенно ускорить внедрение инновационных систем электроснабжения и водосбережения.

Литература

1. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии», № ЗРУ-628, 14 июля 2020 г.
2. Аллаев К. Современная энергетика и перспективы ее развития. -Ташкент. 2021. -952 с.
3. Обзор сектора возобновляемой энергетики Республики Узбекистан. (<http://matveev-igor.ru/articles/409836.31.10.2018>).
4. Отчеты ПРООН: 1. «Перспективы развития возобновляемой энергетики в Узбекистане». -Т., 2007. 2. «Альтернативные источники энергии: возможности использования в Узбекистане». -Т., 2011.
5. Развитие ВИЭ в Узбекистане – обзор. (<http://eenergy.media/2020/03/15/razvitie-vie-uzbekistane-obzor/15.03.2020>).
6. Постановление Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».
7. Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении стратегии инновационного развития республики на 2019-2021 годы», УП-5544 от 21.09.2018.
8. Mirzabaev A., Sytdykov O., Makhkamov T., Verchenko P., Mirzabekov Sh. Photovoltaik plants far water lift systems/ Applied Solar Energy, 2018, Vol.54, No5, Allerton Press, Inc. United States, pp.54-57.
9. Mirzabaev A., Isakov O., Sytdykov O, Makhkamov T., Kodirov D. Innovative methods of developing solar power systems for remote and agricultural facilities in Uzbekistan /IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 614, 1st International Conference on Energetic, Civil and Agricultural Engineering 14-16 October 2020, Tashkent, Uzbekistan. 2020.

*Представлено Ташкентским институтом
ирригации и механизации сельского хозяйства,
Центром реализации зарубежных инвестиционных
проектов в водном хозяйстве Узбекистана
и ООО «MIR Solar», Ташкент*

УДК 620.92; 620.97

**ОЛИС ВА ҚИШЛОҚ ҲУДУДИ ИСТЕЪМОЛЧИЛАРИ УЧУН КИЧИК
ҚУВВАТЛИ КОМБИНАЦИЯЛАШГАН ҚУЁШ – ШАМОЛ АВТОНОМ
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯ****О.Х. Полвонов, А. Абдулазиз уулу, Р.А. Ситдиков**

Ушбу мақолада қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари учун комбинациялашган автоном электростанцияни ишлаб чиқиш, гибрид тизимларда бўладиган жараёнларни ўрганиш ва таҳлил қилиш, уларни асосий афзалликлари ва камчиликларини аниқлаш ишлари олиб борилган. Мақолада қишлоқ хўжалиги истеъмолчиларини ўртача кунлик электр энергия сарфи аниқланган ва суткалик юклама графиги қурилган. Халқаро Global Solar Atlas ҳамда Global Wind Atlas интернет сайтлари орқали Фарғона вилоятининг ойлик ўртача қуёш радиацияси ва шамол тезликлари маълумотлари олинди. Ушбу маълумотлар асосида йиллик шамол тезлиги ва қуёш радиацияси миқдор графиклари қурилди. Комбинацион қуёш-шамол электр станциясининг асосий параметрлари ўрганилган. Қуёш модули, шамол турбинаси ва аккумулятор батареяларини алоҳида хусусиятлари ҳақида маълумот берилган ҳамда уларнинг самарадорлигини ошириш бўйича тавсиялар берилган.

В статье описываются разработка комбинированной автономной электростанции для сельскохозяйственных потребителей, а также исследование и анализ процессов, протекающих в гибридных системах; их основных достоинствах и недостатках. Данные о среднемесячных величинах солнечной инсоляции и скорости ветра в Ферганской области получены через международные сайты Global Solar Atlas и Global Wind Atlas. На основе этих данных построены графики годовой скорости ветра и интенсивности солнечной инсоляции. Изучены основные параметры комбинированной солнечно-ветровой электростанции. Приведена информация об особенностях солнечного модуля, ветровой турбины и аккумуляторных батарей, а также даны рекомендации по повышению их эффективности.

The article describes the development of a combined autonomous power plant for agricultural consumers, research and analysis of the processes taking place in hybrid systems, their main advantages and disadvantages. Data on average monthly solar radiation and wind speed in Fergana region were obtained through the international sites Global Solar Atlas and Global Wind Atlas. On the basis of these data, graphs of the annual wind speed and the amount of solar radiation were constructed. The main parameters of the combined solar-wind power plant have been studied. Information is provided on the features of the solar module, wind turbine and storage batteries, as well as recommendations for improving their efficiency.

Кириш. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги ПҚ – 4422 - сонли қарорининг 1-сонли иловасида 2030 йилда қайта

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

тикланувчи энергия манбаларининг улушини 25% га етказиш кўрсатиб ўтилган. Ҳозирги кунда ушбу кўрсаткич 14 – 15 % ни ташкил этади.

Электр тармоқларидан узоқда жойлашган автоном электр энергияси истеъмолчиларини сифатли ва ишончли энергия билан таъминлаш бугунги кунда ҳам муаммолигича қолмоқда. Олис ҳудудларда жойлашган истемольчиларни электр тармоқлари орқали таъминлаш иқтисодий жиҳатдан самара бермайди, шу сабабли бундай турдаги истемольчиларни таъминлашнинг муқобил вариантларини танлаш мақсадга мувофиқ. Бу эса республикамизда юқори ресурсларга эга бўлган қайта тикланувчи муқобил энергия манбаларининг инновацион технологияларини ишлаб чиқишни тақозо этади.

Асосий қисм. Ўзбекистоннинг қайта тикланувчи энергия манбалари бўйича умумий салоҳияти 117,984 млн. н.э.т., техник салоҳияти 179,3 млн. н.э.т. ташкил этади [1].

Қишлоқ хўжалиги истеъмолчиларини электр энергия билан таъминлашда авваламбор бир хўжаликнинг йил давомида электр энергияси сарфини билиш керак. Ёзда электр энергияси истеъмоли қишдан фарқ қилади. Керакли электр энергияси ўртача юкламаларга ва ўртача иш вақтига қараб ҳисоблаб чиқилган (1-жадвал).

Қайта тикланадиган энергия манбаларининг ягона манбалари тармоққа уланган ёки мустақил равишда лойиҳалаштирилиши мумкин, аммо ушбу тизимларнинг ишончилиги ва самарадорлиги пастрок. Шу сабабли, гибрид қайта тикланувчан энергия тизими (ГҚТЭТ) бу муаммони қисман ҳал қилиши мумкин.

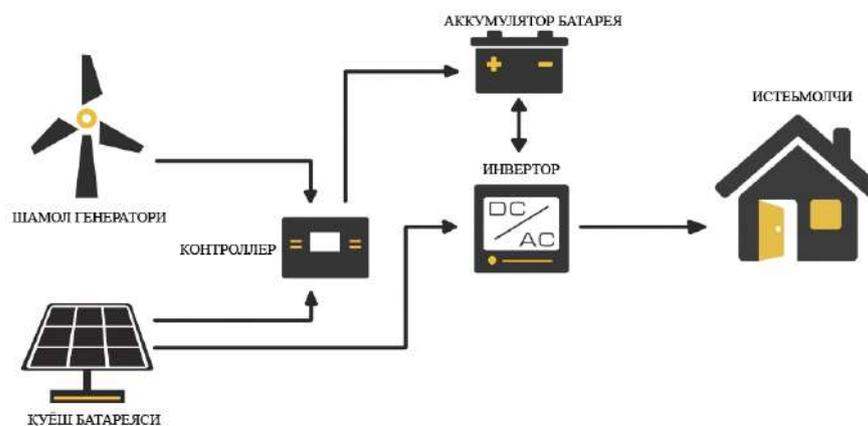
1-жадвал

Қишлоқ уйининг кунлик қувват сарфи

Истемолчи	Қуввати, Вт	Ишлаш давомийлиги (ўртача), соат	Истемол қилинган энергия, Вт*соат/кун
Ёритгичлар (4*15 Вт)	60	5	300
Телевизор	100	3	300
Музлатгич	500	6	3000
Электр чойнак	1500	1	1500
Сув насоси	500	2	1000
Жами	3430		6100

ГҚТЭТ афзалликлари, айниқса, йил давомида ишлатилганда сезилади. Шу билан бирга, қишда электр энергиясининг асосий ишлаб чиқарилиши шамол электр станциясига, ёзда эса қуёш фотоволтик модулларига тўғри келади.

1-жадвалда келтирилган юкламаларга мувофиқ электр таъминотини таъминлаш учун қуввати 1 кВт бўлган фотоэлектр қурилмаси ва шамол турбинасидан ташкил топган 2 кВт қувватга эга ГҚТЭТ дан фойдаланиш тавсия этилди (1 -расм).

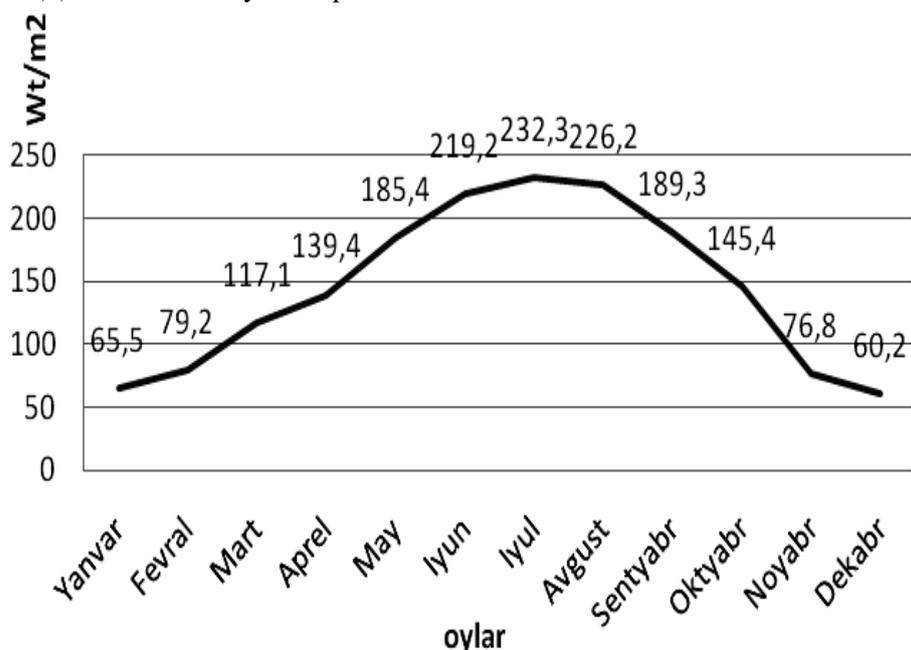


1-расм. Комбинацияланган куёш-шамол электр станцияси

Республикамизда, хусусан, Фарғона вилояти тоғ олди худудида шамол ва куёшнинг техник имконияти электр энергия олиш учун етарли даражада мавжудлигини кўрсатди. Илмий тадқиқотнинг асосий мақсади, олис худудларни қайта тикланувчи энергия манбалари ёрдамида электр энергия билан таъмилаш ва самарали фойдаланишни кўзда тутди.

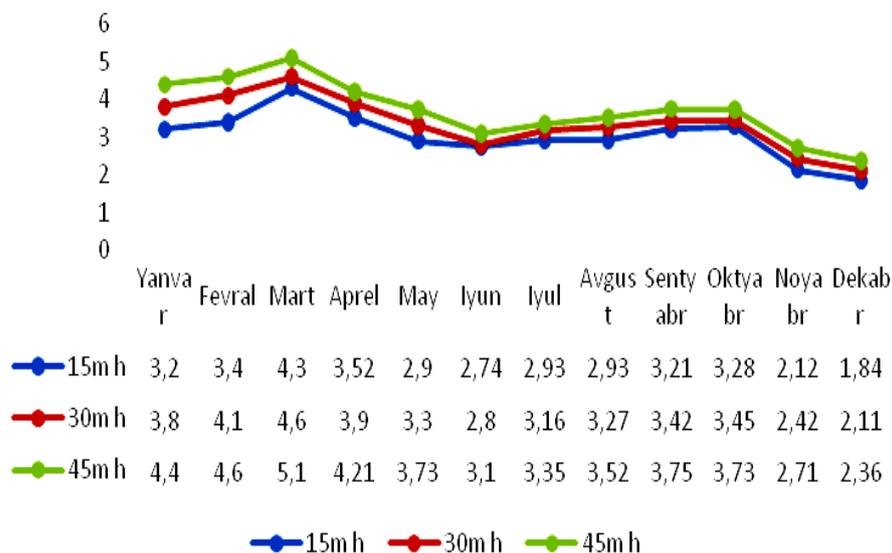
Тадқиқотлар натижасида Фарғона вилоятининг йиллик ўртача куёш радиацияси ва шамол тезликлари маълумотлари олинди.

Дастлабки маълумотлар:



2-расм. Фарғона вилоятида ўртача йиллик куёш радиацияси миқдори

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



3-расм. Фарғона вилоятида ўртача йиллик шамол тезликлари миқдори

Олинган қийматларга мувофиқ, таклиф этилаётган ГҚТЭТ қуриш орқали олинishi мумкин бўлган электр энергия қувватини қуйидаги ифода орқали аниқлаймиз:

$$N_{\text{ГҚТЭТ}} = N_{\text{қ}} + N_{\text{ш}}$$

Одатда кўп ҳудудларда қуёш радиацияси, агар кучли шамол эсаётган бўлса паст бўлади ёки аксинча қуёш кучли нур сочганда шамол ҳам бўлмайди [3]. Шунинг учун, автоном объектни узлуксиз электр таъминоти билан таъминлаш, шамол турбинаси ва қуёш батареясининг зарур қувватини ва аккумулятор батареясининг қувватини камайтириш, станциянинг иш режимини яхшилаш учун кўп ҳолларда, гибрид шамол-қуёш электр станцияси ишлатилади.

Юқоридаги олинган маълумотлардан кўришиб турибдики Ўзбекистон шароитида қайта тикланадиган энергия манбаларидан энг мақбули бу фотоэлектрик модуллар ҳисобланади. Қуёшли бўлмаган ва сутканинг тунги қисмида шамол мавжуд бўлганда шамол турбинасидан фойдаланишимиз мумкин бўлади. Тўпланган энергияни аккумулятор батареяларида сақлаш орқали истеъмолчиларни узлуксиз экологик тоза электр энергия билан таъминлаш имкони бўлади. Энди ушбу тизимларни алоҳида хусусиятларини кўриб чиқамиз.

Қуёш панеллари. Қуёш электр станциялари турли хил фотоэлектрик элементлардан иборат. Бизга қуёш панеллари деб номланувчи қуёш электр станциялари хусусий уйимизни автоном электрлаштиришга эришадиган энг истикболли ускуналар тури сифатида тан олинishi керак. Улар махсус экологик тоза фотоэлектрик модуллар бўлиб, уларнинг ташқи томони махсус текстурали темперли ойнадан ҳимояланган, бу эса қуёш нури тушишини бир неча баробар оширади. Энг бардошли моделлар силикон монокристаллардан фойдаланадиган қурилмалардир. Уларнинг махсус хусусиятлари ўттиз йил давомида

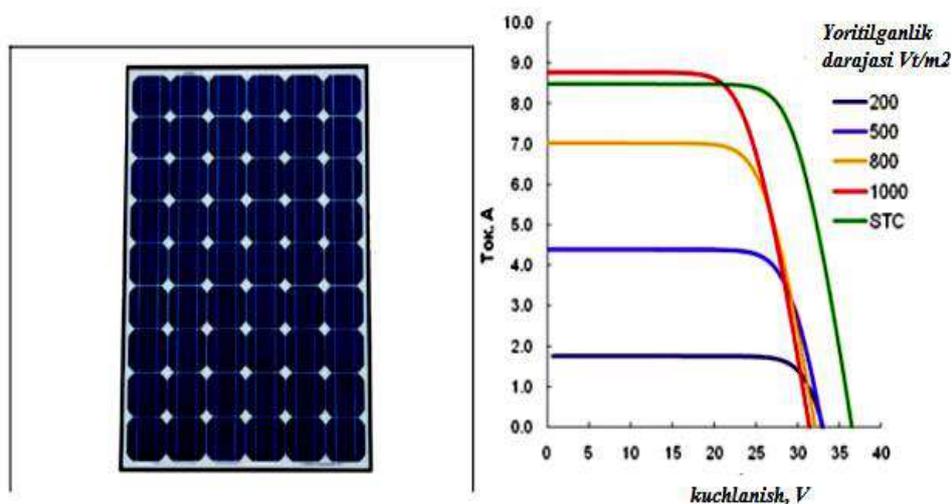
самарадорлик ва ишлаб чиқарилган энергия миқдорини бузмасдан ишлашга имкон беради.

3-жадвал

Қуёш модулининг хусусиятлари

Ўлчами	∅150 мм
Материал тури	Кремний - Si
Қисқа туташув токи, $I_{кт}, A$	4,5÷5,32
Салт ишлаш кучланиши, $U_{ХХ}, B$	0,57÷0,61
Максимал қувват токи, $I_{п}, A$	4,3÷5,1
Максимал қувват кучланиши, $U_{п}, B$	0,46÷0,50
Самарадорлиги, %	13÷16

Инверторнинг асосий камчилиги - бу батареяларнинг сифими ва қувват сарфи билан белгиланадиган чекланган иш вақти. Текшириш мосламаси - бу батареяларнинг муддатидан олдин зарядсизланишига ёки зарядсизланишига тўсқинлик қилади. Сақлаш қурилмалари ишлаб чиқарилган электр энергиясини сақлаш учун ишлатилади. Барча батареяларнинг асосий муаммоси - уларнинг кичик қуввати ва оғир юкламаларга мослаша олмаслиги.



4-расм. Қуёш модулининг кўриниши ва параметрлари [3]

Шамол турбиналари. Шамол турбиналари - ҳаво оқимлари билан ҳаракатланадиган перванел пичокларининг айланишидан электр энергияси ишлаб чиқарувчи генераторлар. Бундай генераторлар тўпламига электр энергиясини сақлаш учун батареялар ва инверторни ўрнатиш ҳам киради. Шамол турбинасининг кўриниши 5 - расмда кўрсатилган [4].



5-расм. Шамол турбинаси схемаси [7]

Шамол қайта тикланадиган ёки муқобил энергия манбалари деб аталади. Дунёдаги шамол энергиясининг умумий захиралари тахминан 170 трлн. кВт.соат ёки йилига 170 минг тераватт-соатни ташкил этади, бу ҳозирги жаҳон электр энергияси истеъмолидан саккиз баравар юқори. Муқобил энергия манбаларининг барча турлари орасида шамол энергияси куёш панеллари билан таққослаганда бир неча сабабларга кўра етакчи ўринни эгаллайди: битта шамол турбинасининг нархи куёш мосламасининг қувватидан 3 баравар паст баҳоланади; шамол кечаю кундуз, қишда ва ёзда, ёмғир ва қорда ҳам эсади [5-7]

Узунлиги 3 метрга яқин пичоқли 10-20 метр баландликдаги ҳар бир шамол тегирмони ўртача шамол билан тахминан 1-1,5 кВт.соат электр энергиясини ишлаб чиқариши мумкин. Шамол турбиналарининг аэродинамикаси ва уларнинг ўлчамига асосланиб, энг яқин шамол турбинасига масофа тахминан 50 метр бўлиши керак. Шундай қилиб, агар биз шамол турбиналарини берилган зичликка эга бўлган майдонга қўйсақ ҳам, ҳар квадрат километрга 380 га яқин шамол турбинасини оламиз. Бу ўртача 450 кВт.соат реал вақтда энергия ишлаб чиқариш. Яъни, 200 кишига яшаш учун етарли. Таққослаш учун, битта ўртача иссиқлик электр станцияси (ИЭС) ҳам тахминан 1 квадрат километрни эгаллайди ва 0,8-1,0 миллион киловатт соат электр энергияси ишлаб чиқаради, бу 1700 баробар кўп. Шу билан бирга, атроф - муҳитга етказилган зарар каттароқдир ва ИЭСларга ёқилғи керак [8-9].

Аккумулятор батареялари. Зарядланувчи батареялар автоном фотоэлектрик модел (АФЭМ)нинг ажралмас қисми бўлиб, электр энергияни сақлаш ва истеъмолчига қоронғуда қайтариш учун, шунингдек, куёш энергияси етишмаслиги (масалан, булутли об-ҳаво шароитида) учун ишлатилади. Фотоэлектрик қурилманинг ишлаш муддати аккумулятор батареяларининг қуввати билан белгиланади. Имкониятдан ташқари, АФЭМ батареяларининг энг муҳим параметрлари бу зарядлаш - разрядлаш даврларининг максимал сони ва ишлаш муддати [10-11].

Узоқ умрга эга бўлган қайта зарядланадиган батареяни танлаш

аккумулятор батареялари (АБ)нинг агрессив электрохимий табиати, уларнинг хусусиятларининг иш шароитларига, зарядлаш усулларига, параметрларни кузатиш усуллари ва батареяларни химоя қилишга боғлиқ ҳисобланади. АФЭМ аккумуляторларига қўйиладиган асосий талаблар:

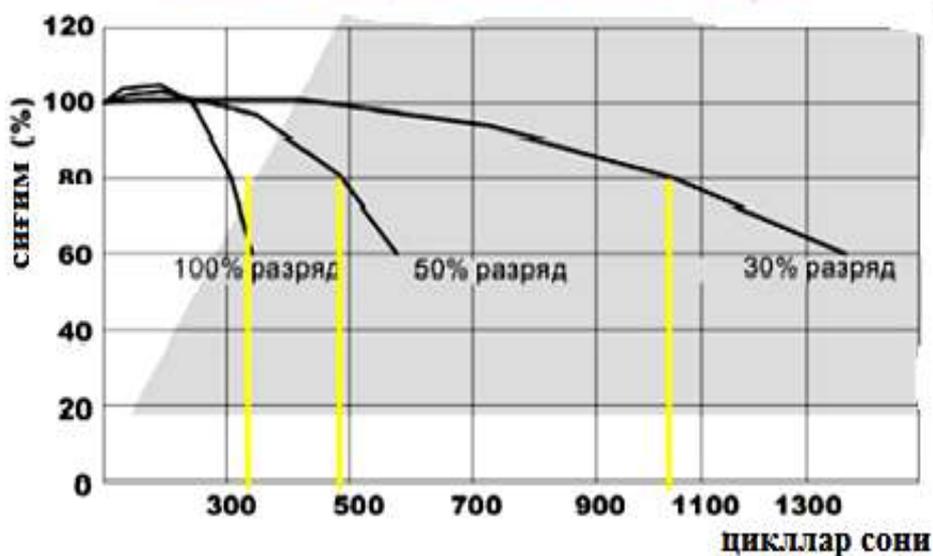
- куннинг қоронғи вақтида қайта зарядланувчи батареялардан электр таъминоти (батареянингқуввати билан белгиланади);
- энг қисқа вақт ичида зарядлаш вақти;
- кейинчалик қайта зарядлаш билан қисман тушириш имконияти;
- тизимнинг бутун ишлаш муддати давомида ишончилиги ва техник таъминотнинг етишмаслиги;
- махсус хонага ёки шамоллатиш тизимига эҳтиёж йўқ;
- вазн ва ўлчамлар (қоида тариқасида, муҳим эмас).

Ишлаш тартиби бўйича қайта зарядланувчи батареяларни шартли равишда гуруҳларга бўлиш мумкин :

- буфер режимда ишлаш учун (батареяни зарядлаш даврлари билан таққослаганда қисқа вақт);
- циклик режимда ишлаш (зарядлаш ва тушириш даврлари доимий равишда ўзгариб туради);
- стартер ҳар хил двигателларни ишга тушириш учун ишлатилади (бу режим юқори оқим билан қисқа муддатли тушириш билан тавсифланади).

Автоном фотоэлектрик модулда аккумулятор цикл режимда кун давомида тўлиқ бўлмаган заряд билан ишлайди ва кундузи (қуёшли) кун давомида буфер режимда ишлайди [12-15].

Циклик режимда хизмат қилиш муддати



6-расм. Қўрғошинли гелий батареясининг (Делта ГС12-180) зарядсизланишининг тўлиқ хизмат қилиш муддати [15]

Хулоса. Экологик тоза ва арзон бўлган қуёш ва шамол энергиясидан фойдаланиб электр энергия олувчи қурилмалар анъанавий энергия ишлаб чиқариш усуллари алмаштириши ёки тўлдириши мумкин. Иккинчидан қайта тикланадиган энергия манбалари, дизел генераторлари, электр сақлаш қурилмаларидан фойдаланиш технологияларини бирлаштирган комбинацияланган (гибрид) энергия тизимлари орқали амалга оширилади ҳамда қишлоқ ҳудуди аҳолисини узлуксиз сифатли электр энергия билан таъминлаш имкони яратилади.

Автоном электр таъминоти тизимларининг мавжуд ишланмалари ва ишлаб чиқарилган ускуналарнинг хусусиятлари таҳлили ушбу соҳадаги асосий ривожланиш тенденцияларини аниқлашга, илмий-тадқиқот ишларида энергия тежайдиган электр станцияларини амалда жорий этишнинг истиқболли йўналишини шакллантиришга имкон беради.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Ташкент:Фан ва технологиялар нашриёт матбаа уйи. 2021. -949 с.
2. Ситдиқов Р.А., Полвонов О.Х., Сиддиқов Х.З. Комбинацияланган фотоэлектрик иситиш тизимлари ва уларнинг самарадорлигини ошириш йўллари. / Илмий-амалий анжуман “Энергетика соҳасини ривожланти-ришда муқобил энергия манбаларининг роли”. Наманган-2021.
3. Ситдиқов Р.А., Полвонов О.Х. Ўзбекистон шароитида муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш орқали узок ва қишлоқ ҳудуди аҳолисини электр энергия билан таъминлаш муаммолари ва ечимлари. /“Электромеханиканинг ривожланиш йўналишлари ва тенденциялари”. Илмий-амалий анжуман. Фарғона-2021.
4. <https://globalsolaratlas.info/map?c=41.52503,64.56665,6&r=UZB>.
5. <https://globalwindatlas.info/map?c=41.52503,64.56665,6&r=UZB>.
6. Ахмед Т.А. Джайлани. Перспективы использования возобнов-ляемых источников энергии в сельском хозяйстве Египта. // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, 2009. — № 1. — С. 30–32.
7. HOMER analysis for micro power system software, NERL support, <https://analysis.nrel.gov/homer/default.asp>.
8. Ситдиқов Р.А., Полвонов О.Х. Автоном фотоэлектрик станциялар учун аккумулятор батареялари ва уларнинг ишлаш хусусиятлари. ”Техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” мавзусидаги республика илмий-амалий анжуман. Тошкент. 2021.
9. Дайв С. Методология оптимизации размера автономной комбинированной фотоэлектрической ветровой системы / С. Дайв, М. Белхамел, М. Хадида, А. Лучар // Энергетическая политика, 2007. —№ 35. — С. 5708–5718.
10. https://store.switchtech.uz/solar-mini-power-plants/?gclid=EAIaIQobChMI5KGE_rLg9AIVmRh7Ch1cJQEkEAAAYaAAEgKcR_D_BwE.
11. NASA Surface meteorology and Solar Energy —Available Tables, online archive, <http://eosweb.larc.nasa.gov>.

12. HOMER analysis for micro power system software, NERL support, <https://analysis.nrel.gov/homer/default.asp>.

13. U.S. Department of Energy — Energy Efficiency and Renewable Energy [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://apps1.eere.energy.gov/tribalenergy>.

14. Polvonov O.X. “Method of Calculating Power Capacity of Solar Power Plants” International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 7, Issue 8 , August 2020.

15. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная //Альтернативная энергетика и экология – 2015. – № (8-9). –С. 12-18.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК: 661.665.1

ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИ АСОСИДА ЮҚОРИ ҲАРОРАТЛИ ЭЛЕКТР
ИСИТГИЧЛАРНИ ТАЙЁРЛАШ

Л.С. Сувонова

Ушбу мақолада Қуёш энергияси асосида электр иситгичларни синтез қилиш учун табиий энергия манбаи сифатидаги роли кўрсатилган. Қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш асосидаги энергия қурилмаларидан иссиқлик таъминоти тизимларида фойдаланиш соҳасини ривожланишига таниқли олимларнинг ишлари келтирилган.

В данной статье обсуждается роль солнечной энергии как природного источника энергии для синтеза электронагревателей. Представлены работы известных ученых по развитию области использования энергетических устройств на основе солнечной энергии в системах теплоснабжения.

This article discusses the role of solar energy as a natural energy source for the synthesis of electric heaters. The work of famous scientists on the development of the field of using energy devices based on solar energy in heat supply systems is presented.

Кириш. Қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш асосидаги энергия қурилмаларидан иссиқлик таъминоти тизимларида фойдаланиш соҳасини ривожланишига таниқли олимлар Стребков Д.С., Харченко В.В., Алексеев В.В., Виссарионов В.И., Казанджан Б.И., Тарнижевский С.Н., Андерсен Б., Бекман У., Даффи Дж., Клейн С., Мак-Вейг Д., Хрустов Б.Н. ва б., ҳамда ўзбек олимлари Захидов Р.А., Авезов Р.Р., Клычев Ш.И., Аббасов Е.С., А.Абдурахмонов, М.А. Маматкосимов ўзларининг катта ҳиссаларини қўшишган. Хусусан, улар томонидан, керамик материалларни тайёрлашда қуёш энергиясидан фойдаланишнинг энергия самарадор технологияларини ишлаб чиқиш, ҳарорат, намлик режимларини такомиллаштириш ва технологик жараёнларни оптимал бошқариш учун иссиқлик-масса алмашилиш жараёнларини моделлаштириш тадқиқотлари олиб борилган. Хорижий мамлакатларда (Россия, Украина в.б.) керамик материаллар учун қуёш энергиясидан фойдаланишнинг амалда кенг қўлланилаётганига қарамадан, қайта тикланадиган энергия манбаларидан, хусусан қуёш энергиясидан фойдаланган ҳолда юқори ҳароратда электр иситгичларнинг параметрларини таъминлашнинг мажмуавий талабларини ҳал этишга етарлича эътибор қаратилмаган [1-4].

Қуёш энергиясини иссиқликка айлантириш натижасида қуёш энергетик қурилмалардан иборат мажмуасидан фойдаланиб, юқори ҳароратли электр иситгичлар тайёрлашда энергия истеъмолига мос равишда автоматик бошқариш ҳисобига иш унумдорлигини 50 % гача ошириш имконини беради, натижада мазкур конструкцияларнинг қўлланиши юқори ҳароратли электр иситгичлар тайёрлашда ва фойдаланишдаги сарф бўладиган капитал харажатларни 60-70% га камайтириш имконини беради.

Усуллар ва материаллар. Электр иситгичларнинг ўзига хос хусусияти уларнинг электр қаршилигидир. Хона ҳароратида у анча юқори, лекин ҳарорат $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ га кўтарилганда минимал қийматга тушади. $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ дан юқори ҳарорат чегарасини кесиб ўтганда, иситгичнинг қаршилиги ҳар $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ да $1000 - 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ оралиғида тахминан 5% га ошади. Шунинг учун, хона ҳароратида қаршилиқни ўлчашда, бу кўрсаткичлар бир хил иситгичнинг иш ҳароратидаги қаршилиқ кўрсаткичларига мос келмаслигини унутманг. Иситгичларни танлаш ва уларни гуруҳларга улашда буни ҳисобга олиш керак. Юқори ҳароратли электр иситгичнинг қаршилиги $1000-1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ишчи қисмининг барқарор ҳолатидаги доимий ҳароратида очиқ майдонда ўлчанади ва унинг қиймати таъминот кучланишини иситгичдан ўтадиган оқимга бўлиш йўли билан ҳисобланади.

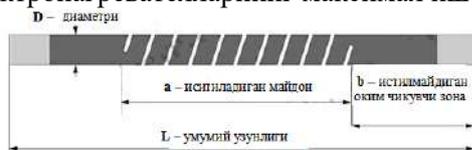
Электр иситгичларни бошқа муҳитларда ҳам фойдаланиш мумкин. Хромит лантанга нисбатан энг кам тажавускор моддалар, атмосферада иситгичлар 1200°C гача бўлганда инерт газлардан (аргон, гелий), азот, карбонат ангидриддир. Қисқартирилган кислороднинг босими 100 Pa дан кам бўлганда, ушбу газсимон муҳитда 1400°C бўлган ҳароратда ишлаш мумкин [5-6].

Қулайликлари: осон ва тез алмаштириш;
узлуксиз ва циклик режимда ишлаш;
оксидловчи атмосферада 1800°C гача киздириш;
иш вақтида электр хусусиятларининг барқарорлиги (қариш йўқлиги) – эски ва янги иситиш элементлари биргаликда ишлатиш мумкин;
бутун ҳарорат оралиғида ишлаш имконияти (хонадан максималгача).

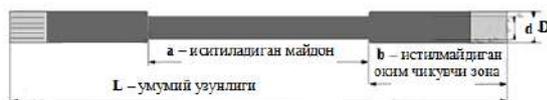
Юқори ҳароратли хромит лантан асосидаги электронагревателларнинг турлари:



К-типидаги хромит лантан электронагреватели гантел шаклда бўлиб, а-ишчи соҳаси, L-умумий узунлиги, d-ишчи қисмининг диаметри, D-контакт қисмининг диаметри, b-совуқ контакт қисми, K – типидagi электронагревателларнинг максимал иш ҳарорати 1750°C ни ташкил этади. [7].



С- типидagi хромит лантан электронагревателлар найчали элемент бўлиб ишчи қисми спирал ҳолатда бўлади. Геометрик хусусиятлар туфайли марказий спирал қисмининг қаршилиги четки қисмига нисбатан анча катта – бу ҳосил бўлган иссиқликни элементнинг узунлиги бўйлаб энг самарали равишда қайта тақсимлашни таъминлайди. С- типидagi электронагревателларнинг иш ҳарорати 1700°C ни ташкил этади.



Т-шаклдаги хромит лантан асосидаги нагревателли К-типидagiга нисбатан ишчи зонаси бироз қалинроқ шу сабабли максимал ишчи ҳарорати 1800°C

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ни ташкил этади.

Натижалар. Хромит лантан асосидаги юқори ҳароратли электр иситиш элементлари керамика материалдан ясалган, электр ўтказувчан ва тўғридан – тўғри хона ҳароратидан резистив иситиш имконини беради. Таркибий жиҳатдан, бу хромит лантан иситгичлар турли хил бўлимлар ва конфигурацияларнинг симлари ва қувурлари шаклида амалга оширилади, улар электр контактларини улаш учун учида метализация қопламасига эга. Хромит лантан асосидаги иситгичлар ҳаво билан ишлайдиган электр қаршилик печларида ишлатилади ва 1700°C гача, баъзи ҳолларда 1800°C гача бўлган ҳароратда иссиқлик жараёнларини таъминлайди. Иситгичлар доимий ва даврий ишларда, циклар оралиғида тўлиқ совитиш билан ишлатилиши мумкин. Хромит лантан асосидаги иситиш элементларини осонгина алмаштириш мумкин, бу ишлаб чиқариш йўқотилишларини камайтиради.

Ушбу турдаги иситгични саноат ишлаб чиқаришда қуйдаги технологиялар қўлланилади:

- керамик массанинг катта ва кичик функциялари лантан оксиди ва хром қўшилиб синтез қилинади, кейин калций қўшилади. Ушбу кимёвий элементларнинг барчаси бир хил ҳолатда келтирилади;

- кейин тайёрланган фракционал массадан оқим симлари бўлган керамик қувурлар ҳосил бўлади;

- қувурлар юқори ҳароратли саноат электр печида иситилади, бу эса иситгичнинг бир бирлик бўлишига имкон беради.

Ушбу маҳсулот узунлиги 1500 мм гача ва ундан узунроқ. Таъминот тармоғидаги кучланиш ҳар қандай тармоққа ишлатилиши мумкин, лекин асосан 220, 380 вольт. Бундай элементларнинг максималҳарорати 1800 даражагача.

Материалнинг зичлиги ва ғоваклилигини аниқлаш. Сиртланган керамик материалларнинг зичлиги ва ғоваклилиги гидростатик тортиш орқали қуйидаги ифода бўйича аниқланди:

$$\rho = m_n \rho_{\text{сув}} / (m_n - m_{\text{сув}}), \quad (1)$$

бу ерда ρ – намуна зичлиги, кг/м³; m_n – намуна оғирлиги, кг; $\rho_{\text{сув}}$ – суюқлик зичлиги, кг/м³; $m_{\text{сув}}$ – суюқликдаги намуна массаси, кг.

Очиқ тозалик қуйидаги ифода билан аниқланди:

$$\Pi = (m_{\text{т. сув}} - m_n) \cdot 100\% / (m_{\text{т. сув}} - m_{\text{сув}}), \quad (2)$$

бу ерда Π – намуналарнинг тозалиги, %; $m_{\text{т. сув}}$ – суюқлик билан тўйинган намуна массаси, кг.

Чизиқли қисқаришни аниқлаш. Синтез пайтида намуналарнинг қисқариши қуйидаги ифода бўйича аниқланди:

$$Y = ((l_0 - l_1) / l_0) 100 \%, \quad (3)$$

бу ерда Y - синтез пайтида намуналарнинг қисқариши, %; l_0 - синтез пайтидан олдин олинган намуналар узунлиги, м; l_1 - синтез пайтидан кейин олинган намуналар узунлиги, м.

Синтезлаш вақтида намунавий масса йўқотилишини аниқлаш. Синтезлаш вақтида намунанинг масса йўқотиши қуйидаги ифода билан аниқланди:

$$\Delta m = ((m_0 - m_1) / m_0) 100 \%, \quad (4)$$

бу ерда Δm – синтез вақтида намунанинг масса йўқотиши, %; m_0 – намунани синтездан олдинги массаси, кг; m_1 – намунани синтездан кейинги массаси, кг.

Эластиклик модулини аниқлаш. Эластиклик модули “ЗВУК-230” резонанс характеристикалари ёрдамида 5x5x45 мм парлатилган намуналарда резонанс усули билан аниқланди. Маълум бўлган резонансли частоталар материалларнинг эластик константаларини ҳисоблашди. Ўлчов хатолиги 1-2%

Кўндаланг қобикни эгилиш ва сиқиш босимини аниқлаш. Қобикдаги босим 5x5x45 мм намуналарда «Shimadzu AG-300kNX», кучланиш синов машинасида қуйдаги ифодага муофиқ аниқланди:

$$\sigma_{\text{эгилиш}} = 3/2 P K / (b h^2) \quad (5)$$

бу ерда $\sigma_{\text{эгилиш}}$ – эгилишдаги босим, МПа; P - эгивчи куч, Н; K - синов базасининг коэффиценти; b - наминанинг кенглиги, м; h - намунанинг баландлиги, м.

Сиқиш кучи «Shimadzu AG-300kNX» машинасида 10x10x10 мм намуналарида қуйдаги ифодага муофиқ аниқланди:

$$\sigma_{\text{сиқиш}} = P / (b h) \quad (6)$$

бу ерда $\sigma_{\text{сиқиш}}$ сиқишдаги босим, МПа; P - сиқувчи куч, Н; b - наминанинг кенглиги, м; h - намунанинг баландлиги, м.

Ёрилишга чидамлилиқ коэффиценти аниқлаш. Ёрилишга қаттиқлик коэффиценти (K_{1C}) Виккерс пирамидаси томонидан кириш йўли билан аниқланди. Ёриқлар узунлиги 10 мкм гача қаттиқликдаги ТП – 7р – 1 қаттиқлик текширгичининг оптик мосламаси ёрдамида аниқланди. K_{1C} қийматлари қуйдаги ифода билан аниқланди:

$$K_{1C} = 0,018 (P/c^{1.5}) (E_{\text{ушр}}/HV)^{0.5} \quad (7)$$

бу ерда K_{1C} – ёрилишга чидамлилиқ коэффиценти, МПа·м^{1/2}; c – ёриқ узунлиги, м.

SiC Силикон карбиднинг термал барқарорлиги, бошқа барча поликристалли керамик материаллар сингари, мўрт материалларга тегишли, шунинг учун ўзгарувчан ҳароратларда юзага келадиган термал стресслар таъсирида керамика ҳаракати билан боғлиқ барча қонунлар унга қўлланилиши мумкин. Материалларнинг термал ва термал зарба юқларига чидамлилигини аниқлайдиган асосий хусусиятлар мустаҳкамлик, эластиклик модули, иссиқлик кенгайиш коэффиценти, иссиқлик ўтказувчанлиги ва иссиқлик тарқалишидир. Кўпгина керамик материалларнинг иссиқлик қаршилигини ўрганиш шуни кўрсатадики, механик кучнинг ошиши, эластик модулнинг пасайиши, иссиқлик кенгайиш коэффиценти ва иссиқлик ўтказувчанлигининг ошиши ҳар доим керамик материалларнинг иссиқлик қаршилигини оширишга ёрдам беради. Силикон карбид юқори иссиқлик ўтказувчанлиги билан ажралиб туради, SiC асосидаги маҳсулотлар учун 50-150 Вт/м²К оралиғида қийматларга этади, нисбатан паст иссиқлик кенгайиш коэффиценти (4,5-5). 10-6 1/К. Бу хусусиятлар асосан силикон карбидли керамика маҳсулотларининг юқори термал зарба қаршилигини аниқлайди. Аллюминий оксиди - 20-79,5% кремний карбид - 20-75 ва қуйиш пайтида маҳсулотни мустаҳкамловчи қўшимчадан ташкил топган керамика буюмлари 30-40% ғоваклиги, 80 МПа гача эгиловчанлиги ва амалда чексиз иссиқликка чидамлилиги билан ажралиб туради. 1200 °С гача. Бу материал Тесор деб аталади. Тесор материали уй шароитида сув фильтри сифатида ишлатиладиган кичик қолба конфигурациясига эга бўлган шиша бонсук синтерлаш тигелларини тайёрлаш

АЛТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

учун ишлатилган. Тигелларни шиша шарлар билан пиширганда, иситиш ҳарорати, 850 °C гача бўлган ва иситиш вақти 2 соат, кейин эса ўткир совутиш. Белгиланган материалдан тайёрланган тигеллар 1500 циклгача сақланади. Шуни таъкидлаш керакки, 1500 °C гача оксидланишга этарлича чидамли бўлган ~ 100-200 мкм гача бўлган зарядланган керамика объектлари таркибига силикон карбидни киритишнинг барча ҳолатларида иссиқлик барқарорлигини сезиларли даражада оширади. . 50% дан ортиқ SiC ни ўз ичига олган керамика маҳсулотлари 1500 °C гача бир зумда қиздирилишига бардош бера олади.

Бу хусусият асосан силикон карбид материалларининг юқори ҳарорат шароитида ишлашини аниқлайди. Кремний карбидидаги иссиқлик асосан фонлар орқали узатилади. SiC монокристалларининг иссиқлик ўтказувчанлиги (λ) олмос, кремний ва бошқа ковалент кристалларнинг иссиқлик ўтказувчанлигига яқинлашади. SiC асосидаги керамиканинг иссиқлик ўтказувчанлиги кўплаб омилларга боғлиқ - ғоваклик миқдори, қолдиқ углерод ва кремний таркибига ва ҳароратга. Порозлик ҳар доим барча керамик материаллар, шу жумладан SiC материаллари учун иссиқлик ўтказувчанлигининг қиймати сезиларли таъсир қилади. SiC дан тайёрланган зич материалларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги юқори л маҳсулотларга эга бўлиб, 120-150 Вт / м.К га этади. Ғовакликининг ошиши билан иссиқлик ўтказувчанлиги сезиларли даражада пасаяди, лекин ҳали ҳам 40-50 Вт /м.С даражасида 20-30% порозлик даражасида қолади.

Қуёш печнинг ўрта қисмида ҳарорат тахминан 10 дақиқа ичида максимал қийматга (тахминан 2050 °C) этади, шундан сўнг у тадқиқот бошланганидан кейин 17 дақиқагача 1700 - 1800 °C даражасида сақланади (терможуфт № 1). 17 - 17,5 дақиқадан кейин ҳароратнинг пасайиши электр иситгич материалининг чўкиши ва иссиқликнинг мос равишда қайта тақсимланиши билан изоҳланиши мумкин. Намунага бериладиган иссиқлик миқдорининг ўзгариши, айниқса, электр иситгичга улашган зонада (1-сонли терможуфт) сезиларли бўлади ва катгароқ масофада (4-сонли терможуфт) амалда сезилмайди. Намунадан 200 мм масофада (печнинг маркази) ҳарорат (3-сонли терможуфт) тахминан 9-10 дақиқа ичида 1250 °C га этади ва 300 мм масофада (4-сонли терможуфт) тахминан 23 дақиқа.

1 - расмда. Юқорида келтирилган такомиллаштирилган моделлардан олинган ҳарорат қийматларини вақтга боғлиқ бўлган графиклари келтирилган. Тажриба ўтказиш жараёнида ҳарорат тўрт нуқтада ўлчанди (хромел-алумел типдаги терможуфтлар ишлатилди): №1 ва 4-сонли терможуфтлар намуна юзасидан 20 мм масофада жойлашган, №2. - намуна юзасидан 180 мм масофада ва 3-сонли терможуфтда атроф-муҳит ҳарорати ўлчанди.

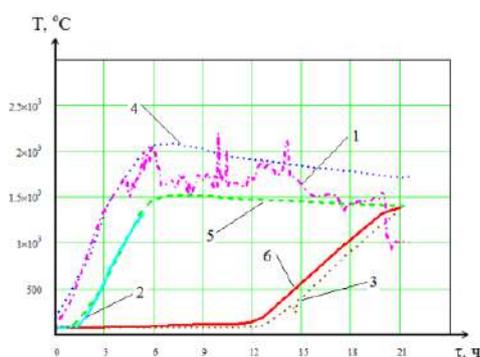
Тажриба ўтказилди, унда ҳарорат тўрт нуқтада ўлчанди (хромел-алумел типдаги терможуфтлар ишлатилган): №1 ва 4-сонли терможуфтлар ядро юзасидан 20 мм масофада жойлашган, №2. - ядро юзасидан 180 мм масофада ва 3-сонли терможуфтда атроф-муҳит ҳарорати ўлчанди. Терможуфтларнинг жойлашуви 2 - расмда кўрсатилган. 3-расмда ўлчовлар динамикаси.

1-сонли терможуфт 8,5 соатдан кейин бошланган ҳароратнинг қизгин кўтарилишини кўрсатди ва 1350 °C дан ошмади. Терможуфт № 2 максимал ҳароратни 1200 °C кўрсатди. Терможуфт №3 атроф-муҳит ҳароратини кўрсатди,

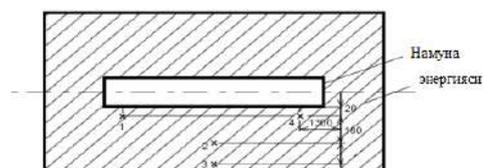
бу кампания охирига келиб $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ дан ошмади. Термोजуфт № 4 иш охирида максимал $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ҳароратга эришилганлигини кўрсатди.

Таъкидлаш жоизки, тажрибада кўрсатилган қувват сарфи $103\ 000\ \text{kWh}$ / соатни ташкил этди. Экспериментал маълумотларга кўра, $0 \div 30\ \text{cm}$ масофада, деб баҳслаш мумкин.

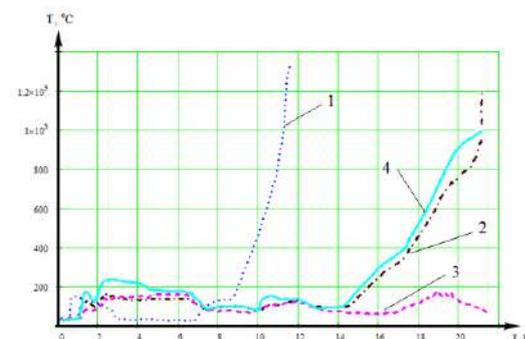
Саноат печида ядродан кремний карбид ҳосил бўлиш жараёни давом этмоқда. Шунингдек, тажрибалар натижалари печни иситиш учун электр энергиясини этказиб бериш режими кремний карбиднинг масса ҳосилдорлигига сезиларли таъсир кўрсатади, деб тахмин қилиш имконини беради. Шунини таъкидлаш мумкинки, кремний карбидини олиш жараёни ядронинг нотекис исиши ва заряднинг чўқиндиси таъсир қилади.



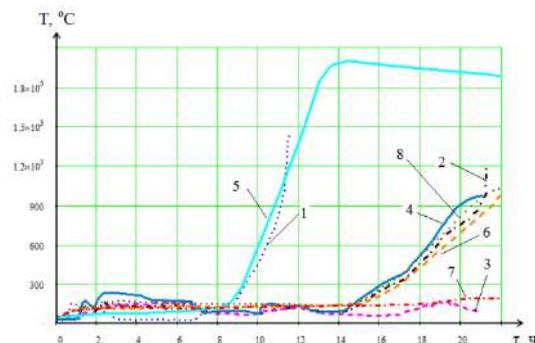
1-расм. Оловли ишнинг бир даври учун ҳароратнинг вақтга боғлиқлигининг экспериментал ва ҳисобланган қийматлари. 1 - 6 рақамлари термोजуфт рақамларига мос келади.



2-расм. Печнинг кўндаланг кесимида термोजуфтларни ўрнатиш схемаси



3-расм. Бир ўчоқнинг ишлаш даври учун ҳароратнинг вақтга боғлиқлигининг экспериментал қийматлари. 1 - 4 рақамлари термोजуфт рақамларига мос келади.



4-расм. Бир ўчоқнинг ишлаш даври учун ҳароратнинг вақтга боғлиқлигининг экспериментал ва ҳисобланган қийматлари. 1 - 8 рақамлари термोजуфт рақамларига мос келади

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

4-расмда экспериментал маълумотларни такомиллаштирилган моделлар томонидан олинган ҳароратларнинг ҳисобланган қийматлари билан таққослашни тақдим этади.

Хулоса. Расмлардан кўришиб турибдики. 1 ва 4-расмлар экспериментал ва ҳисобланган маълумотлар ўртасида яхши мос келади. Филтрлаш жараёнида материалнинг чўкиши ва намликнинг конденсациясини ҳисобга олиш силикон карбид ишлаб чиқаришнинг мураккаб технологик жараёнини сифат жиҳатидан аниқроқ тавсифлаш имконини берди.

Адабиётлар

1. Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Маматқосимов М.А. Nonmetall materiallar texnologiyasi. – Тошкент: - Fan va texnologiya, 2015, 159 бет.
2. Абдурахманов А., Маматқосимов М.А., Ахадов Ж.З., Кучкаров А.А. Расчет оптико-геометрических параметров параболоидных и парабо-лоцилиндрических зеркально-концентрирующих систем. // Журнал Доклады Академии наук. 2014, № 4, –С. 29-32
3. Corman G. S., Luthra K. L. Silicon Melt Infiltrated Ceramic Composites (HiPerComp™) // Handbook of Ceramic Composites. Springer US, 2005. P. 99–115.
4. Kamanov B.M., Mamatkosimov M.A., Mustafoev A.I. localization of imported ceramic tiles // Journal of Irrigation and melioration №3 .2020. – Tashkent, - Pp. 28-32.
5. Мустафоев А.И., Маматқосимов М.А., Сувонова Л., Каманов Б.М., Джалилов М. Влияние нагрева на фазовые превращения в геомодификаторе трения на основе слоистого серпентина// «AGROILM» журналі. №4.2020. – Тошкент, - С.97-99. (05.00.00, №4)
6. Каманов Б.М., Маматқосимов М.А., Мустафоев А.И. Юқори ҳароратга чидамли оловбардош плитани ишлаб чиқариш // "Irrigatsiya va melioratsiya" jurnali №4(18).2019. – Тошкент, - С. 63-66.
7. Каманов Б.М., Маматқосимов М.А., Мустафоев А.И. Серпентин турдаги намунадан чинни буюм тайёрлаш плитаси олинишини асослаш. «Нефт-газ саноатида иннова-циялар, замонавий энергетика ва унинг муаммолари» Халқаро конференция материаллари 26 май 2020 йил. С. 757-758
8. Каманов Б.М., Маматқосимов М.А., Мустафоев А.И. 1700⁰С ҳароратда ишлайдиган термостатланган электр печини ишлаб чиқариш. ЎзР Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги Наманган муҳандислик қурилиш институтида 2019 йил, 7-9 ноябр кунлари ўтказилган “Қурилишда инновациялар, энергия тежамкор технологиялар, биналар ва иншоотларнинг конструкциявий ва сейсмик хавфсизлиги” мавзусида Халқаро микёсида илмий-техник конференция материаллари тўплами. 232-234с.

Представлено Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

УДК. 553.98.041:622.276.001.42 (575.16/.192)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ХАККУЛЬ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Б.И. Хожиев, Ш.Ш. Шодмонов

Мақолада Хаккул кони бўйича қудуқларнинг синаш натижалари, геологик-геофизик маълумотлари комплекс таҳлил қилинган. Хаккул конида Юра даври карбонат ётқизиқларининг XV-1, XV-2, XV-3 горизонтлари коллекторлари тарқалиши аниқланган. Тадқиқотлар натижасида Хаккул конининг 21 қудуғида углеводород хом ашёсини қазиб олишни кўпайтириши учун қўшимча интервалларни синаш тавсия қилинди

В статье анализируются результаты испытаний скважин на месторождении Хаккуль в комплексе с геолого-геофизическими материалами. Уточнено распространение коллекторов XV-1, XV-2, XV-3 горизонтов карбонатной формации юры в пределах месторождения Хаккуль. В результате проведённых исследований рекомендовано испытать дополнительные интервалы в эксплуатационной скважине № 21 месторождения Хаккуль, что позволит увеличить добычу углеводородного сырья.

The article discusses the analysis of well test results for the Khakkul field in combination with geological and geophysical materials. The distribution of reservoirs XV-1, XV-2, XV-3 horizons of the carbonate formation of the Khakkul deposit was specified. As a result of the studies, it was recommended to test additional intervals in the production well 21 of the Khakkul field, which will increase the production of hydrocarbon raw materials.

Введение. За годы независимости в Республики Узбекистан наблюдается интенсивный рост потребления углеводородного сырья, что требует наращивание темпов геологоразведочных работ, обеспечивающих достаточно высокий прирост запасов нефти и газа. На сегодняшний день основные проблемы в нефтегазовой отрасли связаны с обеспечением увеличения добыча углеводородов. Для решения этих вопросов, кроме открытия новых месторождений, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Актуальность. Эффективное ведение геологоразведочных работ имеет большое значение для постоянного наращивания запасов углеводородов. В связи с этим освоение не изученных и не опробованных пластов на рассматриваемом месторождении в теоретическом и практическом плане является актуальным и представляет большой интерес для нефтяников, т.к. до сих пор существует целый ряд проблем, от решения которых зависит стратегия проведения нефтегазогеологических работ.

Характеристика территории исследования. В административном отношении месторождение Хаккуль расположено на территории Каракульского

района Бухарской области Республики Узбекистан, в тектоническом отношении находится в пределах Амударьинской синеклизы, на территории Чарджоуской ступени - Кандымское поднятие (рис.1).

Месторождение Хаккуль представляет собой двухкупольную (северный и южный) брахиантиклинальную складку субмеридианального и субширотного простирания.

История бурения. Структура Хаккуль выявлена в 1980 г. и подготовлена в 1988 г. по результатам сейсморазведочных работ МОГТ-2Д. В 1989 году началось глубокое бурение поисковой скважины №1, при опробовании которой в 1991 году получены промышленные притоки газа. В разряд месторождений структура введена в 1991 году. Кроме того, в 1990 году была выполнена переинтерпретация всех сейсмических материалов, на основе которых Хаккульская структура была подготовлена и передана в глубокое бурение по XVIII горизонту терригенной юры. За это время пробурено пять поисково-разведочных скважин, в которых установлена продуктивность в терригенных и карбонатных юрских отложениях. Из пяти пробуренных скважин только первая поисковая скважина пробурена на северном куполе (№1), остальные четыре пробурены на южном куполе (№2-5), из них 3-поисковые общим метражом 8637 м и 2 - разведочные, общим метражом 5700 м.

Литолого-стратиграфическая характеристика. На месторождении Хаккуль установлена продуктивность в отложениях юрской терригенной и карбонатной формаций. В разрезе терригенной формации выделяются следующие свиты – кимерекская (нижняя юра), гурудская (аален-нижний байос), дегибадамская (верхний байос), тангидувальская (нижний-средний бат), байсунская (верхний бат-нижний келловей). На исследуемом месторождении нижнеюрские (кимерекская свита - XXI горизонт) отложения отсутствуют. Среднеюрские терригенные отложения здесь представлены толщей, в основном, глинистых пород, содержащих различные по толщине пачки песчаников и гравелитов, выделяемых как XVII, XVIII, XIX промысловые горизонты [2]. На терригенных отложениях согласно залегает мощная карбонатная толща, состоящая из различных генетических типов известняков.

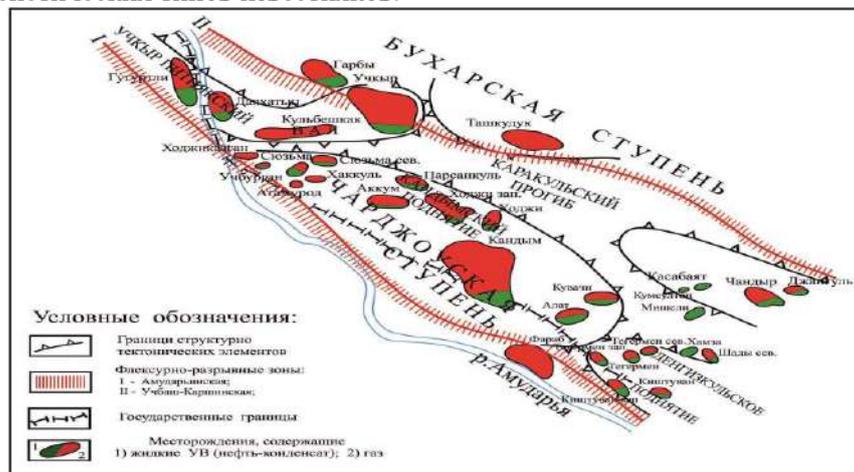


Рис.1. Схема тектонического районирования.
Составители: А.А. Абидов и др., 1999

В задачу исследований входил анализ геологоразведочных работ по отложениям карбонатной формации (КФ) юрского возраста, на характеристике которых остановимся подробнее. Здесь выделяются снизу-вверх: XVI, XV-а проницаемые горизонты, возраст которых определяется в объёме келловей средней юры и XV-1, XV-2, XV-3 проницаемые горизонты оксфорд – кимериджского возраста верхней юры. Нефтегазоносность юрских карбонатов на исследуемой территории связана с коллекторами XV-3, XV-2 и XV-1 горизонтов. XV-3 горизонт сложен преимущественно обломочными, комковатыми, ступково-комковатыми и органогенными, а также пелитоморфными и глинистыми, доломитизированными известняками, сформировавшимися, главным образом в мелководных условиях. XV-2 горизонт представлен, в основном, известняками органогенно-обломочными, детритовыми, оолитовыми, иногда песчанистыми. Мощность горизонта варьируется в пределах 47- 92 м и представлена чередованием очень плотных и пористых карбонатов. В объёме пористых карбонатов выделяется несколько проницаемых пластов. XV-1 (гардаринская свита) горизонт представлен микрозернистыми доломитизированными, ступковыми, комковатыми, известняками с отдельными прослоями глин (нижняя часть), глинистых алевролитов (средняя часть) и ангидритов (верхняя часть). К юго-востоку разрез сложен преимущественно обломочно-оолитовыми известняками с алевроитовой примесью.

Основные результаты исследований. В результате поисково-разведочных работ на месторождении Хаккуль промышленный приток дали скважины № 1, 2, 5. По результатам анализа геолого-геофизических материалов поисковая скважина №1 Хаккуль пробурена на северном куполе структуры, глубиной 2900 м с целью оценки перспективности юрских карбонатных и терригенных отложений. Через эксплуатационную колонну в юрских отложениях испытано десять объектов, три в терригенных (XIX и XVIII-6 горизонты) и семь в карбонатных отложениях. В результате аэризации из трёх объектов (XV-1, XV-2, XV-3 гор.) получены притоки газа дебитом от 6,1 тыс. м³/сут. до 30 тыс. м³/сут. [3].

Поисково-разведочные скважины №2 и 5 пробурены на южном куполе структуры. Поисковую скважину №2 Хаккуль через эксплуатационную колонну в юрских отложениях испытывали 10 объектами, пять интервалов в терригенных и пять интервалов в карбонатных отложениях. В результате аэризации из четырёх объектов (XVIII-2 горизонт) получены притоки газа с максимальным дебитом 314 тыс.м³/сут через 11 мм штуцер. Из XV-1 горизонта приток не получен, XV-2 горизонта - получен приток пластовой воды.

В разведочной скважине №5 Хаккуль испытано 12 объектов через эксплуатационную колонну, 11 объектов в терригенных и один объект в карбонатных отложениях. В результате аэризации из семи объектов (XVIII-2 горизонт) получен приток газа с максимальным дебитом 232,17 тыс.м³/сут, через 11 мм штуцер. В XV-1 горизонте испытан интервал 2102-2096 м, в результате приток не получен [1].

Сопоставление материалов ГИС по скважинам №1, 2 Гарбий Хаккуль, №1, 2, 3 Чаккакум и скважинам №21э, 22э, 2 Хаккуль показывает, что XV-1, XV-2,

XV-3 горизонты распространяются по всему месторождению, следовательно, и на северном куполе, а карбонатные юрские отложения до конца не изучены.

Для оценки перспективности юрских карбонатных отложений XV-1, XV-2, XV-3 горизонтов авторы провели интерпретацию материалов ГИС в №21, 22 эксплуатационных скважинах.

Согласно проведённым геофизическим исследованиям в скважине №21 Хаккуль, кровля XV-1 горизонта вскрыта на глубине -1882 м, что гипсометрически выше на 15 м, чем в разведочной скважине №2 Хаккуль (-1897 м) и на 12 м выше, чем в скважине №4 Хаккуль (-1894 м).

На основании анализа геолого-геофизических данных и переинтерпретации сейсмических материалов площади Хаккуль и близлежащего месторождения Гарбий Хаккуль авторами была построена геологическая модель (рис.2) по кровле XV-1 горизонта, на которой видно, что южный купол находится гипсометрический почти на одинаковом уровне с северным куполом.

Как уже было высказано выше, на южном куполе пробурены две поисково-разведочные скважины (скв.№2, 5) и две эксплуатационные скважины, в которых при испытании карбонатных юрских отложений перспективные пласты XV-1, XV-2, XV-3 не испытаны. Вопрос о перспективности этих пластов остался открытым. Для решения этого вопроса, авторы предлагают восстановить испытание эксплуатационной скважины №21 Хаккуль, и при получении продукта из карбонатных юрских отложений увеличить добычу и прирастить запасы месторождения.

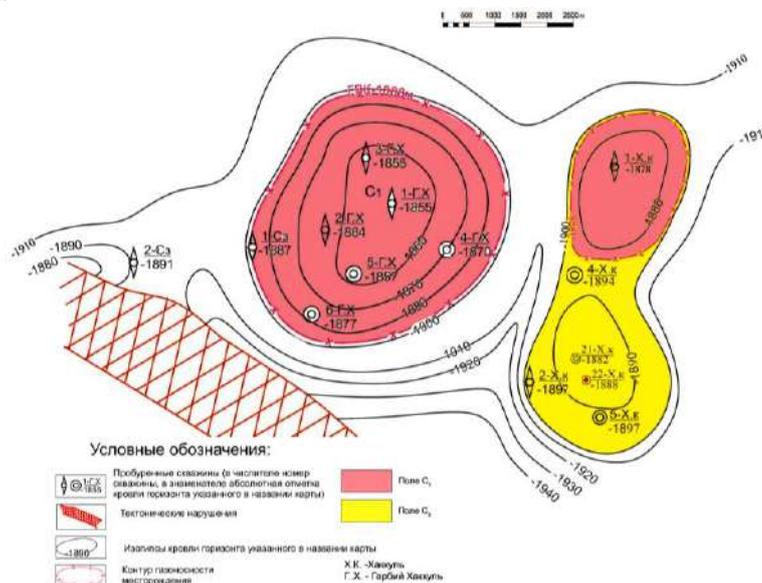


Рис.2. Геологические модели по кровле XV-1 горизонта месторождений Хаккуль и Гарбий Хаккуль. Составители: Б.И. Хожиев и Ш.Ш. Шодмонов

Заключение. Авторы, проанализировав весь геолого-геофизический материал (результаты бурения и испытания, ГИС), рекомендуют испытать следующие дополнительные интервалы в эксплуатационной скважине №21 месторождения Хаккуль:

I-объект. В интервале 2056-2065 м, XV-1 горизонт, с открытой пористостью от 9,28% до 12,27%, по характеру насыщенности от 50% до 71%;

II-объект. В интервалах 2099-2103 м, 2112-2120 м, XV-2 горизонт, с открытой пористостью от 4,17% до 14,74%, по характеру насыщенности от 50,6% до 61,1%;

III-объект. В интервале 2203-2232 м, XV-3 горизонт, с открытой пористостью от 4,7% до 10,6%, по характеру насыщенности от 50% до 51%.

Литература

1. Абдуллаев Г.С., Хожиев Б.И. Анализ и оценка перспективности терригенных юрских отложений на северном куполе месторождения Хаккуль для проведения дальнейших ГРП // Узбекский журнал нефти и газа. – Ташкент, 2016. – №2. – С. 10 – 12.

2. Бабаев А.Г., Габрильян Р.А., Саямова С.К. Терригенная формация юрского возраста Бухаро-Хивинского региона и Юго-Западного Гиссара и её нефтегазоносность. -М., Недра 1977, -137 с.

3. Хожиев Б.И. Перспективы юрских терригенных отложений Кандымского поднятия на обнаружение литологических залежей нефти и газа. -Т.: Узбекской журнал нефти и газа. 2017. -№1.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом
и АО «Институт геологии и разведки
нефтяных и газовых месторождений»*

УДК 622.279.23/4.001.24

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ

У.С. Назаров, М.А. Абдурахимов, Ш.Т. Набиев, В.Р. Мухамедшин

Maqolada "Milliy elektr tarmoqlari" AJ tizimidan elektr energiyasini yetkazib berishga muqobil bo'lgan neft va gaz obyektlari joylashgan hududlarda energiya ishlab chiqarish quvvatlarini yaratish orqali neft va gaz operatsiyalarining energiya samaradorligini oshirish konsepsiyasi muhokama qilinadi. Neft va gaz qazib olish obyektlarini ishlatish uchun elektr energiyasi manbalarini o'rganish va qiyosiy tahlil qilish asosida Muborak IESda yoqilg'i sifatida stansiyaga bevosita yaqin joyda joylashgan Muborak guruhi konlarining past bosimli tabiiy gazidan foydalangan holda rekonstruksiya va modernizatsiya qilish loyihasini amalga oshirish zarurligi belgilandi.

В статье рассматривается концепция направленная на повышение энергетической эффективности нефтегазовых операций за счет создания электрогенерирующих мощностей в районах расположения нефтегазовых объектов, как альтернатива поставки электрической энергии из системы АО "Национальные электрические сети". На основе исследований и сопоставительного анализа источников электрической энергии для функционирования объектов добычи нефти и газа определена необходимость реализации проекта реконструкции и модернизации Мубарекской ТЭС с использованием в качестве топлива низконапорный природный газ из месторождений Мубарекской группы находящиеся непосредственно вблизи станции.

The article discusses a concept aimed at increasing the energy efficiency of oil and gas operations by creating power generating capacities in the areas where oil and gas facilities are located, as an alternative to supplying electricity from the system of JSC "National Electric Networks". On the basis of research and comparative analysis of the sources of electrical energy for the operation of oil and gas production facilities, it was determined the need to implement a project for the reconstruction and modernization of the Mubarek TPP using low-pressure natural gas as fuel from the fields of the Mubarek group located in the immediate vicinity of the station.

Введение. Нефтегазовая промышленность относится к одной из энергоемких отраслей экономики и характеризуется высоким потреблением электроэнергии в геологоразведочных работах, добыче нефти и газа, переработке и транспортировке углеводородного сырья.

Анализ энергоемкости производств в нефтегазовых операциях показывает, что потребляемая электрическая мощность по всем процессам связанным, с нефтегазовыми операциями в Республике Узбекистан составляет более 450 МВт. Из общего потребления электрических мощностей на геологоразведочные работы приходится до 12%, в добычу нефти и газа до 40%, в переработку и транспортировку углеводородного сырья до 48%.

Электрическая энергия для нужд нефтегазового комплекса поставляется в основном от Талимарджанской и Навоийской ТЭС, которые потребляют природный газ

в качестве топлива для производства и обеспечения объектов нефтегазовой промышленности электроэнергией, в объеме до 1,2 млрд.куб.м газа в год.

На современном этапе развития нефтегазовой промышленности ставятся задачи по существенному снижению энергоемкости технологических процессов с высвобождением электрических мощностей генерируемых тепловыми электростанциями, для дальнейшего создания и развития промышленных производств и социально-экономического сектора.

Объекты исследования. Исследованы вопросы по оценке технико-экономической эффективности реализации проектов связанных с организацией генерирования электроэнергии непосредственно на объектах добычи нефти и газа, в качестве источников эксплуатации новых дожимных компрессорных станций для повышения давления и транспортировки природного газа потребителям.

Рассмотрены 2 варианта дообустройства газоконденсатных месторождений Гирсан и Чилькувар находящихся в периоде снижения добычных возможностей в связи с истощением пластовой энергии, не позволяющей обеспечить транспортировку природного газа до потребителей без установки низконапорных дожимных компрессорных станций (НДКС).

Вариант 1. Установка НДКС (привод от электрической энергии) непосредственно на месторождениях, в комплексе с газопоршневой электростанцией (ГПЭС) для выработки электроэнергии и поставки для технологических нужд НДКС (рис.1).

Вариант 2. Прокладка линии электропередач (30 км) мощностью 2,0 МВт с установкой НДКС на электрическом приводе. Источником электроэнергии являются национальные электрические сети высокого напряжения 35 кВ (рис.1-2).

Результаты исследований. Сопоставительная оценка вариантов использования природного газа, как источника дальнейшей эксплуатации месторождений показывает, что инвестиционные затраты при строительстве ГПЭС непосредственно на объектах добычи выше инвестиционных затрат связанных с получением электроэнергии от национальных электрических сетей на 30%. Вместе с тем, с учетом затрат на транспортировку природного газа до тепловой электростанции и обратной транспортировки электроэнергии от тепловой электростанции до месторождений (с учетом строительства ЛЭП – 30 км), параметры окупаемости проектов являются идентичными, на уровне 5 лет возврата привлекаемых инвестиций. Внутренняя норма рентабельности по двум вариантам технико-экономических исследований составила 14% (таблица 1).

Однако, увеличение стоимости поставляемой электроэнергии системы национальных электрических сетей, от установленного ценообразования на 2022 год, обусловит существенное ухудшение технико-экономических показателей проекта по 2-му варианту реализации.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

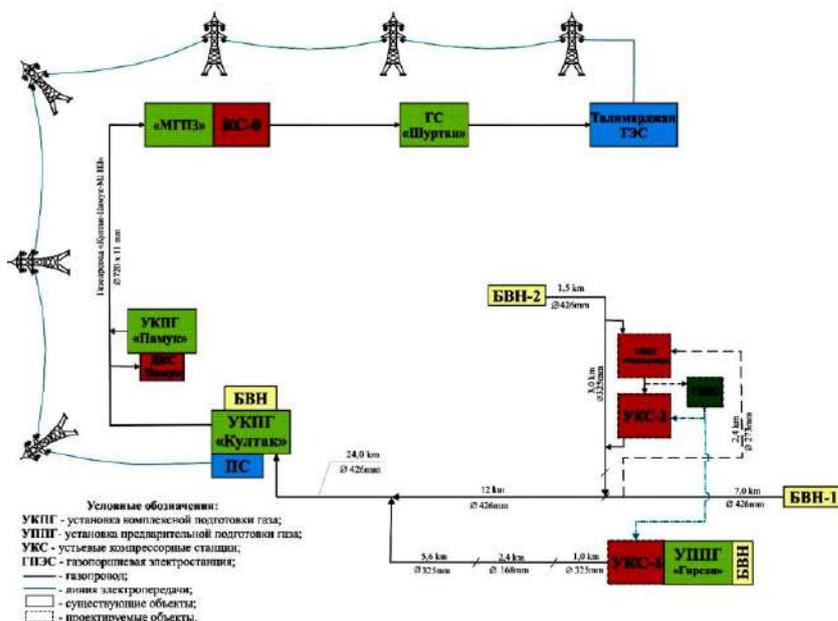


Рис. 1. Принципиальная схема энергоснабжения промыслов Гирсан и Чилькувар по варианту-1 с выработкой эл.энергии на месторождении (ГПЭС)

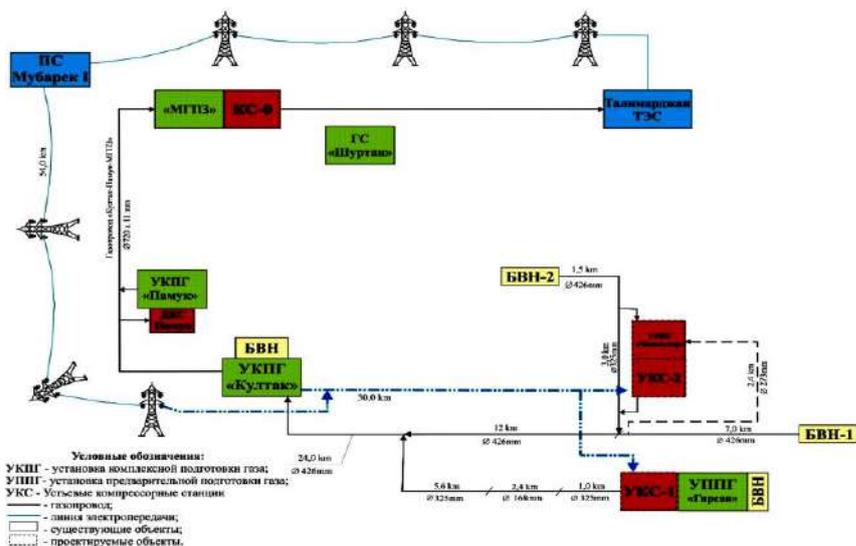


Рис. 2. Принципиальная схема энергоснабжения промыслов Гирсан и Чилькувар по варианту-2 подача эл.энергии от Талимарджанской ТЭС

Стратегия предусматривает обеспечение электроэнергией месторождений находящихся в Мубарекском регионе на уровне 10-30 МВт мощности, и поставкой электроэнергии до 50 МВт в национальные электрические сети, обратным потоком (рис.3).

Реализация данного проекта будет связана с использованием в качестве топлива низконапорного газа добываемого из Мубарекской группы месторождений в объеме до 500 млн.куб.м в год, без строительства НДКС на этих объектах.

Таблица 1
Сопоставительная оценка вариантов реализации проекта электроснабжения месторождений Чилкувар и Гирсан на период 2022-2030 гг

№	Наименование показателей	Единицы измерения	1 вариант (со строительством ГПЭС)	2 вариант (электроснабжение от Талимарджанской ТЭС)
1	Выручка от реализации продукции (природный газ, конденсат, СУГ)	млн. долл.	61,08	61,08
2	Инвестиционные затраты	млн. долл.	11,93 (строительство ГПЭС)	9,18 (прокладка ЛЭП)
3	Эксплуатационные расходы	млн. долл.	31,91	34,39
4	Налоговые отчисления	млн. долл.	17,10	16,54
7	Прибыль до уплаты налога на прибыль	млн. долл.	12,07	9,81
8	Денежный поток	млн. долл.	6,63	5,04
9	Дисконтированный поток наличности: при 10% при 15	млн. долл.	1,30-0,40	1,00-0,29
10	Срок окупаемости проекта	лет	5	5
11	Внутренняя норма рентабельности (IRR)	%	14%	14%

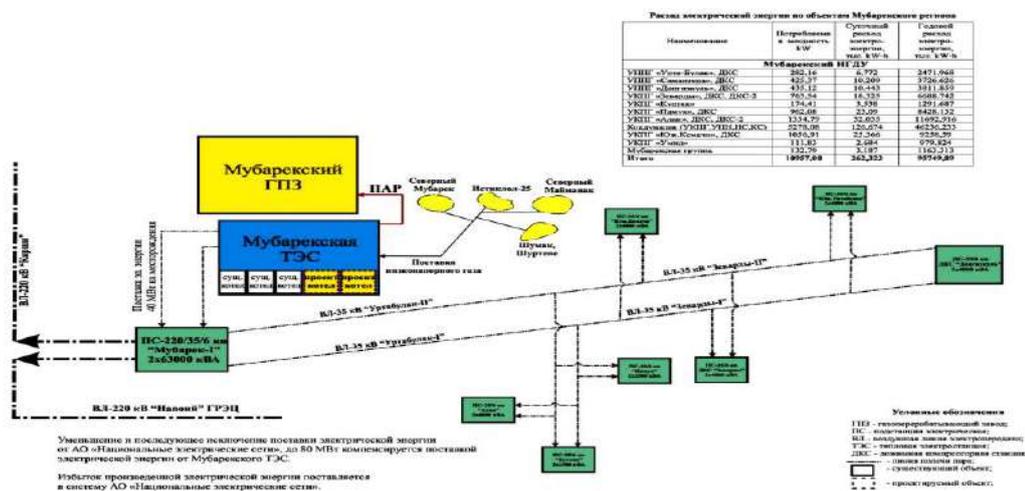


Рис.3. Концептуальная схема модернизации Мубарекской ТЭС с увеличением производства эл.энергии с 40 до 120 млн. кВт.ч в год

Учитывая, что перспективная программа дальнейшего развития нефтегазовой промышленности предусматривается строительство на объектах добычи природного газа новых НДКС суммарной мощностью не ниже 7,0 МВт (в среднем) на ежегодной основе, и

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

принимая во внимание необходимость высвобождения электрических мощностей ТЭС рассмотрена стратегия создания единой генерирующей мощности по производству электроэнергии с реконструкцией и модернизацией Мубарекской ТЭС, расположенной на границе производственных мощностей Мубарекского ГПЗ.

Мубарекская ТЭС введена в эксплуатацию в 1985 году и предназначена для покрытия тепловых и электрических нагрузок Мубарекского ГПЗ. При проектировании станции предусматривалась установка проектной мощности по электроэнергии 120 МВт и по тепловой энергии 376 Гкалл. Основным и резервным видом топлива был установлен малосернистый природный газ добываемый из месторождения Шуртан.

На настоящее время станция имеет 3 газовых турбоагрегата (ТГ-1) единичной мощностью по 60 МВт, при этом в эксплуатации находится только 1 турбоагрегат.

В целом по станции из 3-х энергетических котлов (Е-500-13,8-560ГН) в работе находится 1 котел который поставляет пар на Мубарекский ГПЗ в объеме 325 тонн в час (1,6 млн.ГКал в год), с давлением 0,6 МПа. Также ТЭС поставляет электроэнергию в электрические системы в объеме 27 МВт в час, в том числе на Мубарекский ГПЗ – 17 МВт в час. Общее потребление природного газа по Мубарекской ТЭС составляет 478,5 млн.куб.м в год.

Реализация предлагаемого проекта по модернизации Мубарекской ТЭС будет связана с полной диагностикой установленного оборудования, с выбраковкой физически изношенных систем и перепроектированием мощностей с ориентацией на воссоздание регулировочной ТЭС, с диапазоном регулирования на уровне 50% по зимнему и летнему периодам эксплуатации. При этом, предлагается организация работы оборудования как по тепловому графику в теплофикационном режиме, так и по электрическому графику в конденсационном режиме, независящему от потребителей пара.

Предварительные исследования выполненные со стороны ПАО “Силовые машины” показали технико-экономическую эффективность проекта при реализации нижеследующей концепции:

1. расширение турбинного цеха для установки третьей турбины;
2. установка трех турбоагрегатов типа КТ-110-12,8;
3. реконструкция существующего котла ТГМЕ-464, с восстановлением проектных параметров;
4. установка трех воздушно-конденсационных установок;
5. модернизация вспомогательного оборудования.

Укрупненный технико-экономический анализ эффективности проекта показывает возможности привлечения инвестиционного капитала в его реализацию в сумме до 180 млн.долл.США (экв.), сроком возврата инвестиций до 5 лет, при стоимости на уровне показателей 2021 года с производством электроэнергии в количестве 672 млн. кВт/ч в год.

Сравнительно высокая рентабельность проекта будет обеспечена при реализации схемы интегрирования системы добычи газа по Мубарекской группе месторождений в финансово-экономическую схему деятельности Мубарекской ТЭС.

Осуществление проекта позволит обеспечить взаимовыязанную поставку природного газа на Мубарекскую ТЭС от близлежащих месторождений и электроэнергии от Мубарекской ТЭС на объекты АО “Узбекнефтегаз”

Принимая во внимание прогнозируемое увеличение потребления электроэнергии со стороны объектов добычи нефти и газа за счет установки новых компрессорных

мощностей, реализация данного проекта позволит обеспечить выбор менее затратной конфигурации компрессорных агрегатов для месторождений с установкой машин с электрическим приводом, в сравнении с установкой компрессорных агрегатов на газопоршневом приводе.

Выводы: 1. Рассмотренные технико-экономические схемы обеспечения электрическими мощностями объектов добычи нефти и газа показывают необходимость системной интеграции нефтегазовой деятельности с производством электроэнергии, в непосредственной близости от месторождений, как источников первичной энергии.

2. Создание крупной электро-генерирующей мощности в районе расположения месторождений позволяет сократить инвестиционные затраты в строительство низконапорных дожимных компрессорных станций, а также операционные затраты в их эксплуатацию при установке компрессорных агрегатов с электрическим приводом.

Литература

1. Оценка деятельности предприятия в области энергосбережения /Л. Н. Руднева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. - 2012. - № 2. - С. 46-50.

2. Абрамович Б.Н. Электроснабжение нефтегазовых предприятий: Учебное пособие / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Д.А. Устинов. Санктпетербургский государственный горный институт. СПб, 2008. 63 с.;

3. Гайда И.В. Путь к глобальной конкурентоспособности: повышение энергоэффективности нефтегазового комплекса // Энергоэффективность и энергосбережение: Материалы II Международного форума (ENES-2013). 21-23 ноября 2013 г. М. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://enes-expo.com/docs/prezentatsii_dlya_programmy/21112013/BCG.pdf

4. Галяутдинов И.М. Совершенствование методики формирования инвестиционной программы энергосбережения на предприятиях нефтедобычи на основе интегрального индекса потенциальных потерь / И.М. Галяутдинов // Экономика и предпринимательство. – 2016 - №6 (71). – С. 976– 982.

5. Бернер М.С., Лоскутов А.В., Понаровкин Д.Б., Тарасова А.Н Зарубежный опыт мотивации энергосбережения [Электронный ресурс] / М.С. Бернер, А.В. Лоскутов, Понаровкин Д.Б., А.Н. Тарасова // Энергосбережение. – 2008. –№3.

6. Насыров, О.М. Анализ и оценка эффективности энергосбережения в промышленных проектах [Электронный ресурс] / О.М. Насыров // Фундаментальные исследования. – 2014. –№ 3–2. – С. 272-276

Представлено АО «О'ZLITINEFTGAZ»

УДК 553.98.041:550.514

БУХОРО-ХИВА НЕФТГАЗЛИ РЕГИОНИ, ҚОРАИЗ ТУЗИЛМАСИ ВА УНИНГ АТРОФИДА БИТУМ ТЎПЛАМЛАРИНИНГ ШАКЛЛАНИШИ

И.Х. Халисмагов, Ж.Қ. Бабалов, Ш.Э. Шомуродов

Мақолада Бухоро-Хива нефтгазли регионида битум тўпламларининг шаклланиши ва уларнинг ҳосил бўлишида тектоник жараёнларнинг таъсири тўғрисидаги маълумотлар келтирилган. Шунингдек Зирабулак-Зиаэтдин тоғларининг жанубий адири ва Қораиз брахиантиклиналида шаклланган тузилмалар ва уларнинг таркибидаги битумларнинг хусусияти кўриб чиқилган.

В статье проанализирована информация об образовании скопления битумов под влиянием тектонических процессов и их формировании в Бухара-Хивинском нефтегазоносном регионе. Также рассмотрена структура, которая образовалась на южном склоне Зирабулак-Зиаэтдинских гор и Караизской брахиантиклинали.

The article provides information on the formation of bitumen deposits in the Bukhara-Khiva oil and gas region and the impact of tectonic processes in their formation. The structure of the southern hill of the Zirabulak-Ziaetdin mountains and the Karaiz brahianticline and the characteristics of the bitumens in them are also considered.

Бугунги кунда ер юзасига яқин жойлашган ва қазиб олиш осон бўлган нефть конларини жадал ишлатиш натижасида уларни кескин камайиб кетаётганлиги сабабли, дунё нефтгаз қазиб олиш компаниялари оғир нефть ва табиий битум конларини ишлатишга катта эътибор қаратмоқда. Оғир нефть ва табиий битум уюмлари Ўзбекистон Республикасида хусусан Бухоро-Хива битум-нефтгазли регионида ва унинг атрофида бир қанча битум тўпламларининг шаклланганлигини ва бу регионда бугунги кунда ушбу ресурсларни баҳолаш, излаш ва келгусида махсулотни олиш ва қайта ишлаш масаласини хал қилиш долзарбмуаммолардан бири.

Бухоро-Хива битум-нефтгазли региони бўйича материаллар таҳлиliga кўра иккита битум намоёнланиш ҳудудига бўлиш мумкин. Биринчиси Зирабулак-Зиаэтдин тоғларининг жанубий адирида ва иккинчиси Қораиз брахиантиклинал ядросида. Зирабулак-Зиаэтдин тоғлари қанотлари шимолда ясси ($3-5^0$) ва жанубда эса кескин тушган кўтарилмалар билан чегараланган. Жанубий қанот бўйлаб бир-бирига уланиб кетган эгилмали узилмалар тизимли системаси ривожланган бўлиб, бу узилмали тизимлар А.Г.Бабаев томонидан Қизилкумолди узилмали тизимлар сифатида ажратилган [1].

Қораиз тузилмаси Когон кўтарилмасини ички контурининг шимолий қисмида жойлашган. Бу тузилма брахиантиклиналь, ёриб кирган узилмалар билан чегараланган. Бурманинг гумбаз қисми қизил рангли куйи бўр ётқизиқларидан ташкил топиб, юза қисмида эса апт-альбгача бўлган ётқизиқлар ювилиб кетган. Бўр ости қатлари қанотида юра ётқизиқлари очилган бўлиб, улар

гумбаз томон қийиқлашган. Қораиз майдонида нефть намоёнланиши учта ораликга мансуб: энг юқори қисми структуранинг ядро қисмида аниқланган альб ётқизикларининг битумли қумтошлари бўлиб, битум цементловчи масса кўринишида барча жинсларни тўйинтирган.

Бу қатламларда битум Зирабулак-Зиётдин тоғининг жанубий тоғолди қисмида бурғиланган қудуқлардан олинган керн намунасида, шунингдек Қораиз шимолида жойлашган Азкамар, Акрабат ва Хазар тузилмаларида бурғиланган қудуқлардан олинган керн намуналарида ҳам аниқланган [2]. Қора, баъзида малласимон-қора, смолали консистенцияси бўйича қовушқоқ ва қаттиқ битумлар тўпламини альбдан бошлаб сенон охирагача бўлган стратиграфик диапазонда учраган. Ишлаб чиқариш амалиётида махсулдор горизонтлар сифатида ажратилган XI (альб), X, IX (сеноман) ва VIII (турон) горизонтлар алевролитлар, қумтошлар, гравелитлар ва конгломерант терриген жинслари булиб, улар битумлар учун сақловчи жинслар ҳисобланади. Битум намоёнланишининг иккинчи оралиғи бўр (XIII горизонт) қизил рангли қавати билан боғлиқ бўлиб, қудуқларни бурғилаб ўтишда унча катта бўлмаган нефтьгазсув оқими олинган. Битум намоёнланишининг учинчи оралиғи кам ҳаракатланадиган нефть уюми аниқланган юқори юра оҳақтошлари билан боғлиқ.

В.А. Успенский синфланиши бўйича табиий битумлар мальта ва асфальтларга мансуб, бу жинслар цементловчи масса кўринишида тўйинган бўлиб, ғовақлар, бўшлиқлар ва ёриқларни тўлдиради.

Амударё синклизасида тектоник ҳаракатларнинг жадаллашиши неотектоник ривожланишнинг кечки даври (янги неоген-тўртламчи даври) га мансуб бўлиб, бунда тоғ жинсларининг парчаланиши ҳисобига бурмалар ва узилмалар ҳосил бўлган. Буларнинг барчаси жинсларда (шунингдек глинали жинсларда) турли ёриқларни пайдо бўлишига олиб келган. Эрта даврларда ҳосил бўлган узилмаларни ривожлантириш ва янги узилмаларни ҳосил бўлиши қопқоқ жинсларнинг мустаҳкамлиги бузилган ва уларнинг герметиклигини бузилишга олиб келган, нефть уюмларининг қайта шаклланиши ва бузилиб кетишига олиб келган ва базальт қатламлари тўпланган бўлиб, кучсизланган зоналар ва бўшлиқларда қўшимча ёриқлар ҳосил бўлган.

И.С. Старобинец (1966) Қораиз битум ва нефтларини ўрганиб уларни ўзаро ўхшашлиги ҳақидаги хулосага келган. Унинг фикрича, палеозой ва бўр даврлари ётқизиклари оралиғидаги стратиграфик номувофикликлар бўйича юра ётқизикларидан суяқ углеводородларни оқиб ўтиши натижасида альб қумтошларида битумлар йиғилган ва кейнчалик узилма бўйлаб юқорига физик-кимёвий таркиби турлича бўлган табиий битумлар тўпланган. Лекин, бошқа майдонларга (Газли, Қорабаир, Ғарбий Юлдузқак, Шимолий Муборақ, Учқир, Ғарбий Тошли, Тошли, Куюмазор ва бошқа кўпгина майдонларда) битумлар мавжудлиги ёки уларнинг излари бўр ётқизиклари қирқимида учрайди. Юқори юра ётқизикларида нефть-битумли махсулотлар Бухоро-Хива регионининг барча жойларида учрайди [1].

Нефть, смола концентрацияси, асфальтенлар ва олтингугурт зичлигининг ортиши ётиш чуқурлигининг камайиши билан боғлиқ.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Гиперген жараёнлар натижасида нефтнинг оксидланиши, алканларнинг бузилиши ва қаттиқ парафинлар улушининг камайиши содир бўлган, оксидланган мезонларнинг узоқ вақт таъсир қилиши нефтнинг даврий таснифини кучайишига олиб келганлигини кўриш мумкин.

Чарджоу поғонасидаги катагенез зонасида бўлган баъзи нефть конлари (Шимолий Ўртабулоқ, XV горизонт, 2626 м), ўзининг кўрсаткичлари бўйича умумий катаген ҳосилаларидан ташкил топган, чунки физик-кимёвий таркиби бир қатор жараёнларга боғлиқ ҳисобланади. Бу Шимолий Ўртабулоқ нефть кони учун ҳам таалуқли бўлиб, зичлиги $0,930 \text{ г/см}^3$, асфальт-смолали компонентлар (21,0 ва 3,4 %) ва олтингугурт (2,65 %) миқдори юқорилиги билан характерланади [3].

Юқоридагилардан келиб чиқиб, Бухоро-Хива битум нефтгазли регионидида табиий битум ва оғир нефть тўпланишини қуйидагича ифодалаш мумкин. Неоген-тўртламчи даврида тузилмалар режанинг умумий реконструкцияси ҳосил бўлган нефть уюмларининг катаген зонадан гипоген зонага алмашилишига олиб келган.

Фактик маълумотлар таҳлили шуни кўрсатадики, баъзи неоген қатламларда локаль тузилмалар юқори бўр ётқизикларидаги турли горизонтларда ювилган ҳолатда ётади. Бундай локаль тузилмалар кам чуқурликда ювилган палеоген қатламларининг гумбаз қисмидаги тузилмаларга, тўлиқ қатламланишини сақлаб қолган қуйи бўр маҳсулдор горизонтларга (Юлдузқак, Қараулбозор, Фарбий Тошли ва б) нисбатан кўп учрайди. Шунинг учун Бухоро поғонаси ҳудуди неоген даври ётқизикларида сезиларли ўсиш ва жадал эрозияни бошидан кечирмаган тузилмаларда уюмлар суёқ ва газсимон углеводородлар фақат юра ётқизикларида мавжуд. Бурмаларда аниқланган битум тўплари бухоро поғонаси ҳудудида жойлашган тоғ хошияларига яқин жойда ҳаракатчан участкаларда кўпроқ учрайди (Куюмазор, Қораиз, Азкамыр, Хазар, Акрабат ва б) [1]. Бу участкалар кичик қалинликдаги қопқоқ жинслар бўйича кам чуқурликда содир бўлган бурма ва узилмалар ҳосил бўлишини жадал жараёнига учраган. Бугунги кунда жинсларни жадал майдаланиши содир бўлган бўлиб, қопқоқ жинсларда турли ёриқларни ҳосил бўлишига олиб келган. Қопқоқ жинслар мустахкамлиги пасайиши ва жинсларнинг парчаланиши (узилмалар ҳосил бўлиши ҳисобига) натижасида нефть қатламларига таъсир қилиши лотераль бўлган ва кейинчалик алоҳида тузилмалар бўйича (Қораиз, Куюмазор, Хазар, Акзамар ва б) суёқ углеводородлар вертикал ҳаракатланган ва ер юзасига чиққан. Глина (Азкамар, қуйи турон, сенон) ва ангидритларда (Ақдзар майдони, Шўрчи ва б) битум тўпланишининг мавжудлиги Амударё синеклизасининг периферия қисмида қопқоқ жинсларнинг мустахкамлиги пасайиши ва улар экраланлиши хусусиятини йўқотиши ҳақида маълумот беради. Бунда чўкинди қоплама устки юзаси шароитида кислородга ва микроорганизмларга бой бўлмаган инфильтрацион сувлар таъсири шароитида коллекторлар бўйича нефтнинг ҳаракатланиш жараёнида енгил ёки “Мўтадил” нефть оғир ва юқори қовушқоқли нефтга айланади ва кейин мальта ва асфальтга айланади. Коллекторларнинг ер юзасига чиқиши билан бир вақтда нефтни зичлиги, қовушқоқлиги, смола ва асфальтенларни миқдорини ортиши битум ва нефтли қатламларнинг юқори қисмида асфальтли қопқоқ (пропка) ҳосил бўлади ва

уюмларни бузилишига тўсқинлик қилади. Бундай шароитда тўпланган битумлар Азкамир, Акрабат, Хазар ва бошқа тузилмаларда XI, X, IX ва VIII горизонтлар (альб сенон), Қораиз гумбаз кўтарилма қисмида, шунингдек Зирабулак-Зиаэтдин тоғлари чекка қанот қисмларида учрайди ва олтингугуртли кислород миқдори ўзгариб турувчи маҳсулотлар ҳисобланади [3]. Зирабулак-Зиаэтдин тоғлари чекка қанот қисмларида табиий битумлар тўплами томирсимон учрайди ва уларни пайдо бўлиши асосан ташлама тузилишга эга узилмали ёриқлар бўйича нефть изолиниялари билан боғлиқ алоҳида намуналардаги битумларни ўрганиш шуни кўрсатадики, уларнинг таркибида деярли 60 % мой ва нейтрал смола ва 17% асфальтенлар ташкил қилиши аниқланган. Бу битумлар нафтен қаторига мансуб бўлиши мумкин [4]. Олтингугуртли битумлар ҳосил бўлиши жараёнида бузилиши ва кўринишининг ўзгаришга учраган нефтлар смолали, асфальтли ва турли миқдорда олтингугуртли бўлиб метан-нафтенли қаторга мансуб. Кўриладиган табиий битумларга мансуб сувлар сульфат-натрийли турига мансуб. Сульфат-натрий сувлар мавжудлиги бактериялар фаолияти ҳисобига сувларда сульфатларни биологик тикланиши натижасида Зирабулак-Зиаэтдин тоғ ён бағирларида нефтни оксидланишига хизмат қилган. Инфилтрацион сувлардаги бактериялар катализатор ҳисобланади.

Ўрганиладиган майдонда бурғиланган қудуқлар ва шурфдан олинган керн намуналарида битумларни миқдори бўйича Қораиз майдонидан ташқари яна олтида майдонда мавжуд: Майзак, Кермине, Сукайти I, Сукайти II, Чадир, Фарбий ва Қораиз (1-расм).

Майзак битумли майдони Зирабулак-Зиаэтдин тоғининг шимолий қанотида жойлашган. Майдони-38 км². Бу ерда палеозой ётқизиклари устида 30 метрдан 290 метр чуқирликгача юқори сеноман ва қуйи турон ётқизиклари ётади, бу ётқизиклар глина, глинали алевролитлар, гравлет ва кумтош оралиқ қатламчалари билан алевролитлардан ташкил топган. Битум тўпламлари 40 та кичик чуқурликдаги қудуқларда 18-290 м оралиқлардаги асосан IX горизонт (сеноман) алевролитлар, гравелитлар ва баъзида глинали алевролитларда учрайди.

Кермине битум майдонлари Зирабулак-Зиаэтдин тоғининг шимолий қанотида жойлашган. Майдони –1,45 км². Битумлар IX горизонт ва қуйи турон жинсларида учрайди. Битум тўпламлари аниқланган (гравелитлар, кумтошлар, алевролитлар, алевритли глиналар) ётқизиклар 86-120 м чуқурликда ётади.

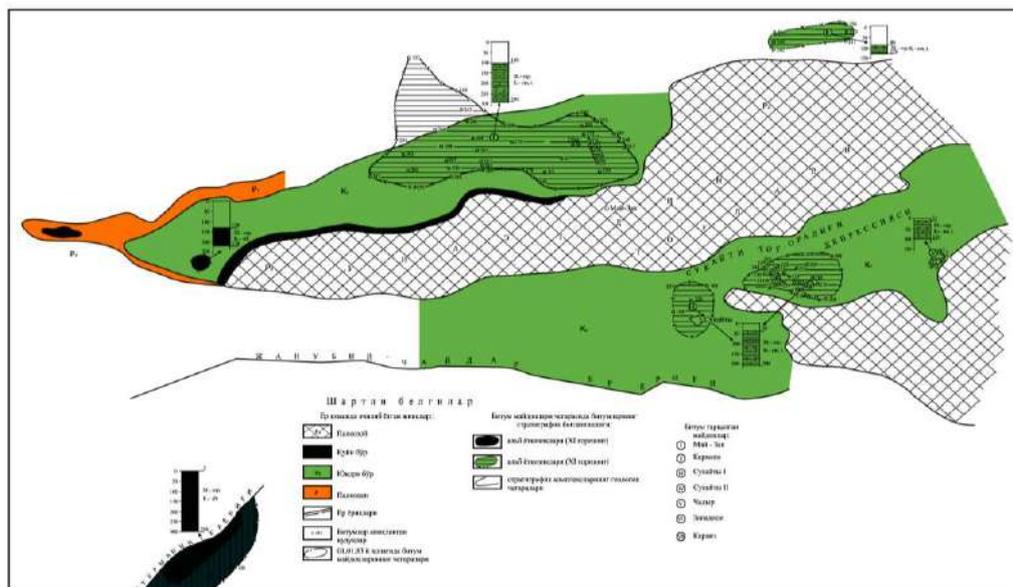
Сукайти I битумли майдон Сукайтин ботиклигида жойлашган. Майдони – 2,5 км². Битумлар сеноман ётқизикларининг устки юзасига (IX горизонт) мансуб. Гравелитлар, алевролитли оҳактошлар ва оҳактошларнинг алоҳида бўшлиқларида (каверноларида) ва ёғсимон ва ҳатто суюқ (мальта туридаги) битумлар учрайди. Қуйи турон гравелитлари ва кумтошларида 36-206 м чуқурликда битум тўпламлари учрайди.

Сукайти II битумли майдон юқоридаги майдонлар қаторида жойлашган. Майдони – 6,5 км² бу ерда битумлар сеноман ётқизиклари (IX горизонт) ва қуйи турон ётқизикларининг гравелитлар, алевролитли оҳактош жинсларида учрайди.

Чадир битум майдони Сукайтин ботиклигида жойлашган. Майдони 0,25 км². Битумлар пойдевор устида ётган сеноман алевролитларида ва қуйи турон гравелитларида учрайди. Битум тўпламлари 11-103 м оралиқларида аниқланган.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Ғарбий битум майдони Зирабулак-Зиаэтдин тоғининг ғарбий периклиналида жойлашган. Майдони 0,37 км². Битумлар тўпланиши альб кумтошлари ва гравелитлари билан боғлиқ. Булар алоҳида бўшлиқлар ва ёриқларни тўлдиради. Баъзида битум тўпламлари цементловчи масса кўринишида ва сочилган ҳолда учрайди. Қораиз битум майдони айнан шу номдаги гумбаз тузилмада жойлашган. Майдони 11,25 км². Битум тўпламлари 2-103 м ораликда альб (XI горизонт) кумтошлари билан боғлиқ.



1-расм. Зиаэтдин тоғ адирларда ва Қораиз кўтарилмасида битум майдонларининг жойлашиш харитаси

Таъкидлаб ўтилганидек битум тўпламлари Азкамар, Акратат, Ҳазир тузилмаларига бурғилаш натижасида олинган кен намуналарида олинган. Ҳазар гумбазли тузилмасига бурғиланган 11 қудукда 520-530 м ва 530-546 м ораликда сеноманнинг юпқа заррали кумтошларидаги ёриқларда учрайди ва бу битумлар мойсимон, қовушқоқ қора рангда. Кесим бўйича куйида турон ётқизиклари майда заррали кумтошларида, кучли пиритланган ғовак оҳақтошларида (VIII горизонт 639-942 м ораликда), ҳам битум тўпламлари учрайди.

Юқорида келтирилган маълумотлар асосида куйидагича хулоса қилиш мумкин. Барча битум тўпламлари кен стратиграфик диапазонда тарқалганлигига қарамай (палеозойдан бошланиб сеноманда тугайди), асосан альб, сеноман, куйи турон ҳосилаларига мансуб бўлиб, алевролит, қумтош ва гравелит тоғ жинслари билан боғлиқ. Қатламнинг максимал қалинлиги битумларга бой (суюқ, суюқсимон ёки синувчи), кўп ҳолларда 15 м ни ташкил қилади. Бу эса турон ва сенон глина ва глинали алевролитларида учрайдиган битум тўпламлари Амударё синклизаси периферия қисмидаги жинсларнинг мўртлиги ва экранлашиш хусусиятини йўқотганлигидан дарак беради.

Адабиёт

1. Хаимов Р.Н., Ходжаев Р.А. Закономерности размещения и условия формирования скоплений природных битумов и высоковязких нефтей. - Ташкент:Фан, 1987.

2. Шоймурадов Т.Х. Тяжёлая нефть и природный битум – новый источник увеличения производства нефтепродуктов в Республике Узбекистан. //Нефть и газ, 2012.

3. Пулатова У.П. и др. Отчёт «Геологическое изучение, добычи и переработки тяжёлых нефтей и природных битумов в Республике Узбекистан». /Фонды АО «ИГИРНИГМ». 2012.

4. Юдин Г.Т., Жабреева Л.С. и др. Изучение условий залегания природных битумов. -М.:Недра. 1981.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 622.692.24

**ГАЗНИ ЕР ОСТИ САҚЛАШ ИНШООТЛАРИНИ ИШЛАТИШДА
ҚУДУҚЛАРНИ ТАДҚИҚОТ ҚИЛИШ ИШЛАРИНИ
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

А.И. Муродов, С.Ш. Хабибуллаев

Мақолада гидродинамик тадқиқотлар таҳлили кўламини оптималлаштириши ва ер ости газларини сақлаш иншоотларини ташиқил этиши ва улардан фойдаланишида қудуқларнинг ишлаш тартибини белгилашнинг долзарб муаммоси кўриб чиқилган. Хўжаобод ер ости газ сақлаш иншоотини ишлатишида қатлам босимининг ўзгариши омборга газни ҳайдаш ва ер ости газ сақлаш иншоотинидан газни олиш мавсумига боғлиқлиги аниқланди. Ер ости газ сақлаш иншоотида газни ҳайдашдан ва газни олиш олдидан қудуқларда гидродинамик, газадинамик ва геофизик тадқиқотлар олиб борилади.

В статье рассмотрена актуальная проблема оптимизации масштаба анализа гидродинамических исследований и определения порядка работы скважин при организации и эксплуатации подземных газохранилищ. Установлено, что изменение пластового давления при эксплуатации Ходжабадского подземного газохранилища зависит от сезонности заброса газа на склад и извлечения газа из подземного газохранилища. Гидродинамические, газодинамические и геофизические исследования в скважинах проводятся до заброса газа в подземное газохранилище и до забора газа.

The article deals with the actual problem of optimizing the scale of analysis of hydrodynamic studies and determining the order of operation of wells during the organization and operation of underground gas storage facilities. It has been established that the change in reservoir pressure during the operation of the Khoja-Bad underground gas storage depends on the seasonality of gas injection into the storage and gas extraction from the underground gas storage. Hydrodynamic, gas-dynamic and geophysical studies in wells are carried out before gas is thrown into the underground gas storage and before gas is taken.

Кириш. Ҳозирги кунда дунёнинг қисман фойдаланиладиган нефт-газ ва газ конденсати конларида шакланган газ сақлаш иншоотларини оқилона лойиҳалаш ишлари ҳар томонлама тадқиқотларни талаб этади. асосий мақсад қудуқларнинг оптимал ишлашини таъминлашдир. Комплекс тадқиқотлар гидродинамик геофизик тадқиқотларни қамраб олади. Замонавий назорат тизимларини ишлаб чиқиш учун мақсадли тадқиқотлар олиб борилмоқда, гидродинамик тадқиқотлар қудуқ туби босимини ўлчаш, қудуқ ҳосил бўлиш босими, қудуқ ҳарорати ва ҳосил бўлиш ишларини бажаришни тақозо этади. Уларни амалга ошириш орқали қудуқларнинг ишлаши йўлга қўйилади. қудуқларнинг оптимал ишлаши муаммосини ҳал қилиш учун қўйидаги йўналишлар ишлаб чиқилмоқда: ахборот ва аналитик тизимларга асосланган ер ости газ сақлаш объектининг ишлашини тезкор таҳлил қилиш вазифаларига

тизимли ёндашув тамойилларини қўллаш; табиий газ тақсимотининг салбий гидродинамик жараёнларини олдини олиш ва бартараф етиш; қудуқлардаги сув даражасини камайтириш ва улардаги сув даражасини камайтириш.; узоқ муддатли истиқболда қудуқларнинг технологик ишончилигини сезиларли даражада ошириш чора-тадбирларини қамраб олади[1].

Хўжаобод газни ер остида сақлаш иншоатини ишлатишда гидродинамик тадқиқотларни амалга ошириш орқали ишлаш тартиби мақбуллаштирилади. Хўжаобод ГЕОСИни ишлатишда гидродинамик тадқиқотдаш ёки жорий тадқиқотлаш ишлари олиб борилади. Жорий тадқиқотларнинг асосий вазифаси омборни ишлатишни таҳлил қилиш ва назорат қилиш учун зарур маълумотларни олишдан иборат. Жорий тадқиқот хажми омборнинг аниқ шароитига қараб белгиланади ва асосан қудуқларни гидродинамик тадқиқ қилишдан иборат бўлади.

Бундан мақсад илгари қабул қилинган параметрларни текширишдан ва уларни омборни ишлатиш жараёнида ўзгариш қонуниятларини белгилашдан, агар текширилаётган параметрлардаги ўзгаришлар жиддий бўлса лойихавий кўратгичларга тегишли ўзгартиришлар киритишдан иборат бўлади. Омборда ишлаётган қулҳдуқлар бўйича босимни ўлчаш уларнинг камида 50% ни тўхтатган ҳолда йилига камида 1-2 марта бажарилади [2-3].

Усуллари ва материаллари. Кон назорат ишлари комплекс тадқиқотлар ва экспериментларни ишларни, кон кўзатувларини ўрганиш бўйича ва қатламнинг асосий параметрларини таҳлили ҳамда газогидродинамик, геокимёвий ва қатламда содир бўладиган бошқа жараёнларни ўз ичига олади.

Газни ер остида сақлаш иншоатинида қатламининг, майдонинг алоҳида қисмларида қатлам босимини динамикасини оператив таҳлилин аналгао ширилади.

Қатламда юз берадиган жараёнларни кон геофизикаси ва қудуқда газодинамик тадқиқотлар ўтказиш орқали ўрганиш.

Қатламдаги жараёнларни ўрганишда комплекс ёндошувлардан фойдаланиш яъни ГИС ва ГДИ орқалиер ости газ омборини ишлатишда қуйидаги масалаларни вamuаммоларни ечишни таъминлаш:

- газни ҳайдаш ва олиш вақти жараёнларида газни ер остида сақлаш иншоатинида алоҳида майдонларини газга тўйинганлик характерини ўрганиш;
- газ сув контактининг оралиқ ҳолатини ва горизонт контуридаги қатламнинг сувланганлик ҳолатини аниқлаш;
- газни ер остида сақлаш иншоати горизонтидаги газга тўйинганлик оралиқ ҳолатини аниқлаш;
- эксплуатацион қудуқларни маҳсулдорлик характеристикасини ўрганиш, вақт бўйича динамикаси, қатламнинг маҳсулдор қисминини ҳолатини қайта ишлаш, вақт ва майдон бўйича филтрацион-сигимлар параметрларини динамикаси ватақсимланишини ўрганиш;
- бу тадқиқотлар натижаларини умумлаштиришга тўйинганлик ҳажминини шаклини назорат қилиш ва ҳолатини аниқлаш имконини беради ва ҳар бир қудуқни технологик ишлаш режимини белгилашда чуқур объектив ечим ҳисобланади;

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

- кудукларнинг маҳсулдорлигини ошириш учун қатламнинг кудук туби зонасини тозалашч ора-тадбирларини режалашлаштириш;
- газни ер остида сақлаш иншоатининг алоҳида қисмларида қатламнинг ҳарорат динамикасини ўрганиш керак.

Юқоридаги маълумотларга ва геофизик материалларга таянган ҳолда ер ости газ омборини ишлатиш режимлари яқин йиллар учун белгиланади.

Кудукларнинг гидродинамик тадқиқотлари қуйидаги хусусиятларни аниқлашга имкон беради: тупроқ босими, филтрлаш коэффициентлари, ҳосилалардаги сув миқдори, турли хил газларнинг мавжудлиги, суюқликларни қатламлар бўйича ўтказиш ва ютиш қобилияти, сиртдан масофада резервуар зоналарининг жойлашуви, қатламларнинг фойдали ресурслар билан тўйинганлик даражаси, кудукдаги моддаларнинг жисмоний сифати: зичлик, ҳажм, босим, ёпишқоқлик ва бошқа хусусиятлар. Хўжаобод Газни ер остида сақлаш иншоатинида гидродинамик тадқиқотлари икки босқичдаги 20 та кудукда олиб борилди.

801 – 14мм лик шайба режимида тадқиқотлар натижалар 5-дақиқа ўтганидан сўнг суюқлик эритма билан чиқиб кетди ва тўхтатилди, кудукни капитал таъмирлаш тавсия этилади.

857 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарқи) оширди, қатлам босимини рационал сарф қилиниши учун кудукни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни тавсия қиламиз.

806 - тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, самарали маҳсулдорлик тавсифи ишчи депрессияни оширмайди, ушбу кудукда қатлам сарфини рационал сарфи учун ишчи депрессияни оширмаслик, кудукни ювиш тавсия қилинади.

810 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, самарали маҳсулдорлик тавсифи ишчи депрессияни оширмайди, ушбу кудукда қатлам сарфини рационал сарфи учун ишчи депрессияни оширмаслик, кудукни ювиш тавсия қилинади.

815 – тадқиқот натижалари кўрсатди, маҳсулдорликни ўлчашнинг барча режимларида ишчи депрессия ошмади, қатлам энергиясини рационал сарфлаш мақсадида ушбу кудукда ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

818 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарқи) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва кудукда синиш ҳосил бўлмаслиги учун кудукни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

823 - тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарқи) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва кудукда синиш ҳосил бўлмаслиги учун кудукни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

824 - тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарқи) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва кудукда синиш ҳосил бўлмаслиги учун кудукни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

844 - тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

856 - 14мм лик шайба режимида тадқиқотлар натижалари 5-дақиқа ўтганидан сўнг суяқлик эритма билан чиқиб кетди ва тўхтатилди, қудуқни капитал таъмирлаш тавсия этилади.

Иккинчи босқич тадқиқотлар натижалари

827 – тадқиқот натижалари яхши маҳсулдорлик тавсивларини кўрсатди, қатлам энергиясини рационал сарфини таъминлаш мақсадида ушбу қудуқда ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

833 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, қудуқни ювишни тавсия қиламиз.

837 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, қудуқни ювишни тавсия қиламиз.

842 – тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, 20мм ли шайба режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни 14-17мм лик штуцерларда ишлатишни, қудуқни ювишни тавсия қиламиз.

843 – тадқиқот натижалари кўрсатди, маҳсулдорликни ўлчашнинг барча режимларида ишчи депрессия ошмади, қатлам энергиясини рационал сарфлаш мақсадида ушбу қудуқда ишчи депрессияни оширмасликни тавсия қиламиз.

850 - Тадқиқотлар натижасида 20 мм лик шайбалик режимида 5-дақиқадан сўнг суяқлик билан эритма чиқиб кетди ва тўхтатилди, маҳсулдорлик ўлчами 8 дан 11 мм гача бўлган штуцерларда ишлатишни тавсия қиламиз

838- тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, барча режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни ишчи депрессияни оширмасликни, қудуқни ювишни тавсия қиламиз.

873- тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, барча режимида маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарки) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ва қудуқда синиш ҳосил бўлмаслиги учун қудуқни ишчи депрессияни оширмасликни, қудуқни ювишни тавсия қиламиз.

875 – тадқиқотлар натижаси бўйича 17 мм шайбали режимда 5-дақиқадан сўнг суяқлик билан эритма чиқиб кетди ва тўхтатилди, тадқиқотда 2080м перфорация интервали 2093м ёпик, қудуқни ювиш тавсия этилади.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

876 - тадқиқотлар натижаси шуни кўрсаттики, барча режимда маҳсулдорлик ўлчами ишчи депрессия (босимлар фарқи) оширди, қатлам босимини рационал сарфланиши мақсадида ушбу қудуқни ишчи депрессияни оширмасликни [4].

2-Жадвал

Хўжаобод газни ер ости сақлаш иншооти қудуқларини ўрганиш
натижалари

№ п/п	Қудуқлар	A	B	$Q_{ac} \times 10^3 \text{ м}^3/\text{д}$
<u>XIX, XX, XXI, XXII-горизонтлар</u>				
1.	801	A = 2,90435	B = 0,01100	<u>Q_{ac.g} = 1484,7 тыс.м³/сут.</u>
2.	806	A = 2,7082	B = 0,03202	<u>Q_{ac.g} = 1034 тыс.м³/сут.</u>
3.	810	A = 3,70714	B = 0,08797	<u>Q_{ac.g} = 674,7 тыс. м³/сут.</u>
4.	815	A = 3,70714	B = 0,03642	<u>Q_{ac.g} = 996,0 тыс.м³/сут.</u>
5.	818	A = 1,39514	B = 0,01165	<u>Q_{ac.g} = 1593,2 тыс.м³/сут.</u>
6.	823	A = 2,5862	B = 0,02826	<u>Q_{ac.g} = 1114,4 тыс.м³/сут.</u>
7.	824	A = 3,89544	B = 0,00956	<u>Q_{ac.g} = 1499,1 тыс.м³/сут.</u>
8.	844	A = 2,0899	B = 0,04240	<u>Q_{ac.g} = 891,8 тыс.м³/сут.</u>
9.	856	A = 3,31976	B = 0,03441	<u>Q_{ac.g} = 894,8 тыс.м³/сут.</u>
10.	857	A = 4,19093	B = 0,01782	<u>Q_{ac.g} = 1203,2 тыс.м³/сут.</u>
11.	827	A = 11,2779	B = 0,00792	<u>Q_{ac.g} = 1441,9 тыс.м³/сут.</u>
12.	833	A = 3,62255	B = 0,0174,7	<u>Q_{ac.g} = 1258,2 тыс.м³/сут.</u>
13.	837	A = 8,51551	B = 0,06406	<u>Q_{ac.g} = 785,5 тыс.м³/сут.</u>
14.	838	A = 5,16088	B = 0,02307	<u>Q_{ac.g} = 1088,3 тыс.м³/сут.</u>
15.	842	A = 6,44812	B = 0,00913	<u>Q_{ac.g} = 1574,6 тыс.м³/сут.</u>
16.	843	A = 12,08	B = 0,06166	<u>Q_{ac.g} = 825,8 тыс.м³/сут.</u>
17.	850	A = 6,63616	B = 0,01033	<u>Q_{ac.g} = 1435,9 тыс.м³/сут.</u>
18.	873	A = 15,0625	B = 0,00613	<u>Q_{ac.g} = 1345,5 тыс.м³/сут.</u>

Натижалари. Амалга оширилган гидродинамик тадқиқотга кўра, қудуқлар учун қуйидагилар тавсия этилиши мумкин: қудуқлар учун 801,857,806,810,815,818,823,824,844 ва 856, индикатор диаграммаси А-коэффициентининг ошиши, ўтказувчанлик коэффициентининг пасайиши ва В-коэффициентининг ошиши тешилиш ва филтрлаш шароитларининг ёмонлашуви билан боғлиқ, шунингдек, паст ўтказувчанликнинг пастлиги, кам ўтказувчанлигини оширади. Қудуқларини тадқиқ қилиш XXI, XXII-горизонтлардаги 15 та қудуқлар тубида қум ётқизиқлари тўпланишини кўрсатади. Юқорида айтиб ўтилган қудуқларни ювиш тавсия этилади. Барча ишлаб чиқарувчи қудуқларда унумдорликни сақлаб қолиш ва ҳосилалар деградациясининг олдини олиш мақсадида қудуқнинг технологик ишлаш режимига риоя қилиш тавсия этилади. Қудуқларнинг унумдорлигини ошириш ва қудуқ тубини тозалаш учун физик-кимёвий, кислотали ишлов бериш муҳим ўрин тутди. Геотермал қудуқлардан фойдаланиш унумдорлиги ва унумдорлигини сақлаб қолиш мақсадида қудуқни қум тикилишидан ва ифлосланишдан тозалаш чораларини кўришни тавсия етамиз.

Хулосалар. Нефт ва газ конларини ишлатишда, узлаштиришда катламларни курсаткичлари хақидаги маълумотлар ва қудуқларнинг гидродинамик тадқиқотлари жуда муҳимдир. Узлаштирилган курсаткичларни катлам босимини, ҳароратини ва ҳолатини баҳолаб таҳлил қилиниб нефт ва газ конларини лойиҳасини тузишда, илмий йуналишларда ишлашда фойдаланилади. Барча ишлаб чиқариш қудуқларида маҳсулдорликни сақлаб қолиш мақсадида ва қатламларда бузилишни олдини олиш мақсадида қудуқларни ишлатишни технологик режимга риоя этиш тавсия қилинади. Қудуқларнинг унумдорлигини ошириш ва қудуқ туби қисмини тозалаш учун физик-кیمیвий, кислотали ишлов бериш муҳим ўрин тутади.

Адабиёт

1. Хабибуллаев С.Ш., Буронов М.Д. Газни сақлаш объектларини лойиҳалаштириш ва қуриш. Ўқув қўлланма. Тошкент, 2020. 46-50 б.
2. Муродов А.И., Хабибуллаев С.Ш. Анализ и значения гидродинамических исследований при эксплуатации Ходжабадского ПХГ /Роль науки и образования в модернизации предприятий нефтегазовой отрасли. – Ташкент, 2021, - С.547-552.
3. Мўйдинов М.М., Муродов А.И., Хабибуллаев С.Ш., Абидов А.Ш. Хўжабод ер ости газ иншооти қудуқларида мураккаб қум тикинларини тозалашни такомиллаштириш усуллари Техника юлдузлари илмий журнали Тошкент. 2021 й. 3 сон, 23-29 б.
4. Муродов А.И., Хабибуллаев С.Ш. Ер ости газ омборларини ишлатишда кон-геологик назорат тизимлари оқали мақбул бўлишини таъминлаш /Геологик-қидирув ишларининг замонавий муаммолари ва ривожлантириш истикболлари мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами Қарши-2020 йил, 29 май. 248-252 бетлар.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 544.723

**МАҲАЛЛИЙ КЎМИР АСОСИДА ОЛИНГАН АДСОРБЕНТНИ ТОЛУОЛ
БУҒЛАРИ БИЛАН ТУЙИНТИРИБ, УНИНГ АДСОРБЦИОН ЭНЕРГЕТИК
ХУСУСИЯТЛАРИНИ ЎРГАНИШ**

Г.М. Гуломова, Э.Б. Абдурахмонов, М.С. Тиллашайхов, Д.О. Низимова

Ангрен кўмири қолдиқларидан унумли фойдаланган ҳолда саноат эҳтиёжлари учун зарур бўлган маҳсулотлар ишлаб чиқариши бугунги куннинг долзарб масалаларидан бири ҳисобланади. Республикамиздаги кўмири қолдиқларини қўшимча моддалар билан бойитиши ва ғовакли адсорбентлар олиши ва олинган кўмири адсорбентларининг адсорбцион хусусиятларини тўлиқ ўрганишида турли хил сорбцион усуллардан фойдаланиб, углерод материалли адсорбентларнинг сорбцион хусусиятларини ўрганиши имконини беради. Юқори вакуумли адсорбцион қурилмада, юқори сезгирликка эга бўлган ДАК 1-1 калориметрик аппаратида олинган углерод материалли кўмири адсорбентига бензол адсорбция изотермаси, дифференциал иссиқлиги, энтропияси ва термокинетикасини аниқлаши орқали янги адсорбентнинг адсорбцион ҳажми, актив марказлари жойлашиши ва тузилиши, ғовакларнинг ўлчамлари бўйича батафсил тавсифлаши имкони беради.

В статье описывается обогащение угольных остатков Ангренского месторождения добавками, с получением пористых адсорбентов и изучение адсорбционных свойств полученных угольных адсорбентов, что позволяет использовать сорбционные свойства адсорбентов, углеродного материала. В высоковакуумном адсорбционном устройстве адсорбционный объем нового адсорбента определяется изотерме адсорбции бензола, дифференциальной теплоты, энтропии и термокинетики углеродсодержащего адсорбента из углеродного материала, полученного в высокочувствительном калориметрическом аппарате ДАК 1-1; подробно описывает расположение и структура действующих центров.

One of the urgent problems is the production of products for industrial needs with the efficient use of Angren coal waste. The enrichment of coal residues with additives and with the production of porous adsorbents and a complete study of the adsorption properties of the obtained carbon adsorbents makes it possible to study the sorption properties of adsorbents, carbon material using various sorption methods. In a high-vacuum adsorption device, the adsorption volume of a new adsorbent by determining the adsorption isotherm of benzene, differential heat, entropy and thermo kinetics of a carbon-containing adsorbent from a carbon material obtained in a highly sensitive calorimeter DAK 1-1 describes in detail the location and structure of the active centers.

Кириш. Ҳозирги вақтда ғовакли углеродли материалларни ишлаб чиқаришнинг саноат усуллари учун асосий хомашё: ёғоч ва унинг чиқиндилари (қобиғи, lignin), ёғсиз коксланмаган кўмири, жигарранг кўмири, торф, баъзи

полимерик материаллар, ёнғоқ қобиғи (кокос ёнғоғи ва бошқалар).), қаттиқ мева қобиқлари (зайтун, шафтоли), углерод қора, пек, кокс (нефт ва кокс кимёси маҳсулотлари) ва бошқалар [2].

Углерод материалларини ишлаб чиқариш учун асосий хом ашёлардан бири углеводород хом ашёси пиролиз маҳсулотлари нефт, кўмир ва табиий газдир [3].

Углерод сорбентларининг хоссалари уларнинг табиати билан белгиланади. Уларнинг тузилиши углерод атомлари қатламларидан графитга ўхшаш тузилган ва углерод атомларининг ички ва қатламлараро жойлашиш даражасида фарқ қиладиган тузилма сифатида ифодаланиши мумкин. Ушбу материаллар ўз ҳажмида ғовакли бўшлиққа эга бўлиб, унинг хусусиятлари бирламчи буюртма қилинган кристалитларнинг катталиги, уларни ҳосил бўлиш табиати ва ўзаро йўналиши билан белгиланади [4].

Гранулали фаоллаштирилган углероднинг турли хил иш шароитида инерт газли оқимдан учувчи органик бирикмаларни самарали адсорбциялашда ишлашини экспериментал тарзда аниқлаш ишлари олиб борилган. Гранулали фаол углеродда толуолнинг учувчан органик бирикмасини (ВОС) адсорбциясини ўрганиш бўйича тажрибалар ўтказилди. Тажрибалар ҳар хил иш шароитида ётқизилган адсорбцион устунда ўтказилди. Экспириментал ўзгарувчилар диапазони қуйидагича: кириш газининг концентрацияси (7000 - 24775 ppm), газ оқими тезлиги (50-70 мл/мин) ва адсорбент устунининг баландлиги (0,015 - 0,025 м) [17].

Тадқиқот объекти ва методлари. Маҳаллий кўмир қолдиқларини нефт маҳсулотларининг кокси ва асфальтен билан аралаштириб олинди 800°C да қиздирилади. Қиздириш натижасида таркибдаги кўшимча газлар чиқиб кетади. Ундан пиролиз усулида активлантирилган кўмир олинади.

Олинган адсорбентга толуол адсорбцияси изотермаси юқори вакуумли адсорбцион қурилманинг босимини аниқлаш қисмида аниқланди. Адсорбция дифференциал иссиқлиги босим қийматларига ва Тиан-Кальве моделидаги ДАК 1-1 калориметридан чиқаётган энергияни назарий ҳисоблаш орқали ўлчанади. Адсорбция изотермаси аниқлашда ҳажмий ва капилляр (суюқлик) усулда фойдаланилди. Адсорбция изотермаси аниқлик хатолиги 0,1% ва иссиқлиги 1% гача бўлади.

Адсорбат сифатида олинган толуол сорбцияда фойдаланишдан аввал цеолитлар аралашмасида ва вакуум шароитида тозаланди. Ютилувчи моддаланинг буғ босими, яъни абсолют толуол учун жадвалларда келтирилган буғ босими маълумотлари билан бир хил бўлгунча таркибдаги кўшимча газлар чиқариб юборилади.

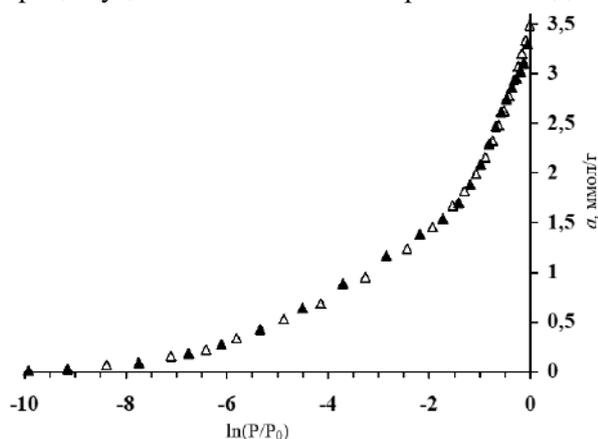
Маҳаллий ангрен кўмирини активлаб активлантирилган кўмир адсорбенти намунасига толуол адсорбцияси 303 К да олиб борилди.

Олинган натижалар ва муҳокамалар. Углерод материалли адсорбентининг сорбцион жараёнларни фундаментал тадқиқ қилишда юқори вакуумли адсорбцион қурилмада ўтказилган тажрибалардан олинган натижаларга асосланади.

1-расмда 303° К ҳароратда маҳаллий кўмир, кокс ва асфальтендан олинган углерод материалли адсорбентга толуол адсорбцияси изотермаси келтирилган.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

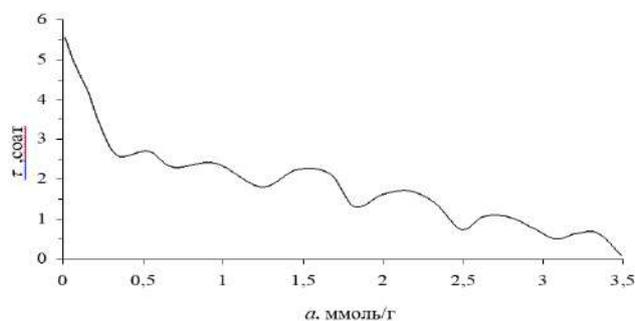
Олинган адсорбентнинг микроговакларига толуол адсорбция изотермаси дастлаб $\ln(P/P_0)=-10$ ни кўрсатади. Толуол молекуласининг ўлчами 0,67 нм ташкил этади. Дастлабки молекулаларнинг ютилиш изотермаси қийматига асосланиб олинган углерод материалли адсорбентнинг микроговакларига адсорбцияланишидан далолат беради. Адсорбентга толуол молекулалари адсорбция миқдори 1 ммоль/ггача бўлган қийматда кучли адсорбцияланади. Бу адсорбция қийматида толуол молекулаларининг адсорбция изотермаси $\ln(P/P_0)=-3,5$ ни ташкил қилади. Кейинги толуол молекулалари адсорбциясида изотерма чизиқларини адсорбция ўқи томон интилиши бироз тезлашади.



1-расм. 303 К ҳароратда олинган углерод материалли адсорбентга толуол буғлари адсорбциясининг изотермаси: Δ -экспертмент қиймат; \blacktriangle -МХТН тенгламаси орқали ҳисобланган нуқталар

Адсорбцияланган толуол молекулалари миқдори 2 ммоль/гдан ортгандан кейин адсорбция ўқиға интилиши кучайиб боради ва 3,5 ммоль/гда тўйинади. Демак, адсорбция миқдори 1,5 ммоль/ггача бўлганда углерод материалли адсорбентнинг микроговаклари қисмида адсорбцияланиди. Буни изотерма чизиқлари ўзгаришида ҳам кузатиш мумкин. Толуол молекулаларининг ютилиш миқдори 1,5 ммоль/гдан кейин эса углерод материалли адсорбентнинг микроговакларидан ўтиб, мезоговакларнинг актив марказлари қисмига адсорбцияланади. Адсорбция 3,5 ммоль/гга етганда қурилмадаги босим 35,7 мм.сим. уст. тенг бўлади. Бу қиймат толуолнинг 30⁰С ҳароратдаги тўйиниш буғ босимиға жуда ҳам яқинлашиши ва углерод материалли адсорбентнинг олинган адсорбат молекулаларига тўйиниши кузатилади.

2-расмда олинган углерод материалли адсорбентга толуол молекулалари адсорбцияси мувозанат вақти келтирилган. Дастлабки толуол молекуласининг термокинетика вақти 5,6 соатни ташкил қилади. Бундан келиб чиқиб шуни айтишимиз мумкинки, ютилаётган молекулаларга нисбатан адсорбент микроговакларининг сони кўплиги ва шу говакларга толуол молекулалари тақсимланишиға кўпроқ вақт сарфланади. 0,5 ммоль/г гача бўлган толуол молекулалари термокинетика вақти 3 соатгача камайиши кузатилади. 0,5 ммоль/гдан кейин тўлқинсимон кўринишда мувозанат (термокинетика) вақти аста секинлик билан камайиб боради. Жараён охирида бир неча дақиқагача пасаяди.



2-расм. 303° К ҳароратда олинган углерод материалли адсорбентга толуол буғлари адсорбцияси термокинетиқаси

Хулоса. Олинган углерод материалли адсорбентга толуол молекулалари адсорбцияси дифференциал иссиқликлари пағонали кўринишда пасайиб боради. Дастлабки адсорбция иссиқлиги 89,91 кЖ/мольни ташкил қилади. Адсорбция иссиқлигининг юқори бўлиши микроғовақлардаги металл катионлари билан ютилган толуол молекулалари ўзаро таъсирлашиб комплекслар ҳосил бўлиши ҳисобига юқори энергия билан боради. Олинган тажриба натижаларига асосланиб, адсорбция изотермаси, дифференциал иссиқлиги, энтропия ва термокинетика қийматлари бир бирига мутоносиб келиши исботланди.

Адабиёт

1. Фенелонов, В. Б. Пористый углерод / В. Б. Фенелонов. – Новосибирск: Ин-т катализа СО РАН, 1995. – 518 с.
2. Кирш Ю.Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламиды / Ю.Э. Кирш. - М. :Наука, 1998. – 252 с.
3. Лихолобов, В. А. Каталитический синтез углеродных материалов и их применение в катализе / В.А. Лихолобов // Соросовский образовательный журнал. 1997. - № 5. - С. 35 - 42.
4. Суrowикин, В. Ф. Применение углеродного гемосорбента ВНИИТУ-1 для детоксикации организма в клинической практике как медицинского сорбента нового поколения / В.Ф. Суrowикин / Химическая и химико-фармацевтическая промышленность в современных условиях: тез. докл. регион. науч.-практ. конф. - Новосибирск, 1999. - С.52 – 53.
5. Углеродные гемо- и энтеросорбенты на основе нанодисперсных углерод-углеродных материалов и использование их в медицине при критических состояниях / В.Ф. Суrowикин [и др.] // Эфферентная терапия. 2008. – Т.14, № 1-2. –С. 4 - 8.
6. Mentzen B.F., Rakhmatkariev G.U. Host/Guest interactions in zeolitic nonostructured MFI type materials: Complementarity of X-ray Powder Diffraction, NMR spectroscopy, Adsorption calorimetry and Computer Simulations // Узб. хим. журнал, 2007. -№6. -С. 10-31.

*Тошкент давлат техника
университети томонидан тақдим этилган*

УДК 614.841

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ВЫВЕДЕНИЕ НА КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ
УРОВЕНЬ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПО
УСТАНОВЛЕНИЮ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА В
ЭЛЕКТРОПРОВОДКЕ С МЕДНЫМИ ПРОВОДНИКАМИ**

Н.У. Нуридинова, М.С. Саидов, М.Б. Арипходжаева

Ўзбекистон Республикаси Фавқуллодда вазиятлар вазирлиги ЁХ ва Фавқуллодда вазиятлар илмий-тадқиқот институти ёнги ва бошқа Фавқуллодда вазиятларни экспертиза қилиш маркази томонидан чоп этилган "Ёнги жойидан олинган мис ўтказгичларнинг эришини экспертизадан ўтказиш" услубий қўлланмадан олинган тадқиқот ишлари ҳамда маълумотлар келтирилган. Ёнги ҳолатларида тайинланадиган экспертизага келсак, бу ерда ҳамма услублари қўлланилади. Яъни, бу тадқиқотлар технологик, электротехника, психиатрия, суд-тиббий экспертиза ва бошқа ишларни ўз ичига олади.

В работе приведены описание и анализ изданного Центром исследования, экспертизы пожаров НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Узбекистан методического пособия «Экспертное исследование оплавления медных проводников, изъятых с места пожара». Пожарно-техническая экспертиза – это отдельная от всех остальных разновидностей экспертиз область. Что касается экспертиз, которые проводятся при пожарах, то здесь используют практически полный набор. Исследований технологического направления, электротехнические, психиатрические, и прочие.

The work provides the publication by the Center for Research, Expertise of Fires and Other Emergencies Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan methodical manual "Expert study of the melting of copper conductors removed from the fire site." As for the examinations that are assigned in case of fires, almost a complete set is used here. That is, these are studies of the technological direction, electrical engineering, psychiatric, forensic, and so on.

Введение: В течение многих лет решение задачи установления природы коротких замыканий в электрических проводниках и времени их возникновения по отношению к возникшему пожару остается весьма сложной научной проблемой [1]. В пожарно-технической экспертизе методика установления «первичности-вторичности» короткого замыкания относится, наряду с методикой обнаружения остатков интенсификаторов горения (средств поджога), к наиболее востребованным [2].

По статистическим данным установлено, что в 2020 году на территории Республики Узбекистан обстановка с пожарами характеризовалась следующими основными показателями:

- зарегистрировано 11083 пожаров;
- погибло при пожарах 124 человек;

- получили травмы различной степени тяжести 259 человек;
- прямой материальный ущерб причинен в размере больше 145 миллиардов сум.

Первое место по числу пожаров занимают электрические изделия, их число равно 3474. Причина этого очевидна - «электротехническая» версия возникновения пожара рассматривается практически на каждом электрифицированном объекте [4].

Основные причины пожаров:

- нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов;
- неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства;
- неосторожное обращение с огнем;
- нарушение правил пожарной безопасности;
- взрывы;
- самовозгорание веществ и материалов;
- неисправность и нарушение правил эксплуатации электропроводок.

Однако процессы, протекающие на реальных пожарах, сложны, часто многостадийны и трудно моделируемы. Соответственно, существующие методики в нашей стране не универсальны и требуют развития и совершенствования. Выведение на новый уровень пожарно-технической экспертизы на сегодняшний день является весьма актуальной задачей.

Для решения, поставленных задач, Научно-исследовательским институтом пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций в 2019 году были приобретены установки дифрактометр настольный рентгеновский типа «Дифрей-401» и интегрированная металлографическая лаборатория типа «ШЛИФ-ПТЭ».

На данных установках произведен ряд исследовательских работ. Разработаны пути решения частных экспертных задач, наиболее часто встречающихся в процессе установления причастности к возникновению пожара электрических проводников с медными токоведущими жилами.

По результатам исследовательских работ рассмотрено развитие методики экспертного исследования после пожара оплавлений медных проводников и определения «первичности-вторичности» короткого замыкания. К тому же это одна из первых инструментальных методик, разработка, которой резко поменяла ситуацию с технической вооруженностью пожарно-технического эксперта [5].

Методы: сформированная по результатам исследований, проведенных на установках в НИИ ПБ и ЧС, включает в себя комплекс аналитических методов, включая морфологические исследования (визуально с помощью лупы и метода электронной микроскопии), рентгенофазовый анализ и металлографические исследования. Данные методы позволяют проводить более точный количественный анализ [10,11].

Конкретизировано описание физических параметров окружающей среды, которые отражаются в структуре металла, а затем выявляются методами рентгеноструктурного анализа, металлографии и др. [7].

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Физические принципы, заложенные в основу методики, весьма любопытны. Они заключаются в выявлении различными инструментальными методами структуры, состава и свойств оплавленного электрического провода, прямо или косвенно указывающие на условия, при которых он образовался.

Дифрактометрический метод основан на сравнительном исследовании двух участков провода - непосредственно примыкающего к оплавлению и удаленного на расстояние 35 мм от места оплавления. На том и на другом определяются интегральная интенсивность меди и оксида меди (рис.1,2).

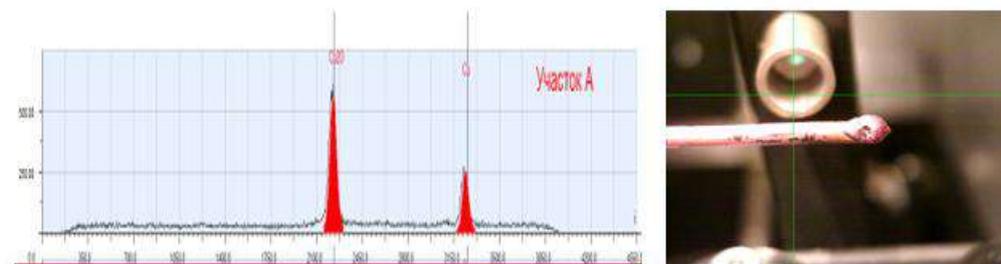


Рис. 1. Дифрактограмма участка А

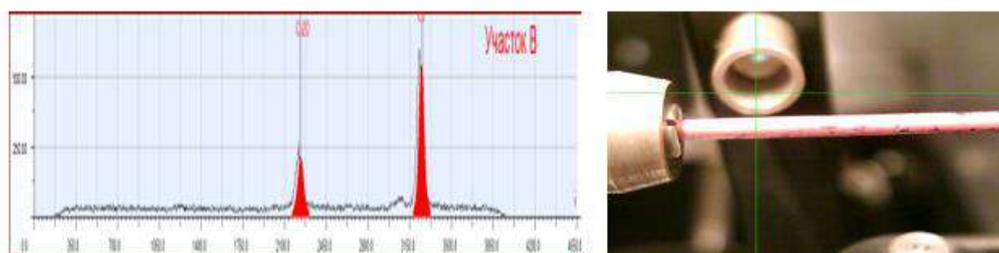


Рис. 2. Дифрактограмма участка В

Результаты: В процессе исследования определяется относительное количество оксида меди (I) в приповерхностном слое медного проводника (табл.1).

Таблица 1.

Результат обработки дифрактограмм

Участок А			Участок В			$\frac{I_{Cu_2O}}{I_{Cu}}$
I_1	I_2	I_{Cu_2O}/I_{Cu}	I_1	I_2	I_{Cu_2O}/I_{Cu}	
34375	14351	2,40	13286	30320	0,44	5,45

Интегральная интенсивность дифракционных линий I определяется как площадь пика и проводится расчет по формуле:

$$K = \frac{I_{Cu_2O}}{I_{Cu}}$$

где I_{Cu_2O} и I_{Cu} - интегральные интенсивности соответственно линий на участке А, прилегающем к месту оплавления;

$I(Cu_2O)$ и $I(Cu)$ - интегральные интенсивности соответственно линий на участке B , удаленном от места оплавления.

На основании этого расчета делается вывод об условиях, при которых образовалось исследуемое оплавление:

- признаком формирования оплавления в условиях «до пожара» (ПКЗ) являются значения $k \geq 2$;

- признаком формирования оплавления в условиях пожара (ВКЗ) являются значения $k \leq 0,5$;

Обсуждение: Металлографический метод в своей основе опирается на феномен наличия или отсутствия градиента температур в проводе при его охлаждении после действия электрической дуги КЗ [10,12]. В случае первичного короткого замыкания (ПКЗ) при остывании расплавленного электрической дугой металла происходит интенсивный направленный теплоотвод по металлу медной жилы. За счет этого формируется структура быстрой кристаллизации - столбчатые дендриты (при содержании кислорода в оплавлении не более 0,39%) [13,17]. При вторичном коротком замыкании (ВКЗ) в месте оплавления направленного теплоотвода не наблюдается и формируется равноосная литая структура. Существуют различия в наличии или отсутствии по границам зерен и массовой доли кислорода в меди - при ПКЗ она в пределах от 0,06 до 0,39%, при ВКЗ не превышает 0,06% [6].

При морфологическом исследовании поверхности оплавленных участков методом электронной микроскопии ведется поиск специфических структур в виде искривленных и закругленных кристаллов, которые образуются, соответственно при ПКЗ и ВКЗ [19,20] (рис.3).

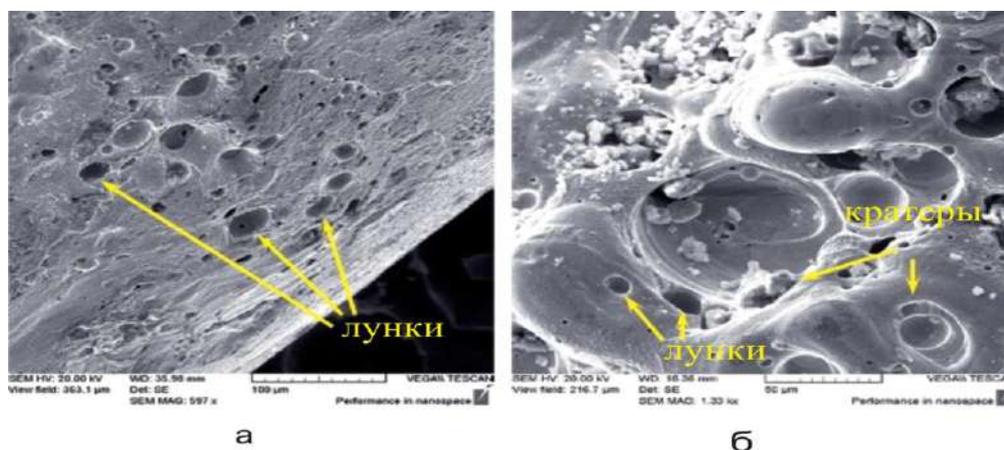


Рис. 3. Лунки и кратеры, возникшие в результате КЗ

Выводы: Рассмотренные выше варианты методики имеют серьезную теоретическую основу и активно применяются на практике. Использование пособия в практической работе будет способствовать повышению эффективности и качественного уровня проведения пожарно-технической экспертизы.

Литература

1. Ниматуллаев А.Д., Ташпулатов Б.Т., Усманов А.И. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Ташкент. 2011.
2. Белорусов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник.- М.,1988.
3. Колмаков А.И. и др. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах) / Под ред. А.И. Колмакова. – М.,1993.
4. Воронов С.П. Совершенствование методики проведения экспертизы и исследования пожаров на основе новых информационных технологий. Автореферат диссертации. Моск. Ин-т пожарной безопасности МВД России. Москва 1997.
5. Чешко И.Д., Мокряк А.Ю. Использование результатов экспертных исследований оплавленных электрических проводников тока в экспертизе пожаров. Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2016, - С.41- 46.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.65

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ЗАТВОРАХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ****М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Абдуазиз уулу Абдурауф,
Б.Б. Махмарасулов**

Мақолада гидротехника иншоотларининг ясси затворларига ўрнатилган микроГЭСларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш услубияти келтирилган бўлиб, у ёрдамида микроГЭС напорини, қувватини, йиллик ишлаб чиқарган электр энергиясини, гидротехник иншоотларнинг мавжуд затворларида микроГЭСни яратиш учун капитал сарфни, эксплуатацион харажатларни, микроГЭС ҳисобига тежасладиган ёқилги ресурсларини, соф фойдани, оқлаш даврини ва бошқаларни аниқлаш имконини беради. Яратилган услубият асосида гидротехник иншоот затворларида ўрнатилган микроГЭСнинг техник-иқтисодий параметрларини аниқлаш учун махсус ЭҲМ дастури ишлаб чиқилган.

В статье предлагается использовать водно-энергетические ресурсы энергетических систем по преобразованию гидравлической энергии воды в электрическую энергию с помощью микроГЭС, устанавливаемых на плоских затворах гидротехнических сооружений. В статье приведена методика определения технико-экономических параметров микроГЭС, установленных на плоских затворах гидротехнических сооружений гидроузлов энергетической системы, которая позволяет определить напор, мощность, годовую выработку электроэнергии микроГЭС, капитальные вложения для создания микроГЭС на имеющемся затворе гидротехнического сооружения, эксплуатационные затраты, экономию топливных ресурсов за счёт микроГЭС, чистую прибыль, срок окупаемости и т.п. На основе созданной методики была разработана специальная программа для ЭВМ по определению технико-экономических параметров используемой микроГЭС на затворах гидротехнического сооружения.

The article suggests the use of a device that converts hydraulic energy into electricity, ie a combination of hydraulic dams and microHPP, using microHPP installed on the flat gates of hydraulic structures, which further increases the possibility of extensive use of water and energy resources in the water system. The article presents a methodology for determining the technical and economic performance of microHPP installed on the flat gates of hydraulic structures, which saves microHPP capacity, capacity, annual electricity generated, capital expenditures for the creation of microHPP on existing gates of hydraulic structures, operating costs, fuel and energy resources, whitening cycle, and more. On the basis of the developed methodology, a special computer program was developed to determine the

technical and economic parameters of microHPP installed on the foundations of hydraulic structures..

Введение. В развитии возобновляемой энергетики Республики Узбекистан одно из важных мест занимает использование энергетического потенциала рек, каналов, водозаборных, водовыпускных и водосбросных сооружений водохранилищ, гидроэлектростанций и других объектов энерговодохозяйственного назначения [1,2,3,4,5]. Использование гидравлической энергии водозаборных, водосбросных и водовыпускных сооружений, открывает большие возможности для выработки электроэнергии [3,4]. Одним из важных аспектов в проведении анализа гидроэнергетического потенциала водозаборных, водосбросных и водовыпускных сооружений энерговодохозяйственных систем является разработка методики определения водно-энергетических показателей (гидроэнергетических параметров), с учётом их назначения и сезонного регулирования [5,6,8].

Актуальность темы статьи заключается в том, что в настоящее время в системе водного хозяйства республики эксплуатируются несколько десятков тысяч затворов, установленных на водопропускных, водосливных и регулируемых гидротехнических сооружениях гидроузлов, на ирригационных каналах, водохранилищах, на насосных станциях [2,3,4], и установка на них микроГЭС позволит более полно использовать гидроэнергетический потенциал.

Самый распространённый на практике вид гидротехнических затворов – плоские затворы [2,3,4,6,8]. Недостатками этого затвора являются ограничения его функциональных возможностей и частые изменения положения в «рабочем» и «нерабочем» режимах, требующие больших энергозатрат при эксплуатации и приводящие к быстрому выходу из строя уплотнений затвора. К тому же существующие конструкции плоского затвора не предусматривают возможность использования водной энергии потока для выработки электроэнергии.

В работе предлагается использование гидротехнических затворов с микроГЭС, что позволит более рационально использовать водно-энергетические ресурсы энерговодохозяйственных систем – устройства по преобразованию гидравлической энергии воды в электрическую энергию с помощью микроГЭС, устанавливаемых на плоских затворах гидротехнических сооружений [2,3,4,8].

Методы и материалы. Обязательным условием для широкого применения таких гидравлических установок является их технико-экономическое обоснование, то есть определение технико-экономических параметров микроГЭС устанавливаемых на затворах гидротехнических сооружений гидроузлов энерговодохозяйственной системы [2,3].

К технико-экономическим параметрам микроГЭС устанавливаемой на затворе гидротехнического сооружения гидроузла энерговодохозяйственной системы следует отнести [6,7]:

- напор микроГЭС;
- мощность микроГЭС;
- годовая выработка электроэнергии микроГЭС;
- капитальные вложения для создания микроГЭС на имеющемся затворе ГТС;
- эксплуатационные затраты по микроГЭС;

- стоимость выработанной микроГЭС электроэнергии;
- экономия топливных ресурсов;
- чистая прибыль от использования микроГЭС;
- срок окупаемости микроГЭС.

На рис. 1 представлена одна из широко распространённых схем гидроузла энерговодохозяйственной системы [3,5,6]. На схеме, от водохранилища, образованного плотиной, идёт подводящий канал с нулевым уклоном дна, в конце которого расположен регулятор магистрального канала. Магистральный канал подводит воду к распределителям и деривационному каналу ГЭС.

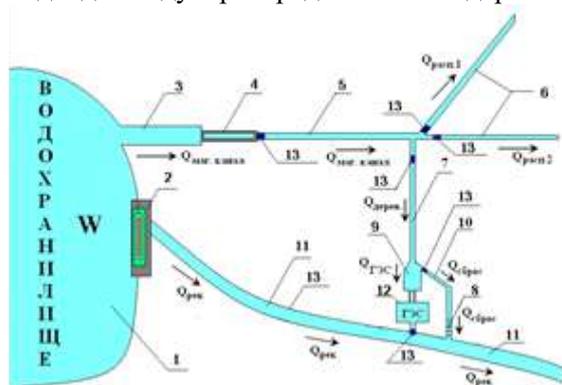


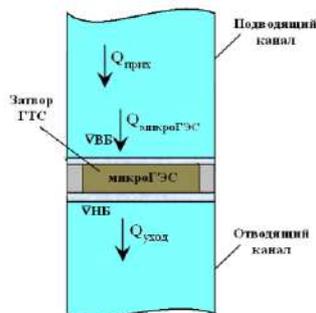
Рис. 1. Схема гидроузла энерговодохозяйственной системы: 1-водохранилище; 2-плотина; 3-подводящий канал; 4-регулятор магистрального канала; 5-магистральный канал; 6-распределители; 7-деривационный канал; 8-перепад; 9-напорный бассейн; 10-холостой водосброс; 11-река; 12-деривационная ГЭС; 13-предполагаемые места установки микроГЭС

Для подвода воды к зданию ГЭС, от него отходит деривационный канал, заканчивающийся напорным бассейном, с правой стороны которого расположен холостой водосброс с перепадом, сопрягающим холостой сброс с нижним бьефом реки.

Из рис. 1 видно, что на нескольких участках гидроузла с установленными гидротехническими затворами для регулирования воды возможно комбинированное использование микроГЭС и гидротехнических затворов.

На рис. 2 представлена схема использования микроГЭС на гидротехническом затворе канала.

На основе поставленной задачи была разработана методика расчета технико-экономического обоснования микроГЭС, установленной на затворе гидротехнического сооружения.



Напор микроГЭС определяется:

Рис. 2. Схема использования затвора ГТС с микроГЭС: $Q_{вх}$ – расход воды по подводящему каналу; $Q_{микроГЭС}$ – расход ГЭС; $Q_{вых}$ – расход воды по отводящему каналу

$$H = \left(\nabla BB + \frac{Q_{вх} \cdot t}{S_{дно_вб}} - \frac{Q_{микроГЭС} \cdot t}{S_{дно_вб}} \right) - \left(\nabla HB - \frac{Q_{вх} \cdot t}{S_{дно_нб}} + \frac{Q_{микроГЭС} \cdot t}{S_{дно_нб}} \right) - hw, [M]; \quad (1)$$

где, ∇BB – отметка воды до затвора, т.е. отметка верхнего бьефа микроГЭС, м; ∇HB – отметка воды после затвора, т.е. отметка нижнего бьефа микроГЭС, м; $S_{дно_вб}$ и $S_{дно_нб}$ – площади дна верхнего и нижнего бьефа, м²; hw – потеря напора водопроводящего тракта микроГЭС, м; t – время работы микроГЭС, в секундах.

Потеря напора в водопроводящем тракте микроГЭС определяется:

$$hw_{х.вс} = 1,1 \cdot \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{16 \cdot Q_{микроГЭС}^2}{\pi^2 g \cdot D^4} = 0,182 \cdot \lambda \cdot \frac{L \cdot Q_{микроГЭС}^2}{D^5}, [M]; \quad (2)$$

где l – длина водопроводящего тракта микроГЭС, м; d – диаметр водопроводящего тракта микроГЭС, м; λ – коэффициент гидравлического трения и определяется:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_э}{D} \right); \quad (3)$$

где $\Delta_э$ – коэффициент шероховатости стенок.

С учётом условия неразрывности $Q_{микроГЭС} = Q_{вых}$ формула напора (1) примет следующий вид:

$$H = \left(\nabla BB + \frac{Q_{вх} \cdot t}{S_{дно_вб}} - \frac{Q_{микроГЭС} \cdot t}{S_{дно_вб}} \right) - \left(\nabla HB - \frac{Q_{вх} \cdot t}{S_{дно_нб}} + \frac{Q_{микроГЭС} \cdot t}{S_{дно_нб}} \right) - hw = \\ = \nabla BB - \nabla HB + \frac{1}{S_{дно_нб}} (Q_{вх} \cdot t - Q_{микроГЭС} \cdot t) - hw, [M]. \quad (4)$$

Примем $t=l$ сек, в этом случае напор определяется по формуле:

$$H = \nabla BB - \nabla HB + \frac{1}{S_{дно_вб}} (W_{вх} - W_{микроГЭС}) - hw. \quad (5)$$

И полная мощность микроГЭС будет равна:

$$N_{микроГЭС} = 9,81 \cdot Q_{микроГЭС} \cdot H_э, [кВт]; \quad (6)$$

где $H_э$ – геометрический напор микроГЭС, который определяется по следующей формуле:

$$H = \nabla BB - \nabla HB + \frac{1}{S_{дно_вб}} (W_{вх} - W_{микроГЭС}), [M]. \quad (7)$$

Мощность микроГЭС:

$$N_{микроГЭС} = 9,81 \cdot Q_{микроГЭС} \cdot H \cdot \eta_{ГА}, [кВт]; \quad (8)$$

где $\eta_{ГА}$ – коэффициент полезного действия гидроагрегата микроГЭС, %.

Если через микроГЭС проходит весь поступающий расход ($Q_{микроГЭС} = Q_{вх}$), тогда мощность микроГЭС будет равна [2]:

$$N_{микроГЭС} = 9,81 \cdot Q_{вх} \cdot H \cdot \eta_{ГА}, [кВт]. \quad (9)$$

Капитальные вложения для создания микроГЭС на имеющемся затворе ГТС определяются по следующей формуле:

$$K_{микроГЭС} = N_{микроГЭС} \cdot k_{уд}, [долл.США], \quad (10)$$

$k_{уд}$ - удельное капиталовложения на 1 кВт, $\frac{\text{долл.США}}{\text{кВт}}$.

Ежегодная вырабатываемая электроэнергия микроГЭС:

$$\mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} = N_{\text{микроГЭС}} \cdot T = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H \cdot \eta_{\text{ГА}} \cdot T, [\text{кВт} \cdot \text{час}]. \quad (11)$$

Здесь T – время использования микроГЭС в течении года.

Эксплуатационные затраты по микроГЭС определяются:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3;$$

где Z_1 – амортизационные расходы: $Z_1 = 0,029 \cdot K$; Z_2 – ремонтные работы: $Z_2 = 0,03 \cdot K$; Z_3 – годовая заработная плата: $Z_3 = m \cdot Z_{\text{зар}} \cdot 12$; m – количество работников; $Z_{\text{зар}}$ – месячная заработная плата.

Цена выработанной электроэнергии микроГЭС:

$$C = \mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} \cdot \beta \quad [\text{долл.США}],$$

где β – стоимость 1 кВт·час электроэнергии.

Экономия топливных ресурсов: $\Pi_{\text{топливо}} = \mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} \cdot g$, [кг.у.т.],

где g – удельные расход условного топлива, кг/(кВт·час).

Доход от экономии топливных ресурсов:

$$D_{\text{топливо}} = \Pi_{\text{топливо}} \cdot C_{\text{топливо}};$$

где $C_{\text{топливо}}$ – средняя цена 1 кг условного топлива.

Чистая прибыль от использования микроГЭС: $Ч_n = C + D_{\text{топливо}} - Z$

Сопоставительный экономический коэффициент эффективности: $E = Ч_n / K$.

Срок окупаемости: $T_{ок.} = 1/E$, [год].

На основе созданной методики была разработана специальная программа для ЭВМ по определению технико-экономических параметров используемой микроГЭС на затворе ГТС.

Результаты. На рис. 3 приведены характеристики зависимости расхода воды, напора и срока окупаемости от мощности гидроэнергетической установки, полученные по результатам расчета технико-экономических параметров микроГЭС на затворе ГТС.

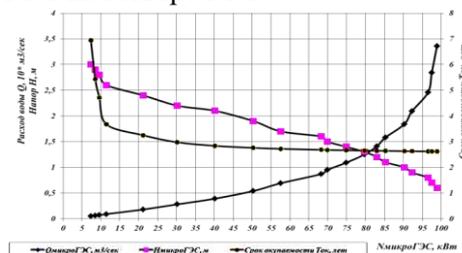


Рис.3. График зависимости расхода воды, напора и срока окупаемости от мощности микроГЭС

Обсуждения. Из проведенных расчетов по определению технико-экономических параметров используемой микроГЭС на затворе ГТС можно сказать, что чем больше мощность микроГЭС, тем меньше срок её окупаемости и, соответственно, больше её экономическая эффективность.

Граничным значением мощности, при которой установка микроГЭС на затворах ГТС экономически эффективна, а срок окупаемости сравнительно мал, является мощность 10 кВт.

Заключение. Применение микроГЭС всегда выгодно там, где водотоки обеспечивают установку микроГЭС мощностью выше 10 кВт. При этом

желательно разделить микроГЭС на две группы, первая группа - мощность до 10 кВт и вторая группа мощность более 10 кВт. МикроГЭС первой группы могут устанавливаться на малых водотоках, с расходом до 1 м³/с, а второй группы - на водотоках более 1 м³/с.

МикроГЭС второй группы мощностью более 10 кВт могут устанавливаться практически на всех гидротехнических сооружениях с плоскими затворами, на многих водозаборных и водопропускных сооружениях гидроузлов, рек и каналов. На многих водозаборных и водопропускных сооружениях Республики Узбекистан могут быть установлены микро-, мини- и малые ГЭС мощностью 100 - 500 кВт.

Энергетический потенциал гидротехнических затворов (точнее водных потоков, проходящих через них) водозаборных, водовыпускных и водопропускных сооружений малых рек, речек, каналов Узбекистана достаточен для их использования в целях совершенствования электроснабжения индивидуальных и фермерских хозяйств, малых предприятий путем создания микроГЭС.

Литература

1. Мухаммадиев М., Уришев Б, Мамадиёров Э., Джураев К.С. Энергетические установки малой мощности на базе возобновляемых источников энергии. /Монография, - Т.:ТошДТУ, 2015.
2. Мухаммадиев М., Джураев К.С., Уришев Б.У. Повышение использования гидроэнергетического потенциала ирригационных сооружений малой мощности с применением затворов новой конструкции. //Вестник ТашГТУ, 2015 №2.
3. Мухаммадиев М.М., Клычев Ш., Джураев К.С. Исследование скорости потока воды в затворах гидроэнергетических и ирригационных сооружений. //Вестник СГАСУ: Градостроительство и архитектура, 2016, выпуск №2.
4. <http://www.gidroproekt.uz/> (2020).
5. Гидроэлектрические станции. Руководство для разработчиков и инвесторов. 2010.
6. Сидоренко Г.И., Кудряшева И.Г., Пименов В.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии; технико-экономический анализ: учеб. пособие / под общ. ред. В.В. Елистратова и Г.И. Сидоренко. - СПб.: Изд-во политехи, ун-та, 2008.
7. Hydropower Technology Roadmap 2012. [http:// www. iea.org. 2012_hydropower_ roadmap.pdf](http://www.iea.org/2012_hydropower_roadmap.pdf) (2012).
8. World Small Hydropower Development Report 2016. www.unido.org/sites/default/files/ (2016).

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 626.83

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК****О.Я. Гловацкий, Б. Хамдамов, А.Б. Азимов, Б.Д. Хамидов, К.Л. Иноятова**

Мақолада гидроэнергетик қурилмаларни сув ва энергия тежамкорлик режимларини ишлаб чиқиш зарурати асосланган, технологик ва иқтисодий омиллар асослаб берилган. Бу ишининг муайян мақсади ГЭС ва суғориш насос станцияларини энергия тежамкорлик режимларини ишлаб чиқиш ҳисобланади. Йирик насос станцияларининг жуда кўп энергия истеъмолини ҳисобга олган ҳолда, гидроэлектрстанциялар, насос станцияларини модернизация қилишда электр энергиясини тежашни таъминлаш шартлари бўйича тавсиялар берилган.

В статье обосновывается необходимость разработки водо- и энергосберегающих режимов гидроэнергетических установок, даётся обоснование технологических и экономических факторов. Конкретной целью данной работы является разработка энергосберегающих режимов ГЭС и ирригационных насосных станций. Учитывая, что крупные станции являются весьма энергоёмкими объектами, даны условия сокращения потребления энергии при модернизации и стимулировании эффективности эксплуатации насосных станций, гидроэлектростанций, обеспечивающих экономию электроэнергии.

The article substantiates the need to develop water and energy-saving modes of hydropower plants, provides a substantiation of technological and economic factors. The specific goal of this work is to develop energy-saving modes of hydroelectric power plants and irrigation pumping stations. Considering that large stations are very energy-intensive facilities, recommendations were made to reduce energy consumption during modernization and stimulate the efficiency of operation of pumping stations, hydroelectric power plants, which ensure energy savings.

Введение. В Указе Президента Республики Узбекистан определены главные приоритетные направления по рациональному и эффективному использованию водных ресурсов, обеспечению надежной и безопасной работы водохозяйственных объектов [1].

Ежегодно на насосных станциях (НС) ирригационных систем стран Центральной Азии расходуется до 7-8 млрд. кВт.ч энергии. Уменьшение расхода электроэнергии на НС ориентировочно до 10-15% возможно, в основном, за счет энергосберегающих режимов и оптимизации управления систем машинного водоподъема (СМВ). В связи с резким удорожанием и нарастающим дефицитом энергоресурсов на первый план выдвигается проблема уменьшения их потребления крупными НС [2,3]. Отсутствие приоритетных работ по указанной проблеме делает невозможным оптимизацию режимов НС на современном уровне

эксплуатации. По данным института «Узсувлойиха» эксплуатационный КПД ниже расчетных значений на 5-7% [4,5].

Решение задач эффективного управления для таких масштабных сложных объектов как крупные ГЭС, НС невозможно без оперативного контроля, основанного на применении информационно-измерительной системы, организованной на современной компьютерной базе [6,7].

Для разработки водо- и энергосберегающих режимов гидроэнергетических установок в первую очередь необходимо повышение их КПД. Необходимо исследование возможности увеличения мощности ГЭС и НС за счет применения модернизированного оборудования, изучить особенности современных гидроэнергетических установок, их параметры и потери.

Методы. При выполнении работы использованы методы гидравлического исследования структуры потока в проточной части турбин и насосов на основе общеизвестных методов измерений. Достоверность полученных данных в ходе теоретических исследований доказана математическими методами проверки адекватности результатов экспериментов и натурных исследований количественной оценки условий забора воды из средних и крайних водоприёмных камер и объективных данных этих условий надёжности и эффективности эксплуатации насосов.

Основная часть. Изучение параметров гидравлических турбин и насосов проводилось авторами на ГЭС Бозсуйского тракта и НС Амубухарского канала (рис.1).



Рис.1. Машинные залы Бозсуйской ГЭС и Кизилтепинской НС

Рассмотрены параметры существующих гидротурбин Бозсуйской ГЭС и фирмы "ALSTOM" для увеличения мощности ГЭС путём замены гидроэнергетического оборудования, выработавшего свой ресурс в 3-4 раза. Особенность проекта состоит в установке сдвоенной горизонтальной турбины с общей спиральной камерой. Одна турбина будет иметь два рабочих колеса на общем валу и тем самым предполагается получить удвоенную мощность 1,4 МВт при данном размере рабочего колеса. Обосновано применение новых турбин для увеличения мощности и надёжности ГЭС (рис.2).

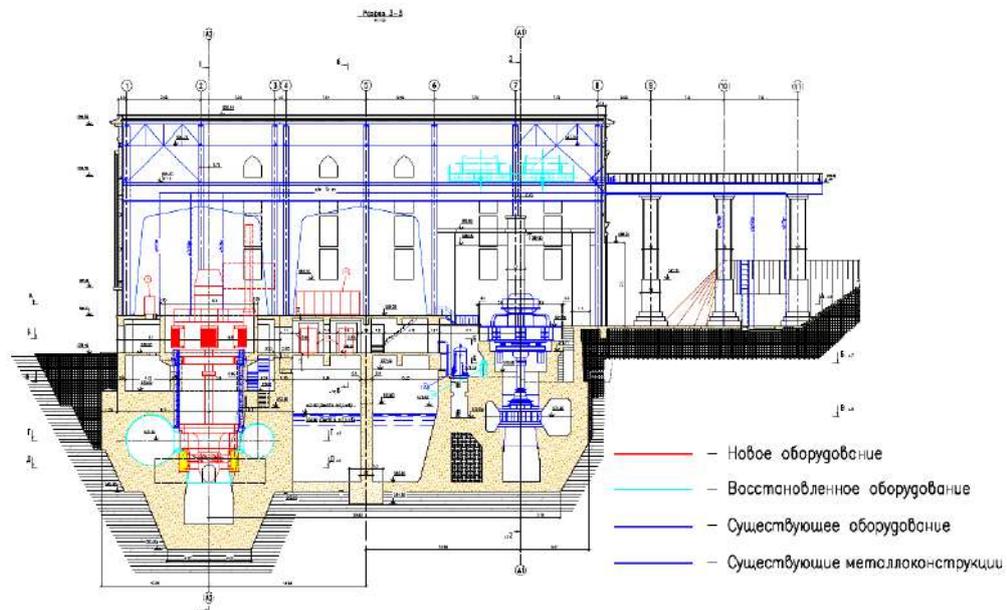


Рис.2. Применение новых турбин на Ак-Кавакской ГЭС №1

Вертикальные радиально-осевые турбины превосходят по значениям максимального КПД на 0,5-2 % поворотно-лопастные аналогичной мощности, а также требуют меньших заглублений (из-за лучших кавитационных качеств). Кроме того, применение радиально-осевых турбин практически исключает загрязнение водотока. В то же время поворотно-лопастные турбины имеют более пологие рабочие характеристики, что обеспечивает большую эффективность при частичных нагрузках.

Качественное состояние водных ресурсов анализируется в натуре, при различных гидравлических условиях подвода воды крайними и средними агрегатами. Разница подач составляет 15-45%. При потреблении воды, в результате различных процессов, может происходить разрушение материалов, с которыми она находится в контакте.

В общем случае качество перекачиваемой воды характеризуется набором n – параметров: концентрацией взвешенных частиц, плавающих тел, химическими свойствами, плотностью, температурой.

Выделим два основных параметра: ρ - мутность потока; δ - насыщенность потока плавником.

$$\rho = \frac{R}{Q}; \delta = \frac{W_{П.М.}}{W}, \quad (1)$$

где R - расход взвешенных наносов; Q - расход воды, подача НС; $W_{П.М.}$ - объем плавающего мусора; W - объем стока.

Основной концепцией энергосберегающих технологий эксплуатации гидроэнергетических установок является минимизация гидравлических потерь в

водоподводящих и отводящих сооружениях проточной части и повышение КПД гидроэнергетических установок, уменьшающих объёмы потребляемой энергии.

Коэффициент гидравлических сопротивлений конфузорного перехода определяется по формуле:

$$\xi_{\text{конфузора}} = \xi_{\text{к.вх}} \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right) + \xi_{\text{тр}}, \quad (2)$$

в частности КПД насосного агрегата рассчитывается по формуле:

$$\eta = 9,81 * Q * H * 100 / N, \%, \eta = 82,8\% \quad (3)$$

Для НС Каршинского каскада средняя подача, вычисленная по четырем участвующим в испытаниях агрегатам составляет 32,2 м³/с, а общая подача НС в момент проведения испытаний составила 128,8 м³/с.

Долю энергозатрат, учитываемых на подстанции как вспомогательные нужды можно оценить, приняв КПД агрегатов как среднее арифметическое ориентировочно 82,8%. В этом случае для четырех агрегатов:

$$N = 9,81 * 128,8 * 28,08 / 0,828 * 0,97 = 44,175 \text{ МВт}. \quad (4)$$

Удельные затраты по НС по данным испытаний составляют:

$$A_{\text{уд}} = \Sigma N * 1000 / \Sigma Q_{\text{вод}} * H_{\Gamma} * 3600 = 3,52 \text{ кВт/м}^3 * \text{м}.$$

Этот показатель следует сравнить с полезными энергозатратами, необходимыми для подъёма 1000 м³/с на высоту 1 м:

$$A_{\text{пол}} = 9,81 * 1 * 1 * 1000 / 3600 = 2,72 \text{ кВт/м}^3 * \text{м} \quad (5)$$

Из определения удельных затрат следует, что $A_{\text{пол}}$ представляет собой теоретические, единые для любых условий и НС затраты, а $A_{\text{уд}}$ содержат все реальные затраты, учитывающие энергетические издержки, включая КПД агрегатов, потери напора.

Учитывая комплексность и универсальность определения параметров, удельные энергозатраты следует использовать как сопоставимый показатель качества эксплуатации и энергоэффективности гидроэнергетических установок на различных и разнотипных НС.

Математическая модель истечения жидкости из гидроструйных наносмывающих установок сравнивалась с натурными данными, где максимальная скорость по оси струи определяется по формуле, в которой скорость изменяется по гиперболической зависимости:

$$V_{\text{max}} = \frac{\text{const}}{r_{\text{гп}}} \approx \frac{\text{const}}{x}; \quad (6)$$

где V_{max} - максимальная скорость в сечении струи, определяемая за пределами начального участка; $r_{\text{гп}}$ - радиус границы струи изменяющийся по длине.

При ежегодном приросте выработки электроэнергии в 3-4% ввод новых энергетических мощностей в результате энергосберегающих режимов на НС может быть снижен на 1/3. Вследствие этого будет предотвращено сжигание 1,8-2 млн.тонн условного топлива или 2-3 млн.тонн реального угля. Таким образом будет получен существенный экологический эффект за счет уменьшения вредных выбросов в воздух и воду [2,6]. Кроме того, эти системы снижают вероят-

ность возникновения гидравлических ударов, предотвращают разрушение трубопроводов и, как следствие, излив воды на поверхность земли и в водоемы.



Рис.3. Подсистемы и элементы SCADA

Задачи, решаемые новыми SCADA-системами: сбора и обработки информации; контроля и управления технологическим процессом НС используется для анализа режимов работы (рис.3).

Важным следствием применения систем при реконструкции является повышение единичной мощности регулируемых насосных агрегатов, что дает дополнительную экономию энергии и сокращает технологические объемы зданий НС на 15-20%.

Выводы: 1. Для повышения безопасности и устойчивой эксплуатации НС и ГЭС рекомендуется разработать нормативные документы, определяющие свойства конструкции гидромашин и сопрягающих сооружений, рассчитанных на минимизацию потерь и надежную работу во всех режимах, обеспеченных техническим состоянием модернизированного оборудования.

2. В техническом плане необходимо разработать научные основы энерго-сберегающих режимов, основанных на специальной обработке экспериментального материала падения КПД гидромашин при отходе от оптимального режима. Потери были расчленены на две категории: определенные аналитическим и приборным путем.

Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан № УП-6024 от 10 июля 2020 года «Концепция развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-20230 годы», Ташкент, 2020.

2. Гловацкий О.Я., Шарипов Ш.М. Некоторые проблемы энергосбережения в системах машинного водоподъема Республики Узбекистан // Проблемы энерго и ресурсосбережения. 2011. -№1,2, - С.128-131.
3. Гловацкий О.Я., Носиров Ф.Ж., Рустамов Ш.Р. Основные пути снижения потребления энергетических ресурсов в водном секторе // Проблемы энерго и ресурсосбережения. 2013. -№2. - С. 45-50.
4. Гловацкий О. и др. Обеспечение энерго и водосбережения при эксплуатации водозаборов машинного водоподъема// Ўзбекгидроэнергетика, 2020, №3(7). -С.34-39.
5. Naim Ismoilov & others (IPICSE 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering1030 (2021) 012156IOP Publishingdoi:10.1088/1757-899X/1030/1/0121561.
6. Мухаммадиев М.М., Гловацкий О.Я., Носиров Ф.Ж. Методы экономии энергосбережения эксплуатации гидравлических машин. / «Инновационные технологии» Карши, 2018. -№ 4(28). – С.36-41.
7. Oleg Glovatsky, and others (IPICSE 2020) IOP Conf. Series: Materials Science & Engineering 1030 (2021) 012115IOP Publishingdoi:10.1088/1757-899X/1030/1/0121151.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 628.358 (043): 66.067

МЕТОДИКА ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**А.Б. Насруллин**

Maqola kichik gidroelektr stantsiyalarda gidroekologik monitoring va qarorlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash tizimlari uchun GIS tizimlarini yaratishning dolzarb mavzusiga bag'ishlangan. Tadqiqot natijalari gidroekologik vaziyatni yanada mazmunli baholash imkonini beradi, gidrotexnika inshootlarining gidroekologik va gidrotexnik monitoringi metodologiyasining asosiy xususiyatlari aniqlandi, bu suvni muhofaza qilish va suv xo'jaligi tashkilotlariga mintaqadagi ekologik vaziyatni rejalashtirish va bashorat qilishga yordam beradi. suv sektori. GIS (Geografik axborot tizimi) yordamida kichik elektr stantsiyalarini loyihalash va ekspluatatsiyasini optimalashtirishni amalga oshirish. Orol dengizi havzasidagi suv resurslaridan qishloq xo'jaligi, sanoat va kanalizatsiya ehtiyojlari uchun intensiv foydalanish suv resurslarining antropogen ta'sirlardan kelib chiqadigan turli xavfli kimyoviy moddalar bilan ifloslanishiga olib keldi. Integratsiyalashgan suv siyosatini rejalashtirish va boshqarish mamlakat, mintaqa yoki daryo havzasidagi suv xo'jaligining haqiqiy holati va kelajakdagi rivojlanishini tavsiflovchi kuchli vositalarga bog'liq. Bizning tadqiqotimiz zarurati O'zbekistonning so'nggi yillarda ekologik holatining yomonlashuvi bilan belgilanadi. Shu sababli, axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanilgan holda ushbu muammoni o'rganish O'zbekistondagi kichik gidroelektr stantsiyalarning ekologik-texnik holatini tahlil qilishda mantiqiy monitoring. Olingan gidrotexnika inshootlarini o'rganish metodologiyasi asosida gidroekologik monitoringning kompleks metodologiyasi ishlab chiqildi. Bu davlat gidroenergetika dasturlarini amalga oshirishning energetika, iqtisodiy, ekologik salohiyatini tahlil qilish, gidroenergetika resurslarini rekonstruksiya qilish imkoniyatlarini baholash, texnik va gidroekologik monitoring uchun ma'lumotlar bazasini yaratish imkonini berdi. Tahlil qilish uchun gidroenergetika va gidrotexnika inshootlarining xususiyatlarini hisobga olish, relyef, gidrografiya va boshqa omillarni hisobga olish imkonini beradigan raqamli xaritalardan foydalaniladi.

Статья посвящена актуальной теме создания ГИС гидроэкологического мониторинга и системам поддержки принятия решений в сфере малых гидроэлектрических станций. Результаты исследований позволяют содержательно оценить гидроэкологическую ситуацию, раскрыть принципиальные особенности методики гидроэкологического и гидротехнического мониторинга гидротехнических сооружений, что поможет водоохраным и водохозяйственным организациям планировать и прогнозировать экологическую обстановку в водохозяйственном секторе. Проводить оптимизацию при проектировании и эксплуатации малых электростанций с использованием ГИС (географическая информационная система). Интенсивное использование водных ресурсов в

бассейне Аральского моря для сельскохозяйственных, промышленных и канализационных нужд привело к загрязнению водных ресурсов разнообразными и опасными химическими веществами из антропогенных источников. Комплексное планирование и управление водной политикой зависят от мощных инструментов описания фактического состояния и будущего развития сектора водных ресурсов в стране, регионе или речных бассейнах. На примере Узбекистана представлена реализация цифровой модели и карты водного баланса на основе ГИС в рамках генерального планирования водных ресурсов. Необходимость нашего исследования определяется ухудшением экологического состояния Узбекистана в последние годы. Поэтому исследование этой проблемы с помощью информационно-коммуникационных технологий поможет использовать методику гидроэкологического мониторинга при анализе экологического и технического состояния малых гидроэлектрических станций Узбекистана. На базе полученной методики изучения гидротехнических сооружений была разработана комплексная методика гидроэкологического мониторинга. Это позволило проанализировать энергетические, экономические, экологические потенциалы для реализации государственных гидроэнергетических программ, оценить возможности реконструкции гидроэнергетических ресурсов и создать базу данных технического и гидроэкологического мониторинга. Для анализа используются цифровые карты, позволяющие учесть особенности гидроэнергетических и гидротехнических сооружений, рельеф, гидрографию и другие факторы.

The article is devoted to the actual topic of creating GIS systems for hydroecological monitoring and decision support systems in small hydroelectric stations. The results of the research allow a more meaningful assessment of the hydroecological situation, the fundamental features of the methodology of hydroecological and hydro-technical monitoring of hydraulic structures are revealed, which will help water protection and water management organizations to plan and predict the environmental situation in the water sector. Carry out optimization for the design and operation of small power plants using GIS (Geographic Information System. Intensive use of water resources in the Aral Sea basin for agricultural, industrial and sewerage needs has led to the pollution of water resources with various hazardous chemicals from anthropogenic Integrated water policy planning and management depend on powerful tools to describe the actual state and future development of the water sector in a country, region or river basin. The need for our research is determined by the deterioration of the ecological state of Uzbekistan in recent years. Therefore, the study of this problem using information and communication technologies will help to use the logical monitoring in the analysis of the ecological and technical state of small hydroelectric stations in Uzbekistan. On the basis of the obtained methodology for studying hydraulic structures, a comprehensive methodology for hydro-ecological monitoring was developed. This made it possible to analyze the energy, economic, environmental potentials for the implementation of state hydropower programs, assess the possibilities for the reconstruction of hydropower resources and create a database for technical and hydroecological monitoring. For the analysis, digital maps are used, which make it possible to take into account the features of hydro-power and hydraulic structures, to take into account the relief, hydrography and other factors.

Введение. В настоящее время электроэнергетика Узбекистана является основной базовой отраслью, определяющей развитие экономики страны. Есть все основания считать, что в ближайшей перспективе в нашей стране будет вновь востребовано строительство гидроэлектростанций. Мощность малых ГЭС во всем мире составляет более 73 ГВт. Мировые инвестиции в малую гидроэнергетику достигли \$6 млрд. при средней стоимости строительства малых ГЭС от \$1.5 до \$2.5 тыс. за кВт установленной мощности. Изученный гидроэнергетический потенциал Узбекистана оценивается в 27,5 млрд. кВт.ч в год. В настоящее время страна использует лишь около 30 процентов технического гидроэнергетического потенциала. Согласно Концепции развития гидроэнергетической отрасли до 2024 года, Узбекистан в течение пяти лет планирует завершить строительство 4 гидроэлектростанций мощностью более 30 МВт, 16 новых малых, а также провести модернизацию 21 действующей станции. Поэтому строительство МГЭС будет нарастать каждый год, вопрос учета экологический аспекта при строительстве и дальнейшем функционировании МГЭС становится все более актуальным. Сегодня экологическая экспертиза является одним из наиболее эффективных управленческих рычагов рационального природопользования и охраны окружающей среды. Согласно Постановлению КМ РУз от 22.11.2018 г. №949 все гидроэлектростанции мощностью более 30 МВт должны проходить экологическую экспертизу [1-3].

Основная часть. Для гидроэкологического мониторинга, из существующих мировых методов [4-11], в качестве основной методики была выбрана система ArcView GIS. Основное внимание было обращено на следующие проблемы:

1. Разработка и применение компьютеризованных баз данных, географические информационные системы и интегрированные модели для оценки различных возможностей экологически приемлемых режимов эксплуатации малых гидроэлектрических станций.

2. Потенциальное и текущее использование моделей в планировании и управлении водных ресурсов. От управления рисками – к управлению устойчивостью, создание систем поддержки принятия решений.

3. Дальнейшее совершенствование методики подготовки инженеров-энергетиков, в целях выполнения программы мер по дальнейшему развитию энергетики и возобновляемой энергетики Узбекистана.

Методика. В 2019-21 гг. на кафедре гидроэнергетики и гидравлики ЭЭФ ТашГТУ была подробно разработана методика гидроэкологического мониторинга [12-20], была предложена блочная модель, в виде схемы (рис.1-2) определена программа исследований по оценке загрязнения в речных водах.

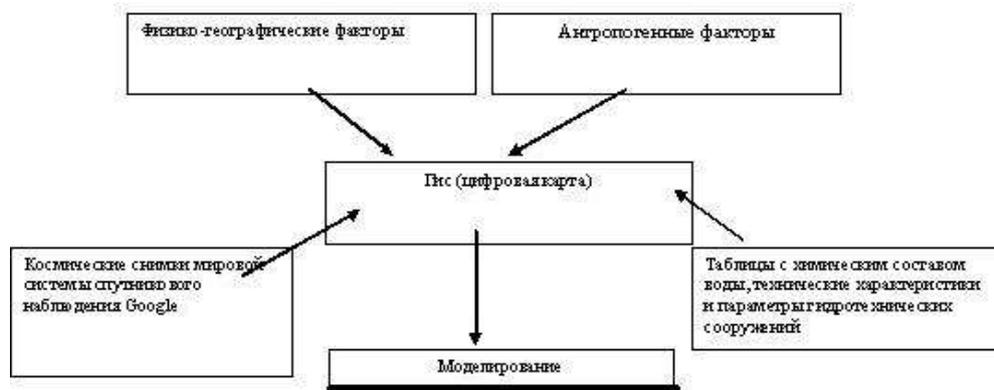


Рис. 1. Блок-схема гидроэкологического мониторинга

Внизу представлен блок гидротехнического мониторинга для МГЭС (рис.2) и показатели, входящие в блок гидроэкологического мониторинга

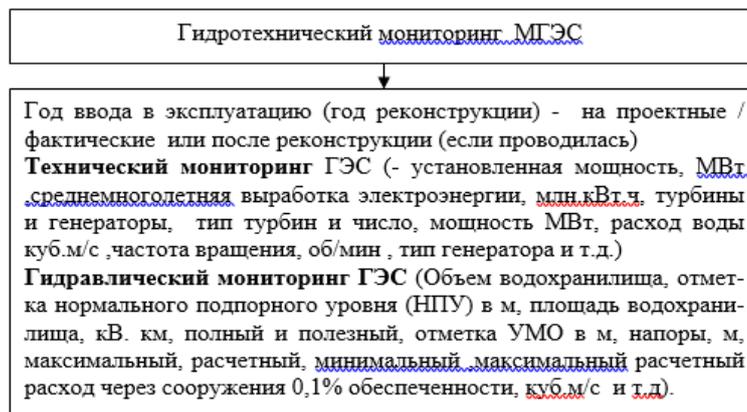


Рис.2. Интегральные показатели гидроэкологического мониторинга

Основные показатели гидроэкологического мониторинга МГЭС:

- а) очистка от мусора, затопленных и плавающих предметов (что доминирует, плавающая древесина или пластик), требуется ли реконструкция соросдерживающих решеток;
- б) требуется ли защита берегов от разрушения: механические или биологические (строительство или реконструкция защитных сооружений, посадка деревьев, кустарников и др.) прочие мероприятия по защите берегов от разрушения (из практического опыта службы эксплуатации);
- с) контроль качества воды - очистка дренажных вод, очистка замасленных стоков, строительство или реконструкция существующих очистных сооружений, строительство коллекторов для отвода сточных вод, ликвидация застойных зон и мелководий);
- д) борьба с затоплением и подтоплением земель (обвалование берегов, противофильтрационные экраны и завесы, дренаж, и т.д.);

- е) обеспечение жизнедеятельности гидробионтов (рыбы, планктона и других водных организмов);
- ф) борьба с цветением воды (аэрация и т.д.);
- h) предотвращение загрязнения водоемов при эксплуатации МГЭС (очистки маслосодержащих жидкостей);
- і) поддержание естественного режима твердого стока в нижнем бьефе МГЭС (промыв водохранилища, механическая уборка наносов и т.д.);
- j) обеспечение гидроэкологической безопасности при повышенной сейсмичности МГЭС (укрепление оползневых участков берега, реконструкция водосбросных сооружений с целью снижения вибрации основания ГЭС, повышение сейсмостойкости сооружений и оборудования и т.д.);
- к) мероприятия по уменьшению площади затопления земель (для ввода земель в сельскохозяйственный оборот, обвалование и осушение мелководий. В каждой МГЭС, будут индивидуальные отличия и гидроэкологические проблемы требующие различных решений.

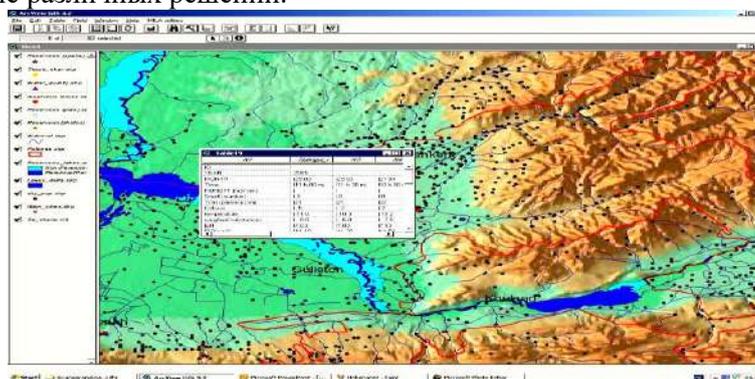


Рис. 3. Гидроэкологический мониторинг на базе ГИС для изучения гидрохимического состава водохранилища, при нажатие курсора на водохранилище, выходят таблицы и технологические схемы банка данных

Исследование водных ресурсов по бассейнам рек включают в себя несколько блоков: а) сбор и обработка информации (это компьютерный банк данных, картосхемы, ГИС-система; б) прогнозы изменения загрязняющих веществ в воде речного бассейна рек; в) картирование гидротехнических сооружений.

При создании системы гидроэкологического мониторинга, учитывались три главных фактора: коллекторно-дренажные стоки, сточные воды промышленности и коммунально-бытовые стоки. Сами загрязняющие вещества делятся на отдельные группы, для перехода к регулированию их содержания, при обязательном учете эколого-экономической оценки водоохранных мероприятий.

Выводы. Технология ГИС предоставляет новый, более соответствующий современности, подход по учету экологических факторов, с обоснованием параметров эксплуатации водохранилищ многоцелевого назначения, проектирования, строительства и эксплуатации МГЭС, ГЭС, НС и др.; для водоснабжения, организации рекреации, энергетики и т.д. Получение точных данных по гидро-

экологическому и гидротехническому состоянию позволит провести анализ для получения практических решений по защите водоемов и водотоков от сбросов загрязненных стоков и оптимизации проектирования и эксплуатации МГЭС.

Литература

1. www.lex.uz, Национальная база данных законодательства, 23.11.2018 г.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан N- ПП-4422 от 22.08.2019 г. «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии». Электронный ресурс. <http://nrm.uz>. Дата обращения 10.03.2020.
3. Закон Республики Узбекистан Об использовании возобновляемых источников энергии / Национальная база данных законодательства, 22.05.2019 г., № 03/19/539/3161; 09.11.2020, № 03/20/646/1488)
4. Rene Letolle., Monique Mainguet. Der Aralsee eine ekologische Katastrophe Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996.
5. Развитие возобновляемой энергетики в Узбекистане: современное состояние, проблемы и пути их решения. Н.Матчанов. Ташкент, 2019.. Международный институт солнечной энергии – CAREC. Электронный ресурс. <https://www.carecprogram.org>. Дата обращения 18.03.2020.
6. Экологическая экспертиза: Учеб.пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. Питулько В.М. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.
7. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / Черп О.М., Винниченко В.Н., Хотулева М.В., Молчанова Я.П., Дайман С.Ю. – М.: Социально-экологический союз, 2001.– 312 с.
8. Максименко Ю.Л. Оценка воздействия на окружающую среду: Пособие для практиков/ Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина. – М.: РЭФИА, 1996.
9. Руководство по подготовке экологически обеспеченных инвестиционных проектов. – М.: Центр подготовки и реализации международных проектов технического содействия, 2001.
10. Васильев С.А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду: Учебно-методическое пособие / С.А. Васильев, С.А. Фомин. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2003.
11. Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Кузьменко Я.В., и др. Гидроэкологический мониторинг рек как составная часть организации природопользования на бассейновых принципах /Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах : материалы V междунар. науч. конф., Белгород, 28-31 окт. 2013 г. /БелГУ. -Белгород, 2013. - С. 93-96.
12. Насрулин А.Б. Гидроэкологический мониторинг бассейна Аральского моря в целях экологической безопасности //Водные ресурсы.-№ 1, 2000, Москва, Россия, -С 109-113.
13. A.Nasrulin and A.Khamzina, Use of a model based hydroecological monitoring for managing the Aral Sea Basin, Annual meeting of the American institute of Hydrology and Hydrogeology, Hydrologic Issues of the 21st Century; Ecology, Environment and Human Health, San Francisco, California; pp. 69-70, (1999).
14. A. Nasrulin, H. Lieth. Elaboration of Systems Hydroecological Monitoring

of Aral Sea Basin./ M. Matthies, H. Malchow & J. Kriz (eds.) Integrative Systems Approaches to Natural and Social Dynamics. Springer-Verlag Berlin, ISBN 3-540-41292-1, appr. August 2001. p 249-261.

15. Муродулло Мухаммадиев, Айдар Насрулин. Вопросы экологической экспертизы малых гидроэлектростанций с использованием информационных технологий // *Узбекгидроэнергетика, илмий-журнали*, 2019, № 3(3), -С 37-38.

16. Насрулин А.Б., Перспективы использования геоинформационных технологий для экологической экспертизы гидротехнических сооружений Узбекистана /Иновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари. Халқаро илмий-техник on-line анжуман илмий ишлар тўплами. том 3- Тошкент. ТошДТУ, 2020. - 114 с.

17. Насрулин А.Б. Гидроэкологический мониторинг для экспертизы гидротехнических и гидроэнергетических сооружений Чирчик-Бозсуйского каскада // *Проблемы энерго- и ресурсосбережения*, 2020, -№ 3-4. -С 262- 263.

18. Насрулин А.Б., Сибукаев Э.Ш. Методика гидроэкологического мониторинга для исследования рек Юга России. / *Университетская Наука. University Science. «Современная наука: теоретический и практический аспект» // Журнал по материалам XXI-ой международной научно-практической конференции /Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В. Г. Шухова*, 2020, №1(9). -С 45-50.

19. Nasrulin A., Ergasheva D., Khamdamov B., Shadibekova F. Environmental monitoring in construction for hydro-technical structures and land reclamation facilities of Uzbekistan /IOP Conference Materials Science and Engineering 1030 (2021) 012102 IOP Publishing 10.1088/1757-899X/1030/1/012102.

20. Nasrulin A., Khamdamov B., Yuldashev T, Ergasheva D. Kan E. Simulation of physical processes and environmental monitoring at training and research stands // *E3S Web of Conferences* 264, 01002 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401002>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

METHODS FOR DETERMINING THE TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF COMBINED ENERGY DEVICES BASED ON SOLAR, WIND AND HYDRAULIC ENERGY SOURCES**M.M. Mukhammadiev, A.Abdiaziz uulu**

Ушбу мақолада қайта тикланадиган энергия манбаларининг ҳар бир тури учун алоҳида электр станцияларидан ташиқил топган, бир неча қайта тикланадиган энергия манбаларига асосланган комбинацияланган станциялар (КЭҚ) кўриб чиқилган. Гидравлик, қуёш ва шамол энергия манбаларига асосланган КЭҚ тизим манба схемаси ва электр станциясида истеъмол (юклама) ва энергия ишлаб чиқариш графиклари таҳлил қилинган. Бундай электр станцияларини бирлаштириш шартларини аниқлаш - ҳар бир турдаги электр станцияларининг қувватини танлаш муаммоси пайдо бўлади. Ушбу муаммони мини гидроэлектрстанция (миниГЭС), қуёш фотоволтик (ҚФЭҚ) ва шамол (ШЭҚ) энергетик қурилмаларига асосланган комбинацияланган электр станцияси мисолида кўриб чиқиш ушбу ишнинг мақсади ҳисобланади. Комбинацион энергетик қурилмалардан фойдаланишда унинг иштирокчилари ўртасидаги қувватлар муносабатини аниқлашда иқтисодий жиҳатдан ёндошган ҳолда уларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини аниқлаш методикаси тавсия этилган.

В этой статье обсуждаются комбинированные станции (КЭУ) на нескольких возобновляемых источниках энергии, состоящие из отдельных электростанций для каждого вида возобновляемого источника. Проанализированы: схема системы КЭУ на основе гидравлических, солнечных и ветровых источников энергии, а также графики потребления (нагрузки) и выработки электроэнергии на КЭУ. При определении условий объединения таких электростанций возникает проблема выбора мощности каждого типа электростанций. Целью данной работы является рассмотрение этой проблемы на примере комбинированной электростанции на основе мини-гидроэлектростанций (миниГЭС), солнечных фотоэлектрических (СФЭС) и ветровых (ВЭС) электростанций. При использовании комбинированных энергетических устройств предлагается методика определения их технико-экономических характеристик с экономическим подходом к определению соотношения мощностей между компонентами КЭУ.

This paper discusses Combined Stations (CED) based on multiple renewable energy sources, consisting of separate power stations for each type of renewable energy source. The CED system based on hydraulic, solar and wind energy sources and the consumption (load) and power generation graphs at the power plant were analyzed. Determining the conditions for the integration of such power plants - the problem of choosing the capacity of each type of power plants arises. The aim of this work is to consider this problem in the example of a combined power plant based on mini hydropower (miniHPP), solar photovoltaic (SPP) and wind (WPP) power plants.

In the use of combined energy devices, a methodology for determining their technical and economic performance with an economic approach to determining the power relationship between its participants is proposed.

Introduction. Several factors must be considered before adopting a full-phase power generation system based on renewable energy sources. Long-term necessary data should be collected before making any decisions concerning implementation of such a systems.

Hydro, wind, and solar photovoltaic energy are the top renewable energy sources in terms of globally installed capacity. This research may be applied as a practical guide for implementing similar systems in various locations.

Around 1.3 billion of the global population mostly reside in remote rural areas, and governments often cannot provide basic energy facilities for these sparsely populated regions [1]. Thus, off-grid power systems are often the only way to meet the energy needs of population in remote places. Many remote systems, such as repeater tower stations and radio telecommunication stations, are entirely dependent on off-grid power systems.

System specification. The rapid depletion of fossil fuels worldwide has also made it necessary to reduce dependency on these nonrenewable energy resources. One way of accomplishing this is to exploit the enormous potential of renewable energy sources to meet continually increasing demands for energy [3,4]. However, the periodic nature of renewable energy sources is the main issue hindering their rapid implementation [5,6]. To improve the reliability and power quality of systems based on renewable energy (RE), energy storage devices and conventional generators are generally used as backup systems. However, distributed generation using two or more renewable energy sources can also significantly increase the reliability [4]. Commercially viable hybrid renewal energy systems (HRES) include PV–battery, wind–battery, PV–wind–battery systems. Figure 1 shows the hybrid PV-wind-hydraulic energy system installed in Tashkent state technical university.



Fig. 1. Hybrid PV-wind-hydraulic energy system

The main characteristics for renewable energy sources (RES) and conventional energy devices are the cost of installed capacity, service life, number of working hours per year and most importantly the cost of energy produced.

The main difference between RES power plants and traditional power plants is that they have much lower energy density and fewer operating hours per year.

In addition, renewable energy devices operate in stand-alone mode, and a serious problem is to provide the required power (consumption) mode. This problem also exists in large-scale energy and can be solved with the help of a common power grid - additional power.

In this regard, renewable energy devices have the following main function - to obtain energy at a minimum cost, providing a certain power and energy consumption mode.

It is known that the variability of RES leads to inconsistencies in energy production and consumption schedules. In general, a RES-based installation should include a battery (AB) to provide the required load mode. Basically, such a power plant can provide any real load conditions based on a single RES. However, at the same time, if the RES reception methods and the load schedule do not match, then a large power AB may be required and accordingly there should be a large limit for the rated power of the power plant. The parameters of such an installation include large power outages or very long interruptions in renewable energy sources. At the same time, the cost of energy produced will also be much higher. In this regard, several renewable energy-based combined power plants have been proposed, consisting of separate power stations for each type of renewable energy sources.

In general, the source-consumer system scheme may be expressed in the form of a page (Figure 2). In this regard, the problem of determining the conditions of integration of such power plants - the choice of capacity of each type of power plants arises. The purpose of this work is to consider this problem in the example of a combined power plant based on mini hydropower (miniHPP), solar photovoltaic (SPP) and wind (WPP) power plants [7].

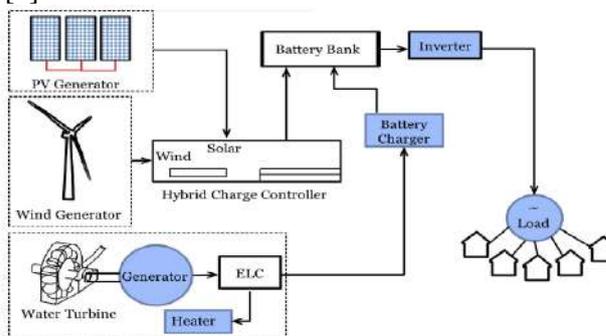


Fig 2. CED system welding scheme based on hydraulic, solar and wind energy sources

Methods. Combined Renewable Power Stations operate on a variety of non-conventional energy sources (solar, wind, hydraulic, etc.) and provide a more complete set of loading regimes, but integrated stations are more expensive to install and cost less energy. It is necessary to determine the conditions for the connection of such power plants - the choice of capacity of each type of power plant.

In general, we have two extreme operating modes of RES devices:

1. The required power consumption mode is fully provided.
2. The power consumption mode corresponds to the production mode.

However, different combinations of energy production and consumption graphs can be implemented (see Fig. 3) [8].

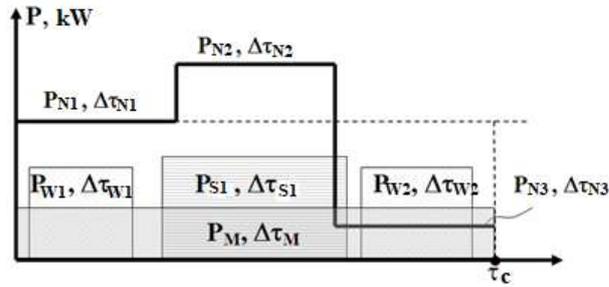


Fig. 3. Power (load) and power generation graphs at the power plant

Combined renewable energy devices can also be divided into repetitive cycles of τ_c time in the operation of consumer systems, typically day, weekly, monthly and seasonal cycles.

In this case, the energy balance equation must be fulfilled for each repetitive time or τ_c cycle (see Figure 3).

$$\sum_{i=1}^{i=n} (P_{Si} + P_{Wi} + P_{Hi} - P_{Ni}) * \Delta\tau_{Ni} \tag{1}$$

where P_{Ni} is the load capacity over a short period of time, $\Delta\tau_{Ni}$ is the total load time, for example τ (also $\tau \leq \tau_c$); i - number and n - the number of time intervals in the cycle τ_c , respectively, P_{Si} , P_{Wi} , P_{Hi} - during this time the load is generated and delivered by SPPP, WPP and mini hydropower plants (they may be less than the actual capacity) [9,10].

For each CPD setup, we can write the following equation equations, for example, for a SPPP:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_{Si} \Delta\tau_{Ni} = N^S \tau_S \tag{2}$$

Here N^S is the average power of SPPP (in practice always $N^S > P_{Si}$), the time in $\tau_S - \tau_c$, during which time SPPP produces the average power of N^S , the same view for WPP:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_{Wi} \Delta\tau_{Ni} = N^W \tau_W \tag{3}$$

and for miniHPP:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_{Hi} \Delta\tau_{Ni} = N^H \tau_H \tag{4}$$

The average power is undoubtedly equal to SPPP:

$$N^S = (1/\tau_S) \sum_{i=1}^{i=n} N_{SPPPi} * \Delta\tau_{Ni} \tag{5}$$

Typically, $\tau_S \leq \tau$, $\tau_W \leq \tau$ and $\tau_H \leq \tau$ AB are required, the delivered power is kWh Q_{wh}^S , Q_{wh}^W and Q_{wh}^H , this condition is located in the time τ_S , τ_W and τ_H (this is based on renewable energy sources necessary for the efficient operation of the devices, although the condition is not sufficient):

$$\begin{aligned} Q_{wh}^S &= P_S * (\tau - \tau_S) \ , \\ Q_{wh}^W &= P_W * (\tau - \tau_W) \ , \\ Q_{wh}^H &= P_H * (\tau - \tau_H) \ , \end{aligned} \tag{6}$$

It should be noted that when the best conditions for CPD are $\tau_c = \tau_S = \tau_W = \tau_H$, AB with a minimum capacity is required.

For example, given that AB allows only 1/3 of the charge to be discharged, the final capacity of the Ah - Q_{ah}^S , Q_{ah}^H , and Q_{ah}^W batteries will be equal.

$$\begin{aligned} Q_{ah}^S &= 3 * Q_{wh}^S * 1000/U, \\ Q_{ah}^W &= 3 * Q_{wh}^W * 1000/U, \\ Q_{ah}^H &= 3 * Q_{wh}^H * 1000/U, \end{aligned} \quad (7)$$

where 1000 is the conversion factor of kW to W and U is the voltage at a single AB output, typically 12V.

You can then find the number AB n for SPPP, WPP and miniHPP:

$$n^S = \frac{Q_{ah}^S}{Q_{AB1}}, \quad n^W = \frac{Q_{ah}^W}{Q_{AB1}}, \quad n^H = \frac{Q_{ah}^H}{Q_{AB1}} \quad ; \quad (8)$$

where Q_{AB1} is the capacity of a single battery in Ah, and their price for SPPP, wind turbine and miniHPP:

$$C^{SAB} = n^S * C_1^{AB}, \quad C^{WAB} = n^W * C_1^{AB} \quad \text{and} \quad C^{HAB} = n^H * C_1^{AB}. \quad (9)$$

Here C_1^{AB} is the price of a single battery with a capacity of Q_1^{AB} .

Now we can move on to evaluating the price features of CPD. The specific value of 1 kW CPD power is usually determined in the form:

$$C_W^K = (C^S + C^W + C^H + C^{SAB} + C^{WAB} + C^{HAB})/P. \quad (10)$$

In the literature, the nominal power values of the wind turbine are known - C_W^W (for the nominal wind speed V_N), SPPP - C_W^S (for nominal solar radiation, usually $E_H = 1000 \text{ W/m}^2$) and miniHPP - C_W^H (for nominal flow rate Q or nominal water speed).

Obviously, the cost of SPPP - C^S and wind turbine - C^W , miniHPP - C^H with their known nominal capacities N_N^S , N_N^W , N_N^H and known unit costs of rated power - C_W^S , C_W^W , C_W^H will be equal to:

$$\begin{aligned} C^S &= N_N^S * C_W^S, \\ C^W &= N_N^W * C_W^W, \\ C^H &= N_N^H * C_W^H. \end{aligned} \quad (11)$$

The nominal powers of these installations are obtained from the general formulas with the corresponding "nominal" values of the coefficients, which have the form.

For SPPP:

$$N_{SPPP} = N_{PBN} * \left(\frac{\eta}{\eta_S}\right) \left(\frac{E}{E_N}\right) * \eta_c * f_B = N_N^S * f_1 * f_2 * f_B. \quad (12)$$

For WPP:

$$N_{WPP} = N_N * \left(\frac{C_P}{C_{Pm}}\right) \left(\frac{V}{V_N}\right)^3 * \eta_c * f_B = N_N^W * f_1 * f_2 * f_B. \quad (13)$$

For miniHPP:

$$N_{HPP} = N_{TN} * \left(\frac{\eta_T}{\eta_{TN}}\right) \left(\frac{V}{V_N}\right)^3 * \eta_c * f_B = N_N^H * f_1 * f_2 * f_B. \quad (14)$$

As you can see, in the general case, when the coefficients f_1 , f_2 , f_B are not equal to 1, usually less than 1, then the real power will be less than the nominal and this will affect the price of the produced energy. It can be noted that this, in principle, is the case for conventional heat and power plants when they do not operate in the nominal mode.

Conclusions. Given the efficiency, potential, and variability of renewable energy sources, the correlations between the power generated by the power plant and its rated power and the rated power of its components, as well as the included coefficients, are obtained. The correlations obtained allowed to determine the correlation between power and cost for KED, SPP, WPP and HPP.

References

1. Council WE. World Energy Scenarios: composing energy futures to 2050. World Energy Council; 2013.
2. Misak S, Prokop L. Off-grid power systems. In: Environment and electrical engineering (EEEIC), 2010 9th international conference on 2010. p. 14–7.
3. Stroe D, Stan A, Visa I, Stroe I. Modeling and control of variable speed wind turbine equipped with PMSG; 2011.
4. Nema P, Nema RK, Rangnekar S. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2096–103.
5. Soetedjo A, Lomi A, Mulayanto WP. Modeling of wind energy system with MPPT control. In: Electrical engineering and informatics (ICEEI), 2011 international conference on 2011. p. 1–6.
6. Adzic E, Ivanovic Z, Adzic M, Katic V. Maximum power search in wind turbine based on fuzzy logic control. *Acta Polytech Hung* 2009;6:131–49.
7. M.M.Muhammadiyev, A.Abduaziz uulu. Kichik quvvatli kombinatsion shamol – quyosh energetik qurilmalari va ularning ish samaradorligini oshirish. “Energetika sohasini rivojlantirishda muqobil energiya manbalarining roli” mavzusida xalqaro miqyosidagi ilmiy – amaliy konferensiya. Namangan 2021. 583 – 585.
8. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Абдуазиз уулу Абдурауф и др. Влияние пылевых отложений на характеристики солнечных батарей. //Сборник материалов республиканской научно – практической конференции. Қарши 2021. – С.379-382.
9. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Абдуазиз уулу Абдурауф и др. Пропускание солнечного излучения “Прозрачными ограждениями” солнечных фотоэлектрических батарей. //Сборник материалов республиканской научно – практической конференции. Қарши 2021. – С. 387-391.
10. Мухаммадиев М.М., Джураев К.С., Абдуазиз уулу Абдурауф. Комбинированные режимы работы гидравлической, солнечной и ветровой энергетических установок. /Тенденции развития современной физики полипроводников: проблемы, достижения и перспективы. Сборник материалов международной научно – рецензируемой онлайн конференции. Ташкент 2020. – С.179-184.

*Submitted by the Tashkent State
Technical university*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ КРУПНЫХ
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

О.Ё. Нурматов

Ushbu maqolada tarkibida yirik nasos stantsiyalari mavjud bo'lgan elektr energetika tizimlari rejim parametrlarida yuzaga keladigan tebranishlarni turli QAR (qo'zg'otishni avtomatik rostlagich) lar orqali so'nishiga ta'sirini o'rganish natijalari keltirilgan. Sinxron motorning istimol qilgan aktiv va reaktiv quvvatlarni taqqoslab ARV-SDPI markali qo'zg'otishni avtomatik rostlagichning avariyan keying rejimda dvigatel sizilarli darajada yuqori quvvat istimol qilganligi sababli qo'zg'otishishni avtomatik rostlagichning ishlashdagi vaqtning uzayishini ko'rsatadi.

В статье приведены результаты исследований влияния типов автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) на демпфирование возникающих колебаний параметров режима электроэнергетических систем (ЭЭС) при наличии в их составе крупных насосных станции. Сравнение потребляемые активные и реактивные мощности синхронного двигателя показали о не совсем корректной работе АРВ-СДПИ, т.к. в послеаварийном режиме двигатель потреблял значительно большие мощности, что говорит о «запаздывании» работы системы АРВ.

The article presents the results of various types of AER (automatic excitation regulator) for different damping of the arisen oscillations. Comparison of the consumed active and reactive powers of the synchronous motor showed that the ARV-SDPI does not quite work correctly, since in the post-accident mode, the engine consumed significantly higher power, which indicates a "delay" in the operation of the ARV system.

Обеспечение устойчивой параллельной работы генераторов является одной из основных задач оперативно-диспетчерского и автоматического управления. Важнейшей системой автоматического управления, используемой в электроэнергетических системах (ЭЭС), является система автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных генераторов.

Система АРВ отвечает за обеспечение нормального уровня напряжения в точках Единой электроэнергетической системы (ЕЭС). Кроме того, действие системы АРВ обеспечивает устойчивость параллельной работы генераторов как в нормальных, так и в переходных режимах. В устройствах АРВ выделяют регулирующий канал управления, решающий задачу поддержания нормального уровня напряжения. Увеличение коэффициентов усиления в данном канале приводит к увеличению запасов по статической устойчивости, что повышает пропускную способность сети, но также усиливает колебательные свойства системы, приводя к увеличению времени затухания колебаний. Для возможности увеличения коэффициентов усиления в регулирующем канале в устройства АРВ

добавляется стабилизирующий канал, ответственный за демпфирование электромеханических колебаний. В этой связи в полной мере проявляется необходимость правильного выбора параметров стабилизации устройств АРВ. Неверно выбранные настройки могут привести как к снижению пределов передаваемой мощности по связям, так и вовсе стать причиной нарушения устойчивости в силу самораскачивания.

В качестве примера обработки сигналов автоматическими регуляторами возбуждения рассмотрим следующие типы регуляторов: АРВ (автоматический регулятор возбуждения) -РЭМ и АРВ-СДП-1.

На рис. 1 показана структурная схема АРВ типа АРВ-СДП-1.

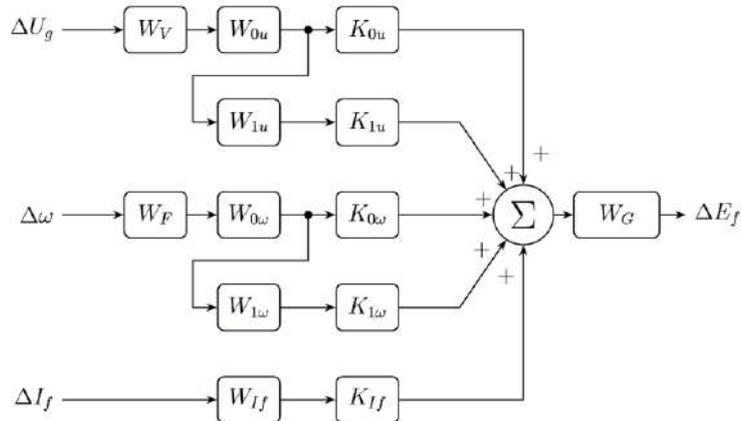


Рис. 1. Структурная схема АРВ-СДП-1

Канал отклонения напряжения представлен последовательным соединением аperiodического звена с передаточной функцией [1,2,3]:

$$W_v = \frac{1}{1 + sT_v}, \quad (1)$$

где T_v – постоянная времени блока напряжения, $T_v=0,0235$ с, и усилительного инерционного звена, передаточная функция которого:

$$W_{0u} = \frac{0.8}{1 + sT_{0u}}, \quad (2)$$

где T_{0u} – постоянная времени канала отклонения напряжения; причем $T_{0u}=0,006K_{0u}$, что обеспечивает зависимость выходного сигнала канала отклонения напряжения от частоты. Параметр K_{0u} – коэффициент усиления по каналу отклонения напряжения, задается фиксированным из следующего набора значений: $K_{0u}= 15; 25; 50; 75; 100; 200$.

Передаточная функция канала производной напряжения имеет вид [1,3,5]:

$$W_{1u} = \frac{0.03s}{(1 + sT_{1u})^2}, \quad (3)$$

где T_{1u} – постоянная времени: $T_{1u}= 0,03$ с. K_{1u} – коэффициент усиления по каналу производной напряжения.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Блок частоты представляется инерционным дифференцирующим звеном [2]:

$$W_F = \frac{s}{1 + sT_F}, \quad (4)$$

где T_F – постоянная блока частоты; $T_F = 0,0047$ с.

Канал отклонения частоты напряжения является последовательным соединением инерционного усилительного звена и дифференцирующего звена [1,4,6]:

$$W_{0\omega} = \frac{0.536s}{(1 + sT_{y1})(1 + sT_{0\omega})}, \quad (5)$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_{y1} = 0,037$ с. и $T_{0\omega} = 2,244$ с.

Канал производной частоты напряжения описывается последовательно соединенными инерционным усилительным звеном и дифференцирующим звеном [1]:

$$W_{1\omega} = \frac{0.4s}{(1 + sT_{y2})(1 + sT_{1\omega})}, \quad (6)$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_{y2} = 0,2$ с. и $T_{1\omega} = 0,02$ с.

Канал производной тока возбуждения генератора представлен последовательным соединением инерционного усилительного звена и дифференцирующего звена с передаточной функцией [1]:

$$W_{1\omega} = \frac{0.28s}{(1 + sT_y)(1 + sT_{If})}, \quad (7)$$

где соответствующие постоянные времени равны: $T_y = 0,094$ с. и $T_{If} = 0,024$ с.

Группа элементов, входящих в основной канал регулирования, представляется эквивалентным аperiodическим усилительным звеном с передаточной функцией вида [1]:

$$W_G = \frac{K_G}{1 + sT_G}, \quad (8)$$

где коэффициент усиления ОКР $K_G = 10$, постоянная канала $T_G = 0.005$ с.

Значения коэффициентов усиления каналов стабилизации АРВ-СДП1 ($K_{1\omega}$, $K_{0\omega}$, $K_{1\omega}$, K_{If}) нормированы и изменяются от 0 до 10. Все коэффициенты усиления входят в закон регулирования с соответствующими знаками, в частности $K_{0\omega}$, $K_{1\omega}$, K_{If} отрицательны. Коэффициенты линейно зависят от положения переключателей регулятора с коэффициентом пропорциональности 0.1, то есть на каждые 10 делений шкалы коэффициенты в уравнении изменяются на единицу [1,6,7].

Упрощенная схема устройства АРВ-СДП1, полученная на основе приведенного математического описания отдельных звеньев и каналов регулирования представлена на рис. 2.

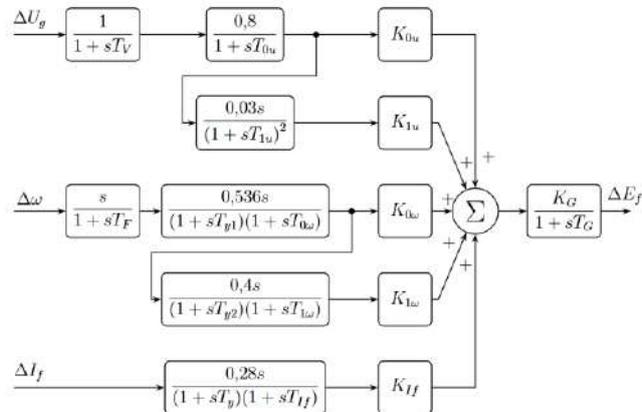


Рис. 2. Полная структурная схема регулятора возбуждения АРВ-СДП1

АРВ-РЭМ является современным быстродействующим микропроцессорным регулятором возбуждения включающий в себя системный стабилизатор. Каждый канал управления имеет встроенные средства самоконтроля и диагностики существенно повышающие надежность системы в целом и сокращающие время на поиск неисправности. Каждый канал управления оснащен собственной автономной системой электропитания, работающей как от напряжения питания тиристорного преобразователя, через разделительный трансформатор, так и от аккумуляторной батареи. Каждый канал управления оснащен блоком аварийного осциллографирования, который обеспечивает запись в память контроллера 10 осциллограмм переходных процессов. Каждый канал управления может быть основным. Резервный канал работает как следящий для обеспечения плавного перехода при переключении каналов с сохранением рабочей точки возбуждения и контролирует при этом исправность активного канала. В состав АРВ-РЭМ входит системный стабилизатор, отвечающий за формирование сигнала стабилизации по изменению и производной частоты генератора (Δf , f'), по производной тока ротора (I'_r) для демпфирования колебаний в энергосистеме и увеличения пределов устойчивости [2,8,9].

Регулятор возбуждения осуществляет регулирование по PID закону и совместно с системой возбуждения реализует следующие функции [2,9]:

- регулятор напряжения статора (АРН);
- регулятор реактивной мощности;
- регулятор коэффициента мощности;
- регулятор тока возбуждения (РТР);
- система управления возбуждением (СУВ);
- система управления тиристорами (СУТ);
- защиты системы возбуждения.

Активным во всех режимах является регулятор напряжения АРН. Переключение на регулятор тока производится автоматически при отказе АРН обоих каналов либо вручную по командам оператора

Передаточная функция АРН представляется в виде:

$$W_1(p) = K_{pU} + \frac{K_{max}}{1 + K_{max} * p * T_u} + K_{1u} * W_D(p) \quad (9)$$

Здесь: K_{pU} - величина коэффициента усиления на высоких частотах;

T_u - постоянная времени интегрирования канала АРН;

K_{1u} - коэффициент по производной напряжения генератора;

$W_D(p)$ - дифференциатор напряжения генератора;

K_{max} - коэффициент ограничения усиления на низких частотах;

Дифференциатор напряжения:

$$W_D(p) = e^{-0.01p} \frac{p}{(0.0125p + 1)^2} \quad (10)$$

Внутренний стабилизатор по производной тока ротора:

$$W_2(p) = K_{1if} \frac{p}{(0.1p + 1)(0.028p + 1)} e^{-0.0033p} \quad (11)$$

Здесь: K_{1if} - коэффициент по производной тока ротора;

Звено по отклонению частоты

$$W_3(p) = K_{of} \cdot e^{-0.02p} \frac{1}{0.16p + 1} \cdot \frac{2p}{2p + 1} \cdot e^{-0.0033p} \quad (12)$$

Здесь: K_{of} - коэффициент по отклонению частоты;

Звено по производной тока ротора

$$W_4(p) = K_{1f} \cdot e^{-0.02p} \frac{1}{0.16p + 1} \cdot \frac{p}{(0.1p + 1)(0.02p + 1)} \cdot e^{-0.0033p} \quad (13)$$

Здесь: K_{1f} - коэффициент по производной частоты;

На основе вышеприведенных структурных схем АРВ, составим виртуальную модель простейшей ЭЭС в пакете Simulink Matlab.

На рис. 4 приведена смоделированная схема ЭЭС состоящей из моделей синхронного двигателя типа СДН-2-17-89-6У3, электрической системы и моделей АРВ.

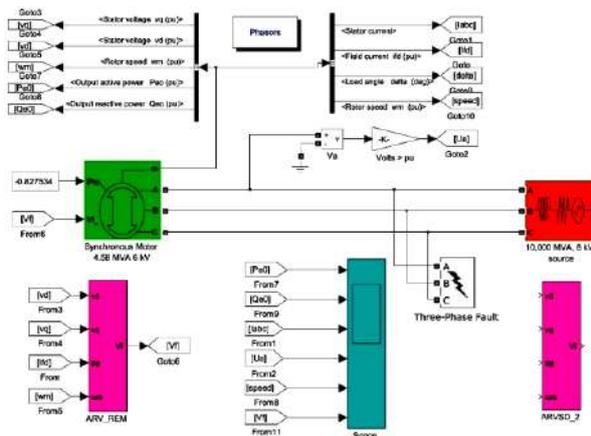


Рис. 4. Схема простейшей ЭЭС в пакете Simulink

Проведем опыт виртуального моделирования, связанный с созданием искусственного трехфазного короткого замыкания на шинах подключения синхронного двигателя к энергосистеме. Продолжительность короткого замыкания установим равным 0,1 сек.

Проанализируем изменение параметром синхронного двигателя и электрической системы в результате короткого замыкания. На рис. 15 приведены характеристики изменения параметров синхронного двигателя при установке различных систем АРВ.

АРВ-РЭМ возникшие колебания были погашены значительно быстрее за счет наличия в составе схемы АРВ-РЭМ системного стабилизатора.

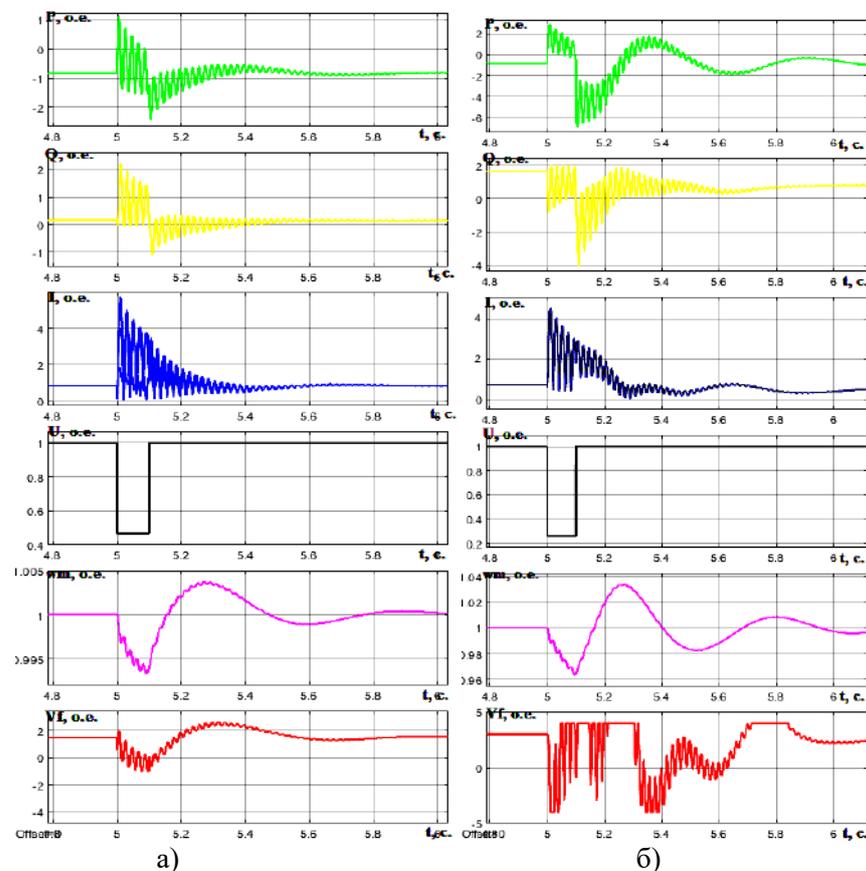


Рис. 5. Характеристики параметров синхронный двигатель при различных АРВ: а) АРВ-РЭМ; б) АРВ-СДП1
(P-активные мощность Q-реактивные мощность I-потребленной ток, U- напряжения, W_m -скорость вращения ротора, V_f – напряжения возбуждения)

Как видно из полученных результатов различные типы АРВ по разному погасили возникшие колебания в результате короткого замыкания. Сравнивая потребляемые активные и реактивные мощности синхронного двигателя можно сделать вывод о не совсем корректной работе АРВ-СДП1, т.к. в послеаварийном

режиме двигатель потреблял значительно большие мощности, что говорит о «запаздывании» работы системы АРВ. При установке АРВ-РЭМ после устранения короткого замыкания наблюдались значительно меньшие колебания тока. В случае установки АРВ-СДП1 уровень напряжения в момент КЗ снизился до $0,25U_n$, тогда как при установке АРВ-РЭМ напряжение снизилось до $0,45U_n$, что объясняется значительным уровнем расфорсировки возбуждения АРВ-СДП1. Изменение скорости вращения ротора СГ практически идентичны, хотя при установке АРВ-РЭМ демпфирование более эффективно. Изменение напряжения возбуждения в случае установки АРВ-СДП1 носит колебательный характер в течении 0,7 сек., что свидетельствует о не корректном подборе соответствующих коэффициентов усиления.

Литература

1. Аллаев К.Р., Хохлов В.А., Ситдииков Р.А., Переходные процессы насосных станций /Под ред. проф. М.М. Мухаммадиев. - Т.: «Фан ва технология». 2012 - 226 с.
2. Тацилин В.А. Анализ и выбор параметров стабилизации устройств регулирования возбуждения с использованием методов идентификации: Автореф. дис. кан. тех. наук. – Е.: 2018. – 24 с.
3. Цифровые системы возбуждения. URL: <https://ruselprom.by/cifrovye-sistemy-vozbuzhdeniya/>
4. Петелин Д.П. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных двигателей. М.-Л., Госэнергоиздат, 1961-105 с.
5. Nurmatov O. Yo. Analysis of continuances transition processes at abrupt power no balance. //International Journal of Technical Sciences. 2019, vol. 1, issue 3, pp. 15-19
6. Allayev K. Nurmatov O., Makhmaraimova F Calculastion experimental studies of transition processes in electricity systems with account of hydroenergy installations. (Journal of Critical Reviews ISSN- 2394-5125 VOL 7, ISSUE 13, 2020) <http://www.jcreview.com/index.php?iid=2020-7-13.000&&jid=197&lng>.
7. Nurmatov O. Large pumping stations as regulators of power systems modes. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2020), vol. 216, pp. 1–4. E3s Web of Conferences (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601097>.
8. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для вузов. - М.:Высшая школа, 1978. -Изд. 3-е, перераб. -415 с.
9. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. –М: Энергоиздат, 1991. -144 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311.161

**ШАМОЛ СТАНЦИЯРИНИ ЭНЕРГОТИЗИМ ТУГУНЛАРИ РЕЖИМ
ПАРАМЕТРЛАРИГА ТАЪСИРИНИ БАҲОЛАШ****А.С. Халилов**

Мақолада Ўзбекистон энерготизимининг Жанубий-Ғарбий қисмини бирлашган энергетика тизими билан боғловчи назорат кесимларини (сечения) телеўлчов қурилмалари мавжуд бўлмаганда, ёки қўпол хатоликлар мавжуд бўлганда статик турғунлик бўйича қувват узатиш заҳирасини қайта тикланадиган энергия манбалари таъсирида ўзгаришини ҳисоблаш ва баҳолаш ишлари олиб борилган. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики назорат қилинаётган кесимда телеўлчов қурилмалари мавжуд бўлмаганда, ёки телеўлчовлардаги шум келтириб чиқарган қўпол хатоликлар бўлганда, режим ҳолатини етарлича аниқ баҳолаш имкони бермади. Назорат кесимлари ва тармоқларни ҳолатини шамол прогноз кўрсаткичларини инобатга олиб шамол станцияси ҳудудидаги тармоқларни қувват узатиш заҳира коэффициентини аниқланди. Ҳисоблар тўлиқ бир кун учун олиб борилган бўлиб, натижалар график кўринишида тақдим этилган. Олиб борилган тадқиқот лойиҳалаш жароёнида аниқликни ошириш ва тармоқлар ўтказиш қобилиятидан максимал даражада фойдаланиш имконини беради. Бизга маълумки шамол тезлиги кескин ўзгарувчи характерга эга, шамол тезлиги прогнозини ҳудудлар бўйичам интернет тармоғида маҳсус сайтлардан фойдаланилган ҳолда аниқлаш мумкин. Мавзунинг долзарблиги шундаки, бугунги кун қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш замон талабига айланиб бораётгани ва бу борада давлат миқёсида кенг қўламли ишлар амалга оширилмоқда. Таклиф этаётган алгоритм сеченияларни индивидуал баҳолаш методи ҳисобланади. Назарияда қўлланилиши бўйича бир неча журналларда мақола элон қилинган бўлиб, амалиётда Ўзбекистон миллий диспетчерлик марказида синов тариқасида кесимларни назорат қилишида прогноллаш методи орқали қўлланилди.

В статье произведен расчет и оценка контролируемых сечений, соединяющих Юго-Западную часть энергосистемы Узбекистана с объединенной энергосистемой при отсутствии средств телеизмерения или при наличии грубых погрешностей под влиянием возобновляемых источников энергии. Расчеты показывают, что при отсутствии устройств телеизмерений на контролируемом сечении или при наличии грубых ошибок телеизмерений, вызванных шумом, невозможно было достаточно точно оценить состояние запаса устойчивости. Коэффициент запаса передаваемой мощности линий электропередачи в районе ветровой электростанции определялся с учетом прогноза скорости ветра и загруженности контролируемых сечений и сетей. Расчеты проводились за сутки, а результаты были представлены в графической форме. Исследование позволяет увеличить точность параметров при проектировании для максимального использования пропускной способности сети. Как известно, скорость ветра носит вероятностный динамический характер, про-

гнозы скорости ветра можно определять по регионам с помощью специальных сайтов Интернета. Предлагаемый нами алгоритм представляет собой метод индивидуальной оценки запаса статической устойчивости сечений. Актуальность вопроса заключается в том, что сегодня использование возобновляемых источников энергии становится требованием современности и на государственном уровне ведется масштабная работа в этом направлении. Статья о теоретическом применении указанного алгоритма была опубликована в нескольких журналах, а на практике он был апробирован в Национальном диспетчерском центре Узбекистана для оценки состояния контролируемых сечений.

The article calculates and evaluates the change of control sections (secheniya) connecting the South-Western part of the Uzbek power system with the integrated power system in the absence of telemetering devices or in the presence of gross errors under the influence of renewable energy sources. Calculations show that in the absence of telemetry devices on a controlled section or in the presence of gross errors in telemetry measurements caused by noise, it was impossible to accurately assess the state of the stability margin. The safety factor of the transmitted power of the power transmission lines in the area of the wind farm was determined taking into account the forecast of the wind speed and the load of the controlled sections and networks. The calculations were carried out per day, and the results were presented in graphical form. The study increases design accuracy to maximize the use of network bandwidth. As you know, wind speed is dynamic; forecasts of wind speed can be determined by region using special sites on the Internet. The algorithm we propose is a method for individual assessment of the static stability margin of sections. The relevance of the issue lies in the fact that today the use of renewable energy sources is becoming a requirement of our time, and large-scale work is being carried out at the state level. An article on the theoretical application of this algorithm was published in several journals, and in practice it was tested at the National Dispatch Center of Uzbekistan to assess the state of controlled sections.

Кириш: Бугунги кунда дунё саноати жадаллик билан ривожланиб бориши, энергияга бўлган талабнинг квадратига ортишига олиб келмоқда. Бу эса ўз навбатида, ёқилғи энегия манбаларини янада кўпроқ сарфланиши, табиатга захарли газларни кўпроқ чиқиши ва захираларни камайишига олиб келмоқда. Ёқилғи захираларини тугаб бориши инсониятни чуқурроқ изланишга ва бошқа тур энергияга, яъни қайта тикланувчи энергия манбаларига ўтишини тақазо этмоқда [1,3,10,11]. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишда қуёш, шамол ва биогаз энергиясидан фойдаланиш бугунги кунда бутун дунёда оммалашиб бориши натижасида энерготизимда режим параметрларини бошқаришда муаммолар юзага келмоқда [6].

Электр режимларини бошқаришда электр энерги тизимининг (ЭЭТ) ишончли ва турғун ишлашини таъминлаш учун навбатчи диспетчерлар, хусусан тизим оператори (ТО) телеўлчов маълумотлари ёрдамида ЭЭТ [1] режимининг ростланадиган параметрлар қийматларни рухсат этилган қийматда бўлишини доимий равишда назорат қилиб борадилар.

Электр энергетикаси тизимининг режим ҳолатларини баҳолаш (ХБ) ҳақида маълумот сифатини оширишнинг муҳим вазифалардан биридир. Ҳолатни

баҳолаш самарадорлиги асосан, тезкор диспетчерлик бошқарув тизимининг (ТДБТ) тезкор ахборот мажмуасидан олинган дастлабки маълумотларнинг сифати билан белгиланади ва қайта ишлаш орқали режим параметирлари аниқлиги янада оширилади [2,6,12,19].

Бугунги кунда электр энергетика тизимини бошқаришда муаммоли вазиятларни вужудга келтираётган қайтатикланувчи энергия манбаларини характерлаш орқали энерготизимга таъсирини ва режимни бошқаришда янада кўпроқ ва аниқроқ маълумотлар талаб этилади. Шунингдек, маълумотларни сақлаш ва қайта ишлаш электр режимлари параметрларини баҳолаш аниқлигини оширади [16-20]. Маълумотлар узликсизлигини ва ишончлилигини таъминлаш, энерготизимда диспетчерлик бошқарувини янада осонлаштириш билан бир қаторда режим параметрларини қисқа ва узоқ муддатли прогнозлаш имконини ҳам беради [2,3,21].

Ишнинг мақсади: Электр энергетикаси тизимини самарали бошқариш электр энергетикаси тизимининг барча технологик имкониятларидан фойдаланиш орқали назорат кесимларидан максимал қувват узатиш қобилиятдан фойдаланиш, ҳамда шамол энергияси тасирида кескин қувват ўзгаришини инобатга олган ҳолда статик турғунлик захирасини баҳолаш методларини таҳлил қилиш. Максимал рухсат этилган қувват оқимларнинг энергия тизимидаги режим ўзгаришини қанчалик мос келишини таҳлил қилиш диспетчерлик бошқарувида ўта муҳим омил саналади. Энерготизим ҳолатларини баҳолаш ва прогноз қилишда рухсат этилган максимал қувват оқимини аниқлаш, назорат кесимларидаги бирон бир элемент таъмир ёки фавқулотда авария ҳолатида қувват оқимни юқори қийматини таъминлаш имконини беради. Энерготизимларни боғловчи кесимларни статик турғунлик бўйича қувват узатиш захираларини баҳолашда, айниқса қувват манбалари ичида қайта тикланувчи энергия манбалари бўлса қувватни кескин ўзгаришини баҳолаш янада қийинлашади. Қуйида келтирилган алгоритм орқали тизимлараро қувват алмашинувини самарадорлигини ҳисоблаш аммаллари бажарилган.

Жадвал 1

Шамол генераторини шамол тезлиги ($V_{ген}$) ва ишги қуввати ($P_{ишч}$) боғлиқлик маълумотлари

$V_{ген}$ (м/с)	4	5	6	7	8	90	10	11	12	13	14	15	16	17- 25
$P_{ишч}$ (МВ т)	0,0 27	0,0 65	0,1 23	0,2 03	0,3 07	0,4 35	0,5 64	0,6 84	0,7 79	0,8 40	0,8 48	0,8 49	0,8 50	0,8 50

Муаммонинг ечими: Юқоридаги жадвалда шамол генераторини шамол тезлигига боғлиқлик ишчи қуввати келтирилган. Мақолада Ўзбекистон энерготизимининг Жанубий-Ғарбий қисмини бирлашган энерготизим билан боғловчи кесимнинг статик турғунлик захирасини ҳисоблашда шамол станциясини таъсири ўрганилган. Назорат кесимининг телеўлчовлар маълумотлари хато ва мавжуд бўлмаганда режим ҳолатини баҳолаш учун ҳисоблар олиб борилади

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

$$K_{\Sigma} = \frac{P_{PK} - (P + P_{НОМ} * n * K_{тез} - \Delta P_{MT})}{P_{PK}} \quad (1)$$

P_{PK} -назоратдаги кесимнинг статик турғунлик бўйича рухсат этилган қувват оқими; P -назоратдаги кесимнинг ҳисоблашдаги ҳақиқий қувват оқими, $P > 0$; ΔP_{MT} -назоратдаги кесимнинг мунтазам бўлмаган қувват тебраниши амплитудаси (мунтазам бўлмаган тебраниш ўзгариш диапазони $P \pm \Delta P_{MT}$), назорат кесимини икки томонидаги тизимлардан бири чексиз қувват манбаи ҳисобланганда (2) формуладан фойдаланилади [7,9,12], $K_{тез}$ -шамол тезлигини ишлаб чиқарилувчи қувватга боғлиқлик коэффициентини; n -шамол генераторлар сони; $P_{НОМ}$ -шамол генераторлар номинал қуввати; [4,5]

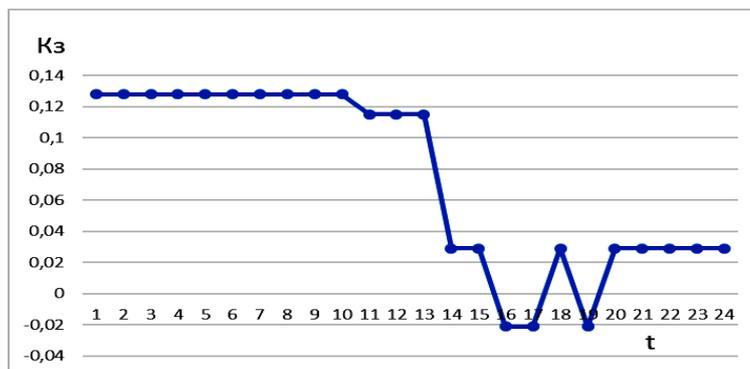
$$\Delta P_{MT} = K \sqrt{P_{H2}} \quad (2)$$

P_{H1} , P_{H2} -энерготизимларнинг юкламалари, назоратдаги кесимнинг томонларидаги юкламалар (МВт); K -назоратдаги кесимдаги актив қувват оқимини автоматик ёки қўлда рослашни ифода этувчи коэффициент (МВт).

Бошлангич маълумотлар: Энерготизимнинг Шимолий - Ғарбий қисмида 500МВт шамол станциясининг шамол тезлигини инобатга олиб тизимга таъсири тадқиқ қилинган. Назоратда бўлган кесим қувват оқими ўзгармас деб қабул қилинган шамол генератори тури G52-850, $K=1,5$ $P_{H2}=3900$ МВт, $P_{PK}= 1200$ МВт, $P_{НОМ}= 0,85$ МВт, $n=590$, $P=1139$ МВт

$$\Delta P_{HK} = 1,5\sqrt{3900} = 93,674 \text{ МВт}, \quad K_{тез} = \frac{P_{\Sigma\phi}}{P_{НОМ}} = \frac{0,027}{0,85} = 0,031 ;$$

$$K_p = \frac{1200 - (1139 + 0,85 * 590 * 0,031 - 93,674)}{1200} = \frac{139,127}{1200} = 0,115$$



1-расм. Назорат кесимининг сутка давомидаги шамол тезлигига мос равишда статик турғунлик захирасини ифодаловчи натижалар

Амалга оширилган ҳисоблар шамол тезлиги қийматлари хар бир соатда олинган бўлиб куйидаги графикда ҳисоб натижалари келтирилган. Назоратда бўлган кесимда ҳақиқий қувват оқими (P) йўналиши шамол электр станцияси қурилайтган тугунга йўналган бўлса ишора манфий олинади [7,8,13-15].

Ҳисоблашлар назоратдаги кесимнинг ҳисоблашдаги ҳақиқий қувват оқими (P) ўзгармас деб қабул қилинган.

Хулоса: Ҳисоблашлар энерготизимлараро қувват алмашинувчи назоратдаги кесимларни қувват узатишнинг статик турғунлик бўйича захираси тадқиқ этилган, натижалар шуни кўрсатадики шамол тезлиги ўзгариши шамол генераторлари ишлаб чиқарувчи қувватини ошишига олиб келади ва назоратдаги кесим қувват узатиш захираси камаяди. Юқоридаги 1-расмда турғунлик захираси ўзгариши келтирилган бўлиб, манфий ишорага эга бўлган қийматларга ҳам эгаллигини кўришимиз мумкин, манфий ишорали қийматлар назорат кесими қувват узатишнинг статик турғунлик бўйича ўта юкланиш билан ишлаётганини англатади. Замонавий энергетикада қайта тикланадиган энергия манбаларини тармоққа улашда юзага келиши мумкин бўлган муамолари ҳолатини кўриш ва баҳолаш имконини берувчи бир томонлама маҳсус алгоритм тузилиб дастур шаклига келтирилган.

Адабиёт

1. Мирзаев А.Т., Халилов А.С. Анализ достоверности измерений для использования оценки состояния электроэнергетической системы. Проблемы энерго- и ресурсосбережения №3-4, Ташкент, 2020. - С.87-91.
2. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. –Т.: Молия, 2007, -388 с.
3. A. Khalilov and A. Mirzaev. Validity of use in assessment of the state of the electric power system. 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 614 012012.
4. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. М: Наука, 1976 С. 27-35.
5. Аллаев К.Р., Басидов И.С., Садуллаев Э.Ф. Электроэнергетика Узбекистана за годы независимости и перспективы ее развития. –Т.: Ишонч, 2016, -С. 137-174.
6. Халилов А. Анализ узловых напряжений неполностью наблюдаемой части электроэнергетической системы при наличии возобновляемых источников энергии. //Ўзбекгидроэнергетика 2020й. №4 ISSN-C-15351.-С. 55-56.
7. Brian Wang, “European EcoSwing Builds Full Scale Superconductor Wind Turbine,” Nextbigfuture, November 21, 2018. <https://www.nextbigfuture.com/2018/11/european-ecoswing-builds-first-full-scale-superconductor-wind-turbine.html>.
8. Авторы: С. А. Ерошенко, А. О. Егоров, В. О. Самойленко, А. И. Хальясмаа Расчеты допустимых перетоков мощности в энергосистемах. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 86 с.
9. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
10. Аллаев К.Р. Современные сценарии развития энергетики мира. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения №3-4, Ташкент, 2020. - С.14-24.
11. Аллаев К.Р. Направления трансформации современных энергосистем. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения 2020. №3-4, Ташкент, - С.48-57.
12. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Ташкент: Молия, 1999г.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

13. Халилов А. Проблемы анализа режимных параметров энергосистемы при частичном отсутствии телеизмерений с учетом внедрения альтернативной энергии // Замонавий микроэлектрониканинг ривожланишида фан, таълим ва иновация интеграцияси. Республика илмий-услугий анжумани. Андижон 2020, - С. 226-324.

14. Халилов А.С. Электроэнергетика тизимининг электр режимини ҳолат параметрларини баҳолашда ўртача қийматни қўлланилиши. /“Ўзбекистонинг умидли ёшлари” мавзусидаги 3-сон Республика илмий талабалар, магистрал ёш тадқиқотчилар ва мустақил изланувчилар конференцияси, 2021й. – Б. 237-238.

15. Халилов А.С., Мусинова Г. Оценка влияния возобновляемых источников энергии на статическую устойчивость в контролируемых сечениях энергосистемы. /Международная научно-техническая конференция «Тенденции развития альтернативной и возобновляемой энергетики: проблемы и решения». Ташкент-2021. 17-18 май. – С. 85-89.

16. Гамм А. З. Наблюдаемость электроэнергетических систем / А. З. Гамм, И. И. Голуб, Д. Я. Кесельман // Электричество. - 1975. - №9. - С. 1-7.

17. Гамм А.З. Обнаружение недостаточно достоверных данных при оценивании состояния ЭЭС с помощью топологического анализа / А.З. Гамм // Электричество. - 1978. - №4. - С. 1-8.

18. Гамм А.З. Методы решения задачи оценивания состояния электроэнергетической системы. / А. З. Гамм, Ю. А. Гришин, И. Н. Колосок. Вопросы оценивания и идентификации в энергетических системах. - Иркутск:1974. - С.149-163.

19. Гамм А.З. Оценивание состояния в электроэнергетике А. З. Гамм, Л. Н. Герасимов, И. И. Голуб и др. - М.: Наука, 1983. - 302 с.

20. Назаров Н.Г. Метрология. Основные понятия и математические модели / Н.Г. Назаров М.: Высшая школа, 2002. -348 с.

21. Ерошенко С.А., Егоров А. О., Самойленко В. О., Хальясмаа А. И. Расчеты допустимых перетоков мощности в энергосистемах. -Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 86 с.

Представлено АО «НЭС Узбекистана»

ЯРЧАЙШАЯ ЛИЧНОСТЬ В ИСТОРИИ НАУКИ УЗБЕКИСТАНА

Речь идёт о Василе Кабуловиче Кабулове (1921-2010) – учёном с мировым именем, которому 5 сентября исполнилось бы 100 лет. Я имел счастливую возможность достаточно близко его знать, как руководителя Ташкентского Института кибернетики с Вычислительным Центром.

Выдающийся учёный, блестящий организатор, постоянно ищущий новатор, заботливый педагог, носитель высоких нравственных устоев и принципов, подлинный патриот и интернационалист – вот таким его знали и запомнили на всю жизнь многие тысячи его коллег, сподвижников и учеников не только в Узбекистане, но и в других странах.

О его авторитете достаточно убедительно свидетельствует следующий факт: в начале 80-х годов Президент Академии наук Узбекистана Пулат Киргизбаевич Хабибуллаев предложил поехать с ним в аэропорт, где по пути в Индию должен был остановиться Президент Академии наук Союза Анатолий Петрович Александров - знаменитый учёный, трижды Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской и 4-х Государственных премий, почётный член многих зарубежных Академий, в том числе и Индийской, познакомившись со мной, первым делом спросил: а как здоровье Василя Кабуловича, как дела его Института? Затем он счёл необходимым самым лестным образом отозваться о В.Кабулове, сказал, что это большое счастье для Узбекистана иметь такого уникального учёного и создателя.

Следует вкратце ознакомить читателей с биографией Юбилера. В.Кабулов родился 5 сентября 1921 года в Ташкенте в семье кустика - жестянщика. По окончании средней школы поступил на механико-математический факультет Среднеазиатского государственного университета (ныне Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека). В связи с началом Великой Отечественной войны учеба была прервана — Василь Кабулович прошел всю войну, с 1941 по 1945 год, был награжден множеством орденов и медалей.

С 1945 года – он на хозяйственной, общественной и политической работе. По завершению учёбы, уже в институте инженеров железнодорожного транспорта, он принимает участие в строительстве железных дорог, затем окончил аспирантуру при Академии наук и успешно защитил диссертацию кандидата физико-математических наук. Работал в Институте сооружений, в Институте математики имени В.И. Романовского, при котором был организован Вычислительный центр, а лучшей кандидатуры на должность руководителя этого Центра, кроме В.К. Кабулова, не было.



ПОМНИМ

С этого времени началась эпоха информатизации в Узбекистане. Пуск в 1959 году первой в республике ЭВМ «Урал-1» явился результатом вдохновенной работы В. Кабулова, который с первых дней занялся подбором и подготовкой специалистов по вычислительной математике и технике, технической кибернетике и механике. Специалисты готовились в ведущих вузах и научных центрах Союза, а их научная судьба была под неуклонным надзором Василя Кабуловича. В 1966 году был создан Институт кибернетики с Вычислительным центром Академии наук Узбекистана, преобразованный в 1978 году в Узбекское научно-производственное объединение «Кибернетика» — единственное НПО в системах Академий наук бывшего Союза. Это был пример современной формы интеграции науки с производством, где в деловом и тесном взаимодействии функционируют научные, проектно-конструкторские и производственные подразделения.

В. Кабулов является автором серии научно-популярных книг: «Чудо мысли», «Кибернетика и биология», «Кибернетика и биосфера», «Человек и ЭВМ», «Кибернетика клетки», «Бионика — наука будущего», обращенных, прежде всего, к молодежи. Примечательно, что в них ученый впервые обратил внимание на преимущество современной передовой науки с научным наследием наших великих предков, в частности, с математическими теориями Мухаммада ал-Хоразмий.

Хотя организаторская и хозяйственная деятельность отнимали много времени, Кабулов настойчиво занимался пропагандой фундаментальных знаний — им опубликовано более 20 монографий и около 400 научных статей, посвященных проблемам алгоритмизации задач механики сплошных сред, а также сейсмостойкости сооружений, вычислительной математики, разработке автоматизированных систем управления народным хозяйством; математической, технической, экономической, медицинской и биологической кибернетике. Эти работы активно внедрялись на предприятиях республики — больше половины научных исследований проводилось на хозрасчетной основе.

По инициативе В. Кабулова были организованы факультеты прикладной математики и механики в ТашГУ и СамГУ, факультет автоматизированных систем управления в ТашПИ, факультет экономической кибернетики в Институте народного хозяйства.

Заслуги В. Кабулова в развитии науки, его многогранная общественная деятельность были высоко оценены — ему присуждена Государственная премия Узбекистана имени Беруни, почетное звание «Заслуженный деятель науки Узбекистана», он награжден медалью имени С.И. Вавилова.

Можно смело утверждать, что кристально честный человек, самоотверженный труженик Васил Кабулов являлся настоящим образцом лучших качеств руководителя, ученого, наставника, семьянина и гражданина. Он

был предельно прост и естественен в общении и с руководителями, и с простыми техническими работниками.

По убеждению В. Кабулова, истинный ученый должен сочетать в себе интеллектуальные способности с высокими моральными качествами. В своём времени он, не задумываясь, решил поддержать изобретателя в системе освоения Космоса Ата Мехрибановича Бахрамова, который на склоне лет решил вернуться в Узбекистан с целью создать принципиально новую хлопкоуборочную машину для облегчения труда сборщиков хлопка. В.Кабулов ввёл А.Бахрамова в штат Института и способствовал появлению первого образца новой хлопкоуборочной машины. Я был на её испытаниях и убедился, что хлопок можно убирать без дефолиации и ручного сбора. К сожалению, вскоре Ата Мехрибанович скончался, не успев довести свой агрегат до внедрения.

Но вернёмся к судьбе В. Кабуловича и в целом НПО «Кибернетика». Уже после обретения Независимости, в науке республики стали проводиться волонтаристские реформы, которые привели в конечном итоге к развалу многих научных учреждений, к угасанию творческой мысли и безработице среди учёных и аспирантов. Каким же надо было быть недалёковидным, отрицательно настроенным ко всему прошлому, советскому, если тогдашний глава республики дал указание ликвидировать Институт кибернетики, вызвав всеобщее недоумение.

Ситуация в этом направлении при новом Президенте Шавкате Миромоновиче Мирзиёеве уже кардинально меняется. Принимая во внимание его убеждённости в том, что «Широкое внедрение цифровых технологий способствует эффективности государственного и общественного управления, развитию социальной сферы, одним словом, кардинальному улучшению жизни людей», думается, что необходимо воссоздать Институт Кибернетики с Вычислительным Центром, дав ему, по справедливости, имя его создателя В.К.Кабулова.

Также было бы уместно создать в Ташкенте Аллею Учёных или Парк Науки. совместно с Музеем Науки в которых будет отмечено роль выдающихся учёных в развитие науки, в том числе роль В.К.Кабулова. Таковы ожидания научного сообщества нашей страны.

В нашей памяти, в сердцах учеников, соратников и друзей имя Василя Кабуловича, несомненно, останется навсегда.

Ало ХОДЖАЕВ, кандидат философских наук.

ПОМНИМ

МЕЧТАЯ ПОКОРИТЬ СОЛНЦЕ. К 100 -ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ГИЯСА ЯКУБОВИЧА УМАРОВА (1921-1988)

Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев подписал Постановление, в котором «Одним из актуальных направлений государственной политики на современном этапе должно стать повышение энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, широкое внедрение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии».

Также наш Президент поставил задачу довести долю возобновляемых источников энергии в общем объеме генерации электроэнергии до 25% к 2030 году. Такие грандиозные задачи можно решать только благодаря научному потенциалу, накопленному узбекскими учеными в прошлом и развивающемуся в настоящее время.

Наша страна обладает богатейшим опытом научных исследований по использованию солнечной энергии. В Узбекистане трудилась большая плеяда ученых, занимавшихся вопросами гелиотехники, имена которых известны среди специалистов во всем мире. Среди них академик Гияс Якубович Умаров (1921-1988), считающийся основоположником гелиотехнической науки в Узбекистане.

О его заслугах очень красноречиво сказал профессор Daniel Alpert (США), председательствовавший на Международном симпозиуме по энергетике, который проходил в Давосе (Швейцария) в августе 1990: «В Ташкенте работал выдающийся ученый профессор Гияс Умаров. Он провёл огромные и бесценные исследования в понимании вопросов использования солнечной энергии. Гияс Умаров в середине 60 годов организовал международный журнал «Гелиотехника», в котором публиковал свои научные труды и идеи. Журнал был единственным в мире, где мы могли найти научную информацию об использовании солнечной энергии. Его исследования на 50-60 лет опережали своё время, и теперь мы видим, как его смелые идеи воплощаются в жизнь. Поэтому все мы считаемся его учениками».

Профессор Гияс Умаров в 1972 году инициировал строительство Большой солнечной печи (БСП) в Узбекистане. Неоднократно по этому вопросу в Ташкент приезжал Заместитель Председателя Совета Министров Союз академик В. А. Кириллин.

В 1975 году Г. Я. Умаров (содокладчик - Р.А. Захидов) выступил с докладом по данному вопросу в Москве, на заседании ВПК под председательством Министра обороны Союза Д.Ф.Устинова.

Далее из рассказа академика Р.А. Захидова: «Выступление на ВПК было 25 декабря - в день рождения Гияса Якубовича. После одобрения доклада нам сказали - срочно следует связаться с руководством республики. Мы с Гияс Якубовичем поехали в постпредство Узбекистана, и Полпред позвонил Ш. Р. Рашидову, который связался с Председателем Госплана Союз Н.К. Байбаковым, чтобы включили и в план следующего год строительство БСП. По рекомендации



ВПК вышло Постановление ЦК КПСС и СМ Союза о строительстве БСП в Ташкентской области».

Я, как водитель, с моим отцом Г.Я. Умаровым, профессорами Р. А. Захидовым, А. Алимовым и другими учёными неоднократно выезжали в район для подбора места строительства БСП), которая была построена в 1987 году под руководством академика С.А.Азимова (1914-1988).

Ещё осенью 1945 года мой отец едет в Ленинград, чтобы поступить в аспирантуру, где он хотел заниматься ядерной энергетикой. В этот период ядерная тематика была строго засекречена. Отцу отказали из-за отсутствия допуска и рекомендовали вернуться в Ташкент для его получения. Выходя на другой день из здания Ленинградского университета, где он был на научно-популярной лекции по ядерной физике, отец увидел спускающегося по лестнице Президента АН Союза академика С. И. Вавилова (С.И. Вавилов только что был избран Президентом Академии Наук, но все еще оставался Председателем Ленинградского отделения, поэтому часть времени проводил в Ленинграде). Вавилов пошёл пешком от университета, отец шел за ним и хотел обратиться, к нему но от волнения позабыл имя отчество Вавилова.

Через некоторое время Вавилов остановился, обернулся и спросил: «Вы хотите мне что-то сказать, молодой человек?».

«Да, товарищ Вавилов!» — был ответ отца. Сергей Иванович вернулся в свой кабинет с отцом, позвонил директору Радиевого института. Родиевый институт был организован в Санкт Петербурге (тогда Петрограде) в 1922 году для изучения ядерной физики. И предложил ему испытать соискателя. Директор, к сожалению его фамилию не помню, дал задание разработать прибор для регистрации элементарных частиц. Через 2 недели директор пришёл в лабораторию проверить выполнение задания. Как рассказывал папа, при испытании прибора он не заработал, хотя накануне действовал.

«Я весь вспотел, продолжил рассказ Гияс Якубович, в это время директор похлопал меня по плечу и сказал, что это называется «визит – эффект», Вы приняты в аспирантуру».

Г.Я. Умаров был первым кандидатом наук по ядерной физике в Узбекистане. Диссертацию он защитил в МГУ в 1949 году. Накануне защиты проходил предзащиту в лаборатории академика Л. Д. Ландау. Научный спор между соискателем и знаменитым академиком разгорелся по поводу массы нейтрино. Гияс Умаров предположил, что масса нейтрино не может быть больше 1/50-1/100 массы электрона (Г.Я.Умаров и др.- ЖЭТФ,1949, т.19, с.1136), в то время как до этого считалось, что масса нейтрино составляет 0,3-0,8 массы электрона. До обеда спор продолжался в лаборатории, а на обед академик увёл диссертанта к себе домой, где они до вечера продолжили научный спор. Вечером Л.Д. Ландау подписал положительный отзыв, но при этом сказал: «Диссертант остался при своём мнении, а оппонент - при своём».

На следующий день Специализированный совет МГУ из 43 членов со 100% результатом проголосовали за присуждение Гиясу Умарову научной степени - кандидат физико - математических наук.

Ссылка на результаты исследований Умарова Г. Я. о массе нейтрино была сделана в фундаментальной статье трижды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии и четырёх Государственных премий академика Я. Б.

ПОМНИМ

Зельдович, и проф. М. Ю. Хлопова «Масса нейтрино в физике элементарных частиц и космологии ранней Вселенной» (УФН, сентябрь, 1981).

Рассматривая развитие физической науки на примере эволюции знаний о массе нейтрино, авторы ссылаются на результаты исследований 12 учёных, 11 из которых – Лауреаты Нобелевских премий и один Гияс Якубович Умаров - молодой кандидат наук.

В области ядерной энергии Г.Я. Умаров оставил глубокий след. Мы помним, что Фредрик Райнес, (1918-1998) - американский физик, экспериментально открывший нейтрино в 1956, за что был удостоен Нобелевской премии в 1995, а Гияс Умаров был физиком – экспериментатором, и свою работу по массе нейтрино опубликовал в 1949 и , наверняка, описал эксперимент с нейтрино. Было бы хорошо, чтобы наши физики - ядерщики изучили работы Райнеса и Г. Умарова по этому вопросу и написали обобщённую статью об их работе.

Г.Я.Умаров в ОИЯИ (Дубна) организовал группу из молодых учёных Узбекистана (А.Абдуразаков, Т. Исламов, Ф. Мухтасимов и др.), разработал и установил в 1957 году Бета - спектрограф на постоянном магните, на котором его учениками получено множество уникальных результатов. Это группа стала пионером многих экспериментальных методов исследований в области спектрального анализа нестабильных ядер, породив аналогичные исследовательские центры в других странах.

Под руководством академика И. В. Курчатова Г.Я.Умаров организовал в 1958 г лабораторию по плазме Физико - техническом институте (Ташкент) и занимался вопросами управляемой термоядерной реакции.

Гияс Якубович был не только высокопродуктивным и инновационным ученым и настоящим исследователем, но и человеком просвещения с широкими интересами и начинаниями в истории и культуре своего народа, истории науки. Он был очарован историей математики и астрономии, поскольку они были тесно связаны с историей его народа.

Центральная Азия подарила человечеству многих всемирно известных ученых: математиков и астрономов Ал-Беруни, Ал-Хоразми, Улугбека, эрудита Абу Али ибн Сино и других. Его интерес к работе Беруни был в первую очередь вызван маловероятным объектом: домашнее сюзане, старинный текстиль с ручной вышивкой, который передавался в узбекских семьях из поколения в поколение. Сюзане вышиваются молодыми невестами и показывают диски солнца, планет и луны; они называются «фалак», что означает «небо». В частности, у сюзане из семейной реликвии Умарова был орнамент с большим солнцем в центре и вокруг него — несколько дисков меньшего размера со спиральными узорами, расположенными на «орбитах».

Легенда гласит, что первое сюзане «солнце и луна» было сделано невестой одного из учеников Беруни; невеста увидела схему солнечной системы в кабинете своего возлюбленного и использовала рисунок в своей вышивке с солнцем в центре и вращением планет, которое было представлено спиралями.

Это заставило Гияса Якубовича перечитать произведения Беруни и Коперника с точки зрения современной науки. В 1973 году это стремление завершилось публикацией книги под названием «Беруни, Коперник и современные науки» (эта книга и книга А. Ершова, А.А.Ершов. Солнцепоклонник Гияс Умаров. –М. 1996., которая переиздается на узбекском языке, была издана в США в

2001 под общим названием «At the crossroads of millennia» и посвящена 1000-летию со дня рождения Беруни и 500-летию со дня рождения Николая Коперника, обе даты широко отмечались во всем мире в рамках Инициативы ЮНЕСКО.

В заслугу Гияса Якубовича входит организация первого гелиополигона в ФТИ АН Узбекистана начале 60 годов XX века. Со всего мира в Союза приезжали делегации для ознакомления с гелиотехническими устройствами. Десятки аспирантов Узбекистана, стран БМТ и из-за дальнего рубежья на этом полигоне проводили свои исследования по использованию солнечной энергии. В дальнейшем его ученики организовали аналогичные полигоны в Бухаре (проф. Б. Очилов), в Карши (проф. А. Вардиашвили).

В начала 70 годов по инициативе Г.Я. Умарова был построен первый завод в мире по выпуску гелиоустановок в г. Караул - Базаре Бухарской области.

Умаров в последние годы своей жизни принимал активное участие в вопросе о состоянии Аральского моря, которое сокращается с 1960 года. Умаров был членом Комитета по восстановлению Аральского моря, внес стратегический вклад в решение этой проблемы.

До своего последнего дня он оставался интеллектуально занятым и писал статьи о способах поддержания стабильного равновесия плазмы в термоядерной установке Токамак. Он был человеком, ученым, который мечтал использовать силу плазмы и солнца для улучшения качества жизни человечества. Эта мечта об использовании силы солнца была сущностью Гияса Умарова и его наследием, которое продолжается его последователями.

20-21 мая 2021 г. В поселке «Солнце» Паркентского района Ташкентской области состоялось Международная научная конференция «Новые материалы и гелиотехнологии». Третья тематическая секция мероприятия была посвящена Юбилею академика Гияса Умарова и его значительному вкладу в развитие отечественной науки.

Исключительный ученый, инновационный экспериментатор и уважаемый человек всегда будет жить в сердцах и умах потомков, друзей, коллег и учеников.

*Академик АН Узбекистана профессор Р.А. Захидов,
Почётный академик российской Академии космонавтики
им К.Э. Циолковского, профессор Гайрат Умаров*

ИСПОЛЬЗУЙТЕ БЕЗУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

**ГОДОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

