



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС  
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY  
AND SOURCES SAVING**

**№ 2**

**2022**

*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

2022 й.

№2

ТОШКЕНТ - 2022

### 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  
т.ф.д., проф. А.Д. Гаслимов  
т.ф.д., проф. М.К. Бобожанов  
т.ф.д., проф. М.И. Ибадуллаев  
т.ф.д., проф. А.Н. Назарычев (Россия)  
т.ф.д., проф. М.Ш. Мисриханов (Россия)  
т.ф.д., проф. М. Колцун (Словакия)  
проф. Christian Kreischer (Германия)

#### *ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ*

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

#### *ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ*

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

#### *МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ*

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

#### *НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ*

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

#### *ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ*

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

**Техник муҳаррир:** доц. Ниёзов Н.Н.

*Тахририят манзили:* 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2, ТошДТУ, ЭФ биноси,  
220-хона. Тел. +99871-246-08-04; E-mail: [tstu\\_energy@list.ru](mailto: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

<b>ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ</b>	
<b>К.Р. Аллаев.</b> Энергетикада энергия самарадорлик . . . . .	11
<b>Т. Х. Насиров, Г.Г. Трофимов, Х.А. Шамсиев.</b> Марказий Осиё бирлашган энерготизимининг ишлаш жараёнлари ва тараққиётининг илмий-техник муаммолари . . .	28
<b>Х.А. Саттаров, А.О. Суяров, А.И. Тураев.</b> Носимметрик юкламалари тақсимлаш электр тармоқларида филтрларни қўллаш орқали юқори гармоникаларни бартараф этиш . . . . .	41
<b>Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов.</b> Интеллектуал ахборот электроэнергетика тизимини яратиш ва қўллаш . . . . .	50
<b>Б.М. Пулатов, А.Э.Шаназаров.</b> Электр энергия тизимларининг ҳолатларини гинетик алгоритмлар ёрдамида оптималлаш. . . . .	64
<b>Ш.Б.Умаров.</b> Бир фазали кетма-кет автоном инверторлари асосидаги барқарор ўзгармас қучланиш манбаларидаги ўткинчи жараёнларни тадқиқ этиш услубиёти. . . . .	71
<b>ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ</b>	
<b>З. М. Ахрорхужаева, Э. К. Матжанов.</b> “Тошкент ИЭС”ни қуёш-ёқилги гибрид электр станцияга модернизация қилиш схемасини яратиш . . . . .	78
<b>Н.О. Усмонов, С.Р. Ахматова.</b> Қуёшли қуриштириш совитиш тизимини энергетик таҳлили. . . . .	89
<b>А.А. Садиев, Х.А. Кучинов, Анвар.А. Садиев.</b> Техник иссиқлик таъминлаш тизимининг ишлаб чиқиш кўрсаткичларини ва иссиқликни ўлчаш асбоблари хатолари таъсирининг таҳлили . . . . .	100
<b>ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ</b>	
<b>Ж.Б. Тошов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, А.Л. Ҳақбердиев.</b> Қутблар сони ўзгарувчан икки тезликли электр моторларнинг динамик иш режимларини экспериментал тадқиқ қилиш. . . . .	108
<b>А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Ч. Доннёр, Ж.К. Ибрагимов, Х.И. Муродов.</b> Ташқи таъсирлардан назорат ва бошқарув тизимларининг катта оқимларининг ферромагнит контактсиз конверторлари хатолиги . . . . .	117
<b>О.В. Радионова.</b> Электр тармоқлари ва саноат объектларида ноинтрузив энергетик аудит тўғрисида. . . . .	124
<b>МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ</b>	
<b>А.У. Воҳидов, З.Дж. Арзиев.</b> Очиқ пассив бассейнларнинг иссиқлик самарадорлиги . . . . .	133
<b>Н.А. Абдуллаев, А.Ш. Шаисламов, Р.Р.Жўраев.</b> Ўзгармас токда ишлайдиган қуёш фотомодулидан қувватланувчи компрессорнинг ишчи параметрларини аниқлаш. . . . .	141
<b>Х.Х. Кулматов.</b> RS-485 протоколи ва интернет буюмлари асосида қуёш фотозлектр станцияларининг чиқиш параметрларини булутли серверларга узатиш имкониятларини баҳолаш. . . . .	149
<b>Ю.Б. Собиров, Х.Ш. Ходжаев, С.Ш. Махмудов, Д.С. Гафуров.</b> Нур энергияси концентраторлари яратиш ва қўллаш амалиёти. . . . .	159
<b>НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛГИ РЕСУРСЛАРИ</b>	
<b>С.Ш. Хабибуллаев Н., С. Амирқулов, Ж.М. Тангиров.</b> Нефть ва газ саноатини метрологик таъминотида амалга ошириладиган ислохотлар. . . . .	168
<b>ИЛМИЙ ХАБАРЛАР</b>	
<b>И.У. Рахмонов, Ф.Б. Омонов.</b> Қишлоқ электр тармоқлари энергия самарадорлигини ошириш . . . . .	179
<b>БУЮК ОЛИМ ХОТИРАСИ</b>	
<b>Николай Иванович Воропай (01.11.1943 — 28.02.2022).</b> . . . . .	184

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И  
УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ  
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 РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан  
в 2002 году

Издаётся 4 раза  
в год

2022 г.

№ 2

ТАШКЕНТ - 2022

## 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. д.т.н., проф. Назарычев А.Н. (Россия)  
д.т.н., проф. Таслимов А.Д. д.т.н., проф. Мисриханов М.Ш. (Россия)  
д.т.н., проф. Бобожанов М.К. д.т.н., проф. Колцун М. (Словакия)  
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. Аббосов Ё.С. 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 Михалевич 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. Узиков Г.Н. PhD, проф. Kyubock Lee (Южная Корея)  
д.т.н., проф. Авезова Н.Р. д.т.н., проф. Титова Ж.О. (Россия)  
д.т.н., проф. Мирзабаев А.М. PhD, проф. Rhee Young Woo (Южная Корея)  
д.т.н., доц. 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*

д.т.н., проф. Мухаммадиев М.М. PhD, проф. Lee Young-Seak (Южная Корея)  
д.т.н., проф. Турсунов Б.М. 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)

**Технический редактор:** доц. Ниёзов Н.Н.

**Адрес редакции:** 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, ТашГТУ, корпус ЭФ,  
ком. № 220. Тел. +99871-246-08-04; E-mail: [tstu\\_energy@list.ru](mailto: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

<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>К.Р. Аллаев.</b> Энергоэффективность энергетики. . . . .	11
<b>Т. Х. Насиров, Г.Г. Трофимов, Х.А. Шамсиев.</b> Научно-технические проблемы функционирования и развития объединённой энергосистемы Центральной Азии. . . . .	28
<b>Х.А. Саттаров, А.О. Суяров, А.И. Тураев.</b> Устранение высоких гармоник распределительных электрических сетей с несимметричными нагрузками за счёт применения фильтров . . . . .	41
<b>Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов.</b> Создание и применение интеллектуальных информационных электроэнергетических систем . . . . .	50
<b>Б.М. Пулатов, А.Э.Шаназаров.</b> Использование генетических алгоритмов для оптимизации режимов электроэнергетических систем. . . . .	64
<b>Ш.Б. Умаров.</b> Методика исследования переходных процессов стабилизированных источников питания постоянного напряжения на основе однофазных последовательных автономных инверторов тока . . . . .	71
<b>ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>З. М. Ахрорхужаева, Э. К. Матжанов.</b> Разработка схемы модернизации “Ташкентской ТЭС” в солнечно-топливную гибридную станцию . . . . .	78
<b>Н.О. Усмонов, С.Р. Ахматова.</b> Энергетический анализ солнечной осушительной системы охлаждения . . . . .	89
<b>А. А. Садиев, Х.А. Кучинов, Анвар.А. Садиев.</b> Анализ эксплуатационных показателей работы технической системы теплоснабжения и влияния погрешности приборов измерения теплоты. . . . .	100
<b>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ</b>	
<b>Ж.Б. Тошов, Д.А. Рисмухамедов, Ф.Н. Тўйчиев, А.Л. Ҳақбердиев.</b> Эспериментальное исследование динамических режимов двухскоростных полюсопереключаемых электрических двигателей . . . . .	108
<b>А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Ч. Дониёров, Ж.К. Ибрагимов, Х.И. Муродов.</b> Погрешность ферромагнитных бесконтактных преобразователей больших токов систем контроля и управления от внешних воздействий . . . . .	117
<b>О.В. Радионова.</b> О неинтрузивном энергетическом АУДИТЕ электрических сетей и установок промышленных объектов. . . . .	124
<b>АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ</b>	
<b>А.У. Вохидов, З.Дж. Арзиев.</b> Тепловая эффективность открытых пассивных бассейнов. . . . .	133
<b>Н.А. Абдуллаев, А.Ш. Шаисламов, Р.Р.Жўраев.</b> Определение рабочих параметров компрессора постоянного тока питающейся от солнечных фотомодулей. . . . .	141
<b>Х.Х. Кулматов.</b> Оценка возможности передачи выходных параметров солнечных фотоэлектрических станций на основе протокола RS-485 и интернет вещей на облачный сервер . . . . .	149
<b>Ю.Б. Собиров, Х.Ш. Ходжаев, С.Ш. Махмудов, Д.С. Гафуров.</b> Концентраторы лучистой энергии: практика создания и применения. . . . .	159
<b>НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ</b>	
<b>С.Ш. Хабибуллаев Н., С. Амиркулов, Ж.М. Тангиров.</b> Реформы, проведенные в области метрологического обеспечения нефтегазовой промышленности. . . . .	168
<b>НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ</b>	
<b>И.У. Рахмонов, Ф.Б. Омонов.</b> Повышение энергоэффективности сельских электрических сетей. . . . .	179
<b>ПАМЯТИ ВЫДАЮЩИХСЯ УЧЁНЫХ</b>	
<b>Николай Иванович Воропай (01.11.1943 — 28.02.2022).</b> . . . . .	184

**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

2022 y. \_\_\_\_\_ №2

**TASHKENT - 2022**

## 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. DSc, prof. Nazarychev A.N. (Russia)  
DSc, prof. Taslimov A.D. DSc, prof. Misrikhanov M.Sh. (Russia)  
DSc, prof. Bobozhanov M.K. DSc, prof. M. Kolcun (Slovakia)  
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. Mikhalevich (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)  
PhD., dots. Khalismatov I.Kh. PhD, Assoc. Kuliev A.S. (Russia)

### *ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS*

DSc, prof. Mukhammadiev M.M. PhD, prof. Lee Young-Seak (South Korea)  
DSc, prof. Tursunov B.M. 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)

**Technical Editor:** docent. Niyozov N.N.

*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](mailto: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

<b>ELECTRIC POWER</b>	
<b>K.R. Allayev.</b> Energy efficiency of energy . . . . .	11
<b>T. Nosirov, G. Trofimov, Kh. Shamsiev.</b> Scientific and technical problems of functioning and development of the united power system of Central Asia. . . . .	28
<b>Kh. A. Sattarov, A.O. Suyarov, A.I. Turaev.</b> Elimination of higher harmonics in unsymmetrical load distribution electrical networks by using filters. . . . .	41
<b>G.K. Ishankhodjaev, M.B. Sultanov.</b> Creation and application of intelligent information electric power systems . . . . .	50
<b>B.M. Pulatov, A.E. Shonazarov.</b> Optimization of modes of electric power systems by genetic algorithms. . . . .	64
<b>Sh.B. Umarov.</b> Transient studies of stabilised dc power supplies dc voltage sources based on single-phase series autonomous current inverters. . . . .	71
<b>HEAT AND NUCLEAR ENERGY</b>	
<b>Z. M. Akhrorkhujeva, E. K. Matjanov.</b> Development of scheme of modernization for Tashkent power plant into a solar-fuel hybrid power plant. . . . .	78
<b>N.O. Usmonov, S.R. Axmatova.</b> Energy analysis of a solar desiccant cooling system . . . . .	89
<b>A.A. Sadiev, Kh.A. Kuchinov, Anvar.A. Sadiev.</b> Analysis of the performance indicators of the technical heat supply system and the effect of the errors of heat measurement instruments. . . . .	100
<b>ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING</b>	
<b>Zh.B. Toshov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tuychiev, A.L. Akberdiev.</b> Experimental study of dynamic modes of two-speed field-switched electric motors. . . . .	108
<b>A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Y.A. Meliboev, O.Ch. Doniyorov, J.K. Ibragimov, X.I. Murodov.</b> Error of ferromagnetic contactless high current converters of monitoring and control systems against external influences. . . . .	117
<b>O.V. Radionova.</b> About non-intrusive energy audit of electrical networks and installations of industrial plants. . . . .	124
<b>ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES</b>	
<b>A.U. Vohidov, Z.J. Arziev.</b> Thermal efficiency of outdoor passive pools . . . . .	133
<b>N.A. Abdullaev, A.Sh. Shaislamov, R.R.Joraev.</b> Determining working parameters of DC compressor powered by solar photomodule. . . . .	141
<b>Kulmatov Kh.Kh.</b> Possibility assessment of the transmitting output parameters of solar photovoltaic plants based on the RS-485 protocol and the internet things to a cloud server. . . . .	149
<b>Y.B. Sabirov, H.S. Khodjaev, S.S. Makhmudov, D.S. Gafurov.</b> Concentrators of radiant energy: the practice of creation and application. . . . .	159
<b>OIL AND GAS. FUEL RESOURCES</b>	
<b>S. Sh. Habibullayev, N. S. Amirqulov, J. M. Tangirov.</b> Reforms carried out in the metrological supply of oil and gas industry . . . . .	168
<b>SCIENTIFIC REPORTS</b>	
<b>I.U. Rakhmonov, F.B. Omonov.</b> Improving the energy efficiency of rural electrical networks. . . . .	179
<b>IN MEMORY OF OUTSTANDING SCIENTISTS</b>	
<b>Nikolai Ivanovich Voropai (01.11.1943 — 28.02.2022).</b> . . . . .	184

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ

К.Р. Аллаев

Мақолада Халқаро Энергетика Агентлиги (ХЭА), бошқа нуфузли ташилотлар ва мутахассисларнинг Жаҳон ва Ўзбекистон энергетикаси самарадорлигини ошириши бўйича малумотлари келтирилган. Ривожланган ва ривожланаётган мамлакатларни тегишли миқдорда сифатли энергия билан таъминлаш, юқори даражада энергия шилатиши самарадорлигини ошириши, муҳим вазифалардан эканлиги тақидланган. Энергия самарадорлигини оширадиган ва ташиқи муҳитга кам таъсир қилувчи, ХЭА томонидан таклиф қилинган бешта таклиф келтирилган. Уларни дунё миқёсида амалда қўллаш 2030 йилгача энергия самарадорлигини оширишни йилига 2,7% кўтариши мумкинлиги кўрсатилган. Жаҳон бўйича энергия самарадорлигини ўсиши саноат ва транспорт йўналишларида кузатилмоқда ва бу кўрсаткич йилига ўртача 2% ташиқил қилади. Қишлоқ хўжалик, хизмат кўрсатиши ва қурулиши йўналишларида эса 1,5%дан юқори. АҚШ, Канада, Япония, Хитой, Индия ва Европа мамлакатларида амалга оширалаётган режалар бу кўрсаткични янада юқори кўтаради ва айниқса транспорт соҳасига катта таъсир кўрсатади. Энергия самарадорлигини оширишида рақамли технологияларни ишига тушуриши ва энергетика аудитини ривожлантириши жаҳон энергетикаси учун катта аҳамиятга эканлиги қайд қилинган. Ўзбекистоннинг ички ялпи маҳсулотининг энергия самарадорлиги 2001 йилдан 2019 йилгача 0,738 к.н.э./доллдан 0,152 к.н.э./доллгача, яъни 4 марта яхшиланган ва бу жараён давом қилаяпти.

В статье рассмотрены данные энергоэффективности энергетики мира и Узбекистана, основанные на публикациях Мирового Энергетического Агентства (МЭА), других авторитетных организаций и авторов. Показано, что проблема стабильного обеспечения экономики необходимым количеством энергоресурсов с минимальными рисками и высокой энергоэффективностью является важнейшей для всех стран мира – как развитых, так и развивающихся. Приведены предлагаемые МЭА пять ключевых мер, повышающих энергоэффективность и снижающих давление на окружающую среду. Их реализация обеспечит ежегодные улучшения энергоёмкости в мире в среднем более 2,7% до 2030 года. Наибольший прогресс в снижении энергоёмкости в мире был достигнут в промышленности и пассажирском транспорте, где среднегодовой темп улучшения превысил 2%. Темпы повышения эффективности в сфере услуг, сельского хозяйства и жилищного сектора превысили 1,5%. Ожидается, что при-

нимаемые меры в таких странах, как США, Канада, Япония, Китай и Индия, а также в Европе приведут к дальнейшему снижению энергоёмкости грузовых перевозок и в целом средств транспорта. Одним из факторов, который будет оказывать все большее влияние на эффективность использования энергии во всех секторах, является рост и применение цифровых технологий и высококачественный аудит. Показано, что энергоёмкость ВВП Узбекистана с 2001 по 2019 годы снизилась с 0,738 к.н.э./долл до 0,152 к.н.э./долл, т.е. более чем 4 раза и имеет динамичный потенциал дальнейшего снижения.

*The article considers the energy efficiency data of the energy sector of the world and Uzbekistan, based on the publications of the World Energy Agency (IEA), other authoritative organizations and authors. It is shown that the problem of stable supply of the economy with the necessary amount of energy resources with minimal risks and high energy efficiency is the most important for all countries of the world, both developed and developing. Five key measures proposed by the IEA to increase energy efficiency and reduce pressure on the environment are presented. Their implementation will ensure annual improvements in energy intensity in the world by an average of more than 2.7% until 2030. The greatest progress in reducing energy intensity in the world has been made in industry and passenger transport, where the average annual improvement rate exceeded 2%. Efficiency gains in services, agriculture and housing have exceeded 1.5%. Measures taken in countries such as the United States, Canada, Japan, China and India, as well as in Europe, are expected to further reduce the energy intensity of freight transport and transport vehicles in general. One factor that will have an increasing impact on energy efficiency across all sectors is the growth and adoption of digital technologies and high-quality auditing. It is shown that the energy intensity of Uzbekistan's GDP from 2001 to 2019 decreased from 0.738 k.o.e./\$ to 0.152 k.o.e./\$, i.e. more than 4 times and has a dynamic potential for further decline.*

Проблема стабильного обеспечения экономики необходимым количеством энергоресурсов с минимальными рисками и высокой энергоэффективностью является важнейшей для всех стран мира – как развитых, так и развивающихся [1,33].

Энергоэффективность – энергетическая эффективность означает ограничение или сокращение потребления энергии посредством перехода на использование более эффективных устройств. Что-либо является более энергоэффективным, если оно обеспечивает больший объем услуг при одинаковых затратах энергии или тот же объем услуг при меньших затратах энергии [2]. Эта отрасль знаний находится на стыке инженерии, экономики, юриспруденции и социологии [3,32].

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

**Управление энергоэффективностью** – сочетание законодательной базы и механизмов финансирования, институциональной организации и координирования, которые все вместе направлены на поддержку реализации стратегий, политики и программ энергоэффективности [5].

Энергоемкость измеряет количество энергии, необходимое для производства одной единицы роста валового внутреннего продукта (ВВП). Обычно его измеряют в килограмм нефтяного эквивалента, киловатт-часах энергии, необходимой для производства одного доллара роста (к.н.э./долл, кВтч/долл и др.). По сути, это показатель энергоэффективности экономики [6].

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

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

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

Как отмечается в [10], повышение энергоемкости в мире не соответствует цели, предусмотренной в пункте 7.3 Целей Устойчивого Развития ООН (ЦУР). Среднегодовой темп улучшения мировой энергоемкости первичной энергии в период с 2010 по 2016 годы составил 2,3%. Это лучше, чем показатель 1,3% в период между 1990 и 2010 годами, но все еще отстает от цели 7.3 ЦУР в 2,6%, что представляет собой удвоение исторической тенденции. Ежегодные улучшения энергоемкости в мире теперь должны будут составлять в среднем более 2,7% до 2030 года для достижения цели 7.3 ЦУР.

На рис. 1. приведена динамика изменения энергоемкости мировой экономики, к.н.э./долл, а на рис. 2. то же, но в кВт·ч/долл (1 кВт·ч=0,086 к.н.э.).

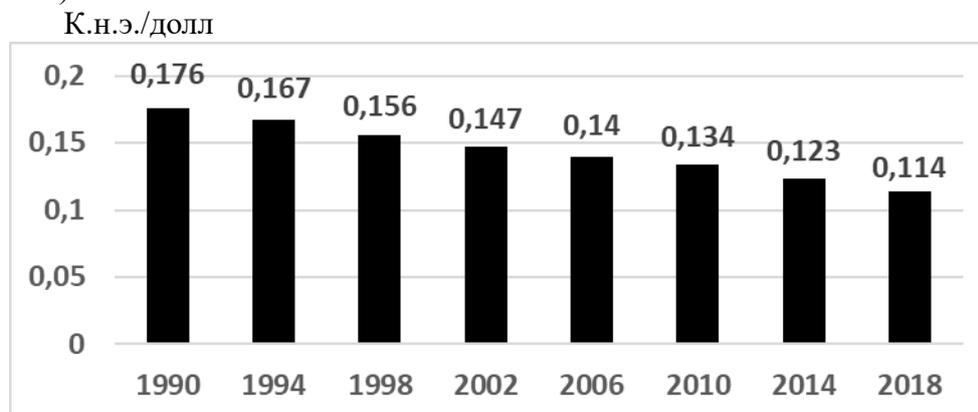


Рис. 1. Энергоемкость мировой экономики [6]

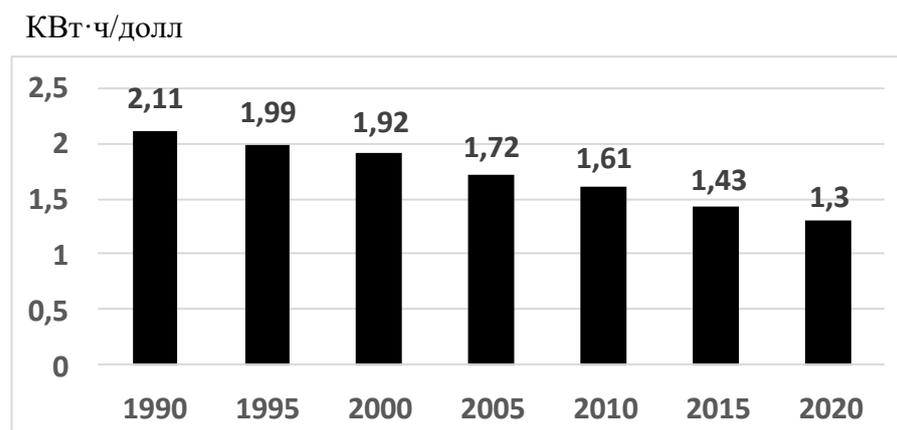


Рис. 2. Энергоемкость мировой энергетики [9]

В 1990 году, в среднем по миру, потребовалось 0,176 к.н.э. энергии для производства одного международного доллара экономической продукции, в 2018 году этот показатель снизился до 0,114 к.н.э. [6]. Это представляет собой 35% сокращение.

Глобальная первичная энергоемкость в 2016 году составила 5,1 МДж/долл (2011) (0,122 к.н.э./долл), что на 2,5% меньше, чем в 2015 году. Дальнейшее снижение темпов улучшения энергоемкости наблюдалось в 2017 и 2018 годах [10].

Улучшение энергоемкости было самым большим в Азии. В период с 2010 по 2016 годы энергоемкость в Восточной и Юго-Восточной Азии уменьшилась в среднем на 3,4% в год. Аналогичным образом, в Централь-

ной и Южной Азии среднегодовое улучшение на 2,5% в период между 2010 и 2016 годами было выше среднемирового уровня.

Комплекс мер по повышению энергоэффективности функционирующий в Евросоюзе считается эталонным и предоставляет широкий набор инструментов для различных категорий граждан и бизнеса [11,13].

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

Тарифы в Евросоюзе и мировой энергетике также должны способствовать участию потребителей в повышении энергетической эффективности систем, в том числе через гибкое регулирование потребления энергии в зависимости от спроса [13].

Наибольший прогресс в снижении энергоемкости в мире был достигнут в промышленности и пассажирском транспорте, где среднегодовой темп улучшения превысил 2%. Темпы повышения эффективности в сфере услуг, сельского хозяйства и жилищного сектора превысили 1,5%. Ожидается, что принимаемые меры в таких странах, как США, Канада, Япония, Китай и Индия, а также в Европе приведут к дальнейшему снижению энергоемкости грузовых перевозок и в целом средств транспорта [10].

На рис. 3. приведена динамика изменения энергоемкости экономики Евросоюза, а на рис. 4 - прогнозные ее значения до 2040 года. Как видно из рис, если снижение энергоемкости за 2007-2017 годы составил примерно 25%, то за 2015-2040 годы ожидается снижение энергоемкости Евросоюза на более чем 40%.

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

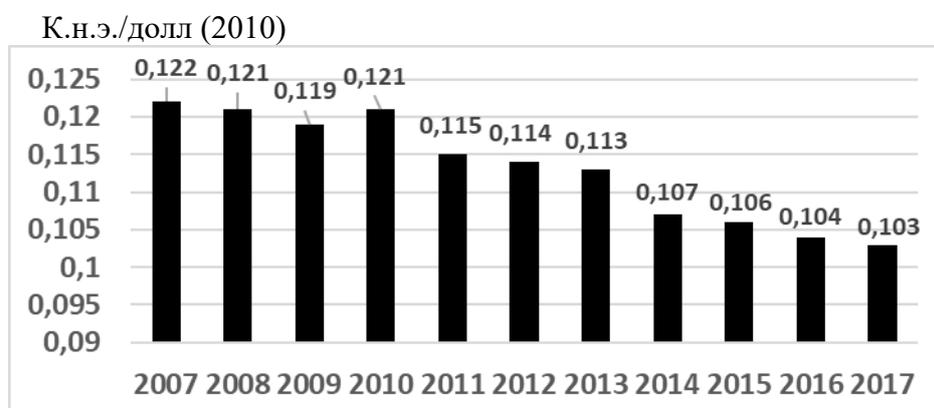


Рис. 3. Динамика изменения энергоёмкости экономики Евросоюза [14]

По данным ООН [14], в мире в промышленности используется 42% потенциала энергоэффективности, в транспортном секторе - 38%, при производстве - около 20%, а в зданиях - всего 18%.

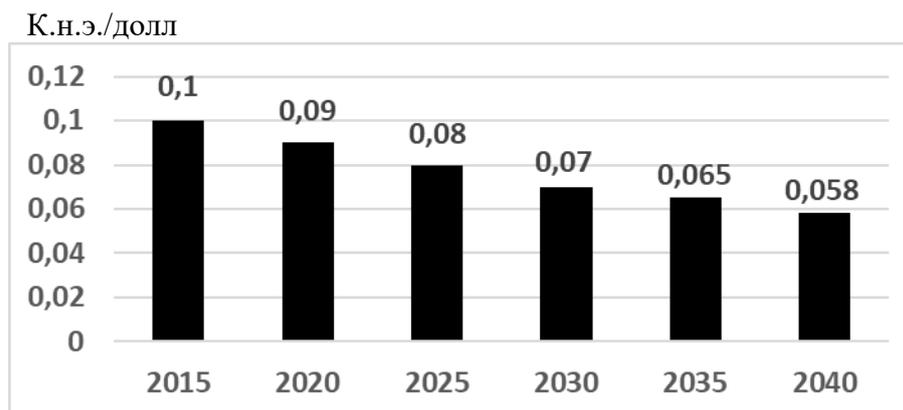


Рис. 4. Прогнозные значения энергоёмкости Европы до 2040 года [7]

**Инвестиции в энергоэффективность.** В последнее время в некоторых странах мира формируются национальные фонды и финансовые институты по поддержке энергоэффективности: по состоянию на 2016 год такие фонды созданы по меньшей мере в 40 - странах.

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

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

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Ожидается, что в 2021 году общие инвестиции в энергоэффективность увеличатся на 10% и составят немногим более 290 миллиардов долларов США за счет расширения существующих государственных программ повышения эффективности, мер по восстановлению и восстановлению экономик в транспортном и строительном секторах.

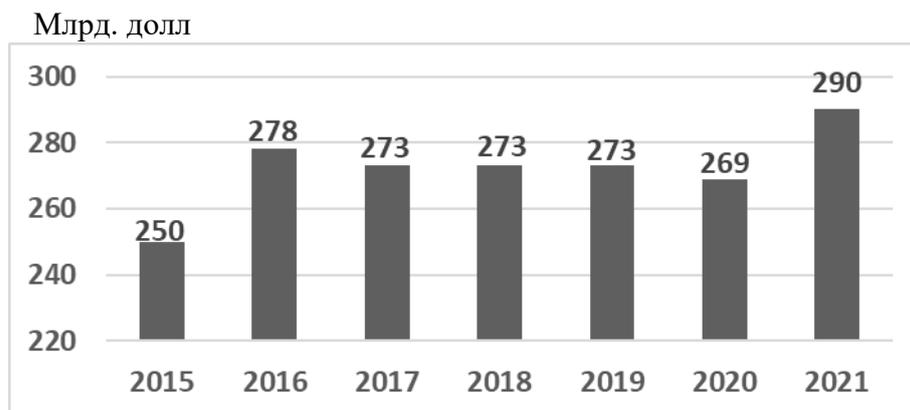


Рис. 5. Глобальные инвестиции в энергоэффективность в мире, 2015-2021 годы [1,4]

Ожидается, что в 2021 году инвестиции в меры по повышению энергоэффективности зданий увеличатся на 20% по сравнению с 2019 годом и составят чуть более 190 миллиардов долларов США. Инвестиции в энергоэффективность транспорта, по оценкам, все еще на 9% ниже уровня 2019 года и составляют около 60 млрд долларов США, в то время как инвестиции в повышение эффективности промышленности, как ожидается, останутся стабильными на уровне около 40 млрд долларов США.

Несмотря на кризис Covid-19, общий объем инвестиций в энергоэффективность в 2020 году оставался стабильным и составлял почти 270 миллиардов долларов США, но тенденции сильно различались по секторам и регионам. Беспрецедентный рост в секторе зданий перевесил резкое сокращение инвестиций в повышение эффективности транспорта, в то время как расходы в промышленном секторе практически не изменились.

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

Приоритетными направлениями реализации мер по повышению энергоэффективности энергетики мира являются внедрение [16]:

- интеллектуальных систем управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях;
- передовых систем освещения;
- эффективных систем отопления и кондиционирования;
- передовых технологий и материалов теплоизоляция;

- эффективных систем отбора и распределения энергии из систем транспортировки «большой энергетики»;
- энергосберегающих технологий для использования в системах водоснабжения и канализации;
- передовых систем генерации и транспортировки тепла, когенерации и транспортировки электрической энергии для зданий и сооружений, локальных систем утилизации тепла.

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

Суммарный, в %

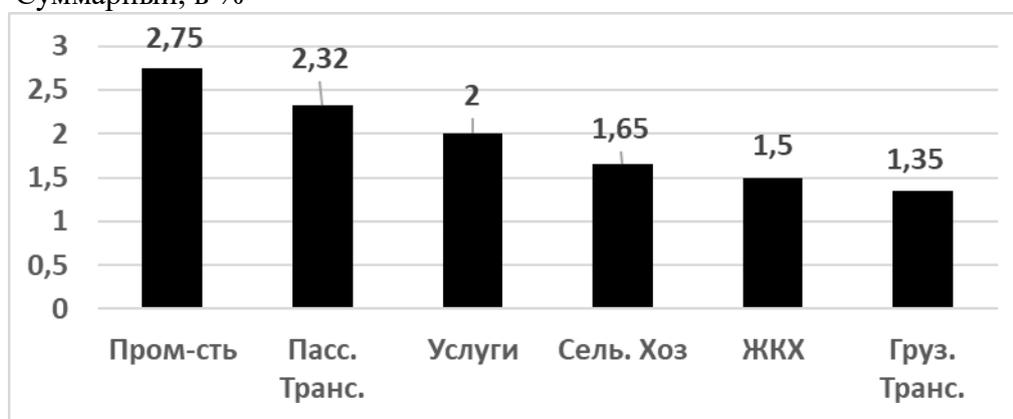


Рис. 6. Снижение уровней энергоемкости мира по секторам (в %) за 2010-2016 годы [10]

Снижение энергоемкости экономики мира в период с 1990 по 2016 годы позволило предотвратить почти 11 миллиардов тонн дополнительных годовых выбросов CO<sub>2</sub>.

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

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

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

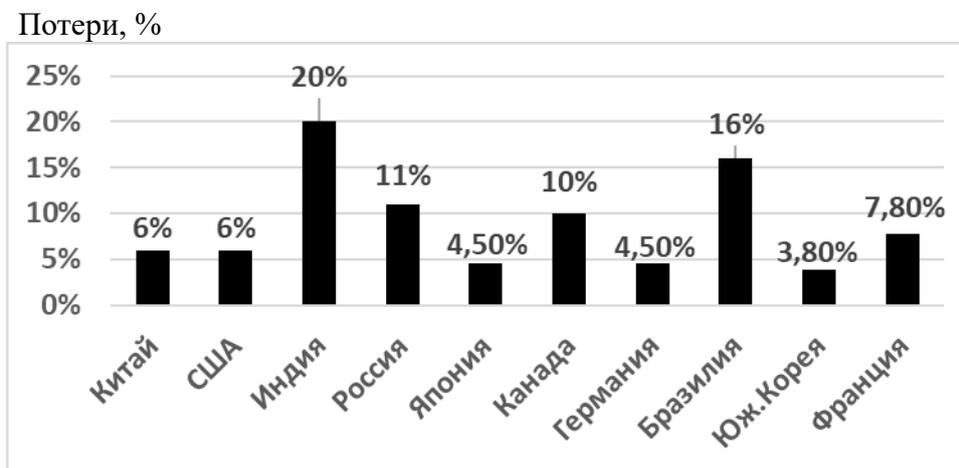


Рис. 7. Потери при передаче и распределения электроэнергии в 10 крупнейших странах мира за 2016 год [10]

Одним из факторов, который будет оказывать все большее влияние на эффективность использования энергии во всех секторах, является рост и применение цифровых технологий. Цифровизация включает в себя увеличение объема и точности данных об использовании энергии, улучшенную способность проводить анализ данных и улучшения в соединяемости, которые улучшают взаимодействие между потребителями и устройствами, обеспечивая больший контроль и гибкость использования [10].

Сегодня в законодательстве США, Евросоюза и других стран мира присутствуют нормы прямого действия, обеспечивающие реализацию четких стратегий по достижению высоких показателей энергоэффективности, прежде всего в секторе конечного потребления. Основные барьеры развитию энергоэффективности - недостаток капитальных инвестиций для использования новых технологий и недостаток информации для потребителей [12].

Необходимое условие обеспечения энергоэффективности — независимый и высококачественный аудит, измерительные средства и необходимые программы для увеличения охвата энергоаудитом и повышения его качества. При этом очевидно, что нельзя ограничиваться собственно отраслями ТЭК - энергоэффективность обеспечить качество энергообеспечения всех потребителей - как промышленных, так и домохозяйств, бюджетных организаций, сельского хозяйства, недвижимости и т.д. [17].

Решению задачи обеспечения потребностей экономики энергоресурсами и повышение энергоэффективности их производства и потребления

будет способствовать, в частности, усиление роли потребителей на рынках электрической энергии (мощности) и системных услуг, изменение конкурентных моделей оптового и розничного рынков в электроэнергетике с обеспечением равноправия поставщиков и потребителей в формировании рыночного равновесия, а также разработка рыночных механизмов.

**Энергоемкость ВВП Узбекистана.** Данный показатель определяется как отношение общего потребления объема энергоресурсов к валовому внутреннему продукту. Энергоемкость представляет собой количество топливно-энергетических ресурсов, необходимое для производства продукции (товаров или услуг) на сумму в 1 сум. Жизненный уровень населения или уровень благосостояния страны тем лучше, чем выше энергопотребление на душу населения и чем ниже энергоемкость ВВП [18].

В Узбекистане до конца 2030 года спрос на энергоресурсы вырастет на 25,5% по сравнению с 2013 годом и составит более 43,5 млн. т. н. э. [19].

Модернизация устаревшего оборудования и производственных процессов имеет решающее значение для повышения конкурентоспособности предприятий. Энергоэффективность способствует сокращению затрат на эксплуатацию и обслуживание оборудования, повышению производительности, а также экономии средств за счет меньшего потребления энергии. Она также внесет вклад в смягчение последствий изменения климата [20].

В настоящее время энергоэффективность Узбекистана в сравнении со 125 странами мира установилась на 78 месте. Для сравнения, предыдущий результат – 84 место [18].

Энергоемкость ВВП Узбекистана с 2001 по 2019 годы снизилась с 0,738 к.н.э./долл до 0,152 к.н.э./долл, при среднемировом уровне в 0,11 к.н.э./долл, т.е. более чем 4 раза и имеет динамичный потенциал дальнейшего снижения [21], а уровень выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на душу населения - на 20% [22].

Большую роль сыграла реализация проекта «Повышение энергоэффективности промышленных предприятий» при Министерстве экономики и промышленности Узбекистана, выполняемый с 2011 года. В проекте используются льготные кредитные средства Международной ассоциации развития Всемирного Банка (МАР) и коммерческих банков Узбекистана. Благодаря чему у большинства энергоемких предприятий появилась возможность значительно сократить объемы потребления электроэнергии и природного газа при производстве продукции [18].

На рис. 8. приведена динамика изменения энергоемкости ВВП Узбекистана.

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.н.э./долл

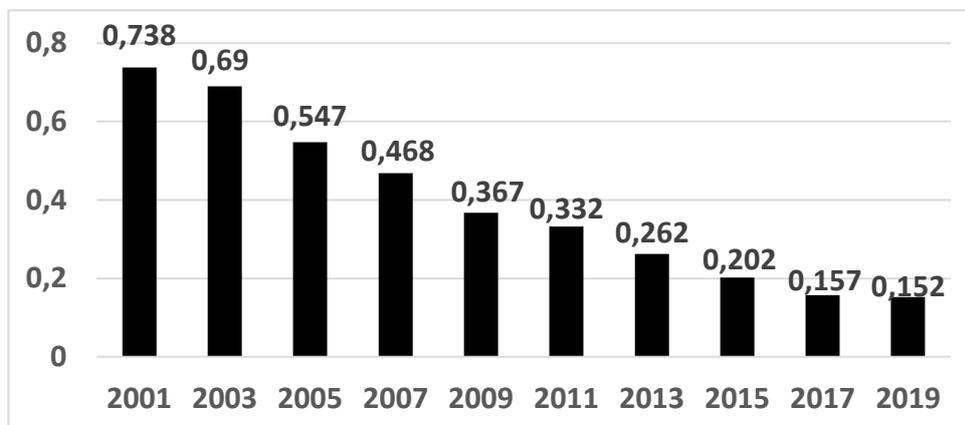


Рис. 8. Динамика изменения энергоемкости ВВП Узбекистана [21]

На рис. 9. приведены сравнительные данные по энергоемкости ВВП некоторых стран мира.

К.н.э./долл

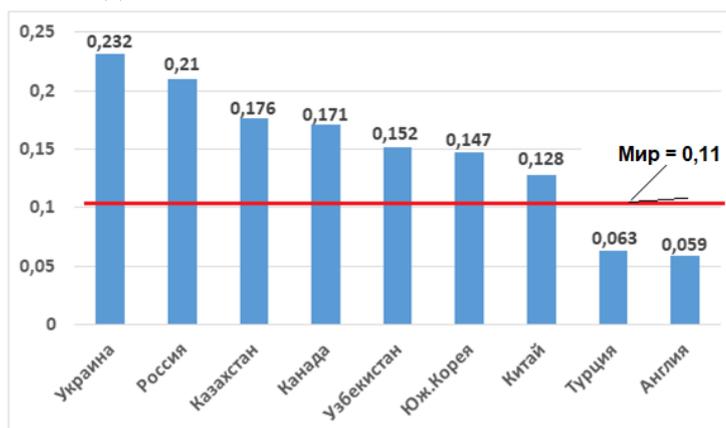


Рис. 9. Энергоемкость ВВП некоторых стран мира, 2019 год [21]

Первые два этапа проекта, одобренные в 2010 и 2013 годах, способствовали внедрению специальных кредитных линий со стороны местных банков, участвующих в проектах [20].

В результате, в рамках финансирования Всемирного банка 31 крупное государственное промышленное предприятие, главным образом в горнодобывающем, электроэнергетическом, нефтегазовом, химическом, строительном и перерабатывающем секторах получили кредиты на общую сумму 125 миллионов долларов для внедрения современных энергосберегающих технологий в производственный процесс.

В результате данные инвестиции способствовали экономии в эквиваленте 358 млн. кВт·ч энергии и сокращению выбросов в атмосферу до 583 тысяч тонн CO<sub>2</sub> в год.

Третий этап проекта предоставит дополнительное финансирование для крупных промышленных предприятий и малых и средних предприятий для инвестирования в энергосберегающие технологии, а также повышение их потенциала в области энергоэффективности посредством адресной технической помощи. Всемирный банк в 2018 году одобрил дополнительное финансирование в размере 200 млн. долларов, рассчитанной на 5 лет [18].

Ожидается, что инвестиции в рамках этого этапа помогут дополнительно сэкономить 386 млн. кВт·ч энергии и сократить выбросы в атмосферу до 799 тысяч тонн CO<sub>2</sub> газа в год [19].

В результате широкого внедрения современных технологий к 2030 году энергоёмкость ВВП Узбекистан сократится примерно в 2 раза [20].

Можно привести конкретные примеры повышения энергоэффективности некоторых предприятий Узбекистана. В Алмалыкском горно-металлургическом комбинате установили новый частотный преобразователь на напряжение 6 кВ и модернизировали компрессорные станции в цехах плавления цинка и меди – эти улучшения позволили сэкономить ежегодно 12,5 млн. кВт·ч электроэнергии. Планируется осуществить в ближайшие годы три новых субпроекта по энергоэффективности, которые могут помочь сберечь 17 млн. м<sup>3</sup> природного газа и 48 млн. кВт·ч электроэнергии.

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

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

В рамках мер по повышению энергоэффективности в секторе электроэнергетики Узбекистан может достичь экономии ресурсов 6,85 млн. т. н. э. к 2030 году. В целом экономия энергоресурсов может составить до 25% за счет программы энергосбережения, реализуемой в промышленных предприятиях [19].

**Инвестиции в электроэнергетику Узбекистана.** Производство электроэнергии в Узбекистане за последние 10 лет выросло на 37%, с 50,2 млрд. кВт·ч в 2008 году до 69 млрд. кВт·ч в 2019 году. На сегодняшний день потребность экономики Узбекистана по приблизительным оценкам экспертов составляет более 69 млрд. кВт·ч [24].

В целях опережающего роста производства электроэнергии необходимо модернизировать энергетическое оборудование на всех уровнях: на генерирующих, транспортирующих и распределяющих предприятиях, что требует привлечения иностранных инвестиций.

За последние несколько лет в законодательстве Узбекистана наблюдаются значительные изменения, нацеленные как на повышение эффективности работы предприятий энергетической отрасли, так и на повышение инвестиционной привлекательности данного сектора экономики в целом. Для привлечения инвесторов, предприятие должно быть эффективным и привлекательным с точки зрения прибыльности и возврата инвестиций, для чего необходимо внедрить рыночные механизмы регулирования цен на электроэнергию.

По приблизительным данным в 2017 году объем электроэнергетического рынка Узбекистана составил 1,02 млрд. долларов. По прогнозам, к 2030 году объем рынка электроэнергии Узбекистана почти удвоится [24, 25].

В Постановлении Президента страны №ПП-3981 от 23 октября 2018 «О мерах по ускоренному развитию и обеспечению финансовой устойчивости энергетической отрасли», в рамках которого принята «Дорожная карта» на 2018-2022 годы, предусмотрено выполнение следующих мероприятий [24,25]:

- реализацию 7 инвестиционных проектов по модернизации действующих и вводу новых генерирующих мощностей общей мощностью 1984 МВт и проектной стоимостью 2,6 млрд. долларов;
- ежегодную реконструкцию действующих и строительство новых электрических сетей общей протяженностью 7,1 тыс. км, установку и модернизацию 2500 трансформаторных пунктов за счет привлекаемых кредитов и собственных средств АО «Узбекэнерго»;
- подключение к Автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) 7 млн. потребителей, с доведением доли охвата АСКУЭ к концу 2021 года до 100% от общего числа абонентов;
- освоение долгосрочных кредитов на общую сумму 1,8 млрд. долларов, привлечение которых согласовано с Всемирным банком, Азиатским банком развития, Европейским банком реконструкции развития, другими международными финансовыми институтами.

Министерство энергетики Республики Узбекистан и ACWA Power (Саудовская Аравия) подписали три соглашения на 2 млрд долларов, в том числе о строительстве ветровой электростанции, а также о покупке электроэнергии, которую будет вырабатывать газотурбинная станция, планируемая к строительству саудовской компанией в Сырдарьинской области [27].

Подписанное соглашение включает [27]:

- 25-летнее соглашение о покупке электроэнергии общей стоимостью 1,2 млрд долларов;

- строительство газотурбинной электростанции мощностью 1500 МВт, в городе Ширин Сырдарьинской области. Компания начала работу по изучению грунта перед началом строительства на выбранной площадке. Станция будет вырабатывать до 10 млрд. кВт·ч электроэнергии в год. Коэффициент полезного действия электростанции, как ожидается, будет превышать 60%, что позволит сэкономить почти вдвое больше природного газа по сравнению с объемом, который используется сейчас на действующей Сырдарьинской ТЭС, построенной в 1966 году;

- ACWA Power построит ветровую электростанцию мощностью 500–1000 МВт на (0,55–1,1) млрд долларов в Навоийской области. ВЭУ начнет работу в 2022 году;

- Air Products & Chemicals (США) и ACWA Power предусматривают подготовку специалистов энергетических и химических секторов в Узбекистане на базе колледжа в городе Ширин.

Руководство Узбекистана прилагает большие усилия для финансирования и привлечения инвестиций в электроэнергетическую отрасль, которые отражаются в принятых решениях. Так в 2019-2020 годах, часть заемных средств международных финансовых институтов, привлекаемых к реализации Государственной программы «Обод кишлок», направлены на строительство и модернизацию низковольтных сетей в размере не менее 100 млн долларов [28].

Для обеспечения стабильной поставки электроэнергии также необходимо строительство 2,7 тыс. км линий электропередач напряжением 220-500 кВ с одновременным строительством 9 новых подстанций, что потребует инвестиций в размере 2,4 млрд. долларов [29].

Требуется реконструкция и модернизация 39,6 тыс. ед. существующих трансформаторных подстанций и 140,9 тыс. км линий электропередачи в распределительных сетях напряжением 110/35/10/0,4 кВ на общую сумму 9,9 млрд. долларов. Требуемый объем инвестиций в электроэнергетическую отрасль не может быть осуществлен только за счет средств существующих государственных энергокомпаний, также ориентируется на привлечение частных инвестиций. Планируется строительство новых электростанций суммарной мощностью 15 ГВт, которое будет реализовано исключительно за счет прямых инвестиций в объеме около 17,3 млрд. долларов. Все станции, за исключением гидроэлектростанций, атомной и нескольких регулирующих электростанций будут построены за счет прямых инвестиций. К ним относятся [29]:

- поэтапное строительство новой электростанции в Сырдарьинской области на базе двух парогазовых установок (ПГУ) по 1300 МВт каждая;

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

---

- строительство новой электростанции на базе ПГУ общей мощностью 850 МВт в Ташкентской области турецкой компанией Cengiz Enerji;
- строительство новой электростанции на базе ПГУ общей мощностью 900 МВт в Сурхандарьинской области турецкой компанией Yildirim Enerji;
- расширение Навоийской ТЭС со строительством ПГУ-3 и 4 мощностью по 650 МВт каждый;
- строительство регулирующих электростанций на базе ПГУ и газопоршневых двигателей.

В течение 2020 года в рамках государственно-частного партнерства были запущены проекты по привлечению 2 млрд. долларов прямых инвестиций и строительству 6 новых электростанций мощностью 2,7 ГВт. Впереди – новый этап трансформации, требующий решения задач по модернизации станций, повышению энергоэффективности, снижению затрат и созданию в перспективе конкурентного рынка электроэнергетики [30].

Одним из источников финансирования энергетических объектов является своевременное и полное взимание платежей за использованную электроэнергию и активизация финансовых поступлений. Для этого внедряется АСКУЭ, позволяющая в 2021 году и далее обеспечить полное взимание платежей за использованную электроэнергию [31].

Ожидается, что в 2030 году производственные мощности Узбекистана увеличатся в 2,5 раза. В том числе начнет работать АЭС мощностью 2,4 ГВт, будут задействованы возобновляемые источники энергии суммарной мощностью более 8000 МВт.

Приведенные выше данные показывают, что финансирование и инвестирование таких масштабных проектов энергетической отрасли будут обеспечены и гарантируют долговременную энергетическую безопасность Узбекистана.

Таким образом, повышение энергоэффективности производства, распределения и потребления энергоресурсов является определяющей целью развития энергетики мира и Узбекистана.

### Литература

1. Energy Efficiency 2021. International Energy Agency. France. November 2021. 103 p. ([www.iea.org/about/contact](http://www.iea.org/about/contact)).
2. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. Париж. МЭА. Ноябрь 2014. 181 с. (На русск. языке).
3. Энергоэффективность. (<https://wiki2.org/ru/Энергоэффективность>).
4. World Energy Outlook 2021. International Energy Agency. October 2021. 386 p. ([www.iea.org/weo](http://www.iea.org/weo)).
5. Управление энергоэффективностью: справочное руководство. 2-ое издание. Международное Энергетическое Агентство.

6. Slowdown in energy intensity improvement in 2018, decreasing by only 1.3%. (<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>).
7. Leontiy Eder, Irina Provornaya. Analysis of energy intensity trend as a tool for long-term forecasting of energy consumption. Energy Efficiency. 2018. №11. P.1971–1997. (<https://doi.org/10.1007/s12053-018-9656-2>).
8. МЭА назвала энергоэффективность "первым топливом" в новом докладе "Энергия и изменение климата". (<http://www.energsovet.ru/news.php?zag=1435650827>).
9. Energy intensity of economies. (<https://ourworldindata.org/energy>).
10. Tracking SDG 7. The Energy Progress Report. 2019. Washington. 176 p. (<http://trackingSDG7.esmap.org>).
11. Лебедев Ю.А., Пельченков М.В. Анализ программ стимулирования и нормирования энергоэффективности: Российский и зарубежный опыт. (<https://research-journal.org/economical/analiz-programm-stimulirovaniya-i-normirovaniya-energoeffektivnosti-rossijskij-i-zarubezhnyj-opyt/2017>).
12. Статистика энергоэффективности. (<https://sci-book.com/grajdanskoe-pravo/statistika-energoeffektivnosti-70920.html>).
13. Новая Директива Евросоюза в области энергоэффективности. (<https://sci-book.com/grajdanskoe-pravo/novaya-direktiva-evrosoyuza-oblasti-70969.html>).
14. Energy, transport and environment statistics. 2019 edition. Printed by Imprimeries Bietlot Freres in Belgium. September 2019. 222 p.
15. World Energy Investment 2019. IEA. France. May 2019. 176 p. (<http://iea.org/about/contact>).
16. Кузьминов А.С. Повышение энергоэффективности: потенциал сотрудничества с Международным энергетическим агентством. (<http://povishenie-energoeffektivnosti-potentsial-sotrudnichestva-s-mejdunarodn-m-energeticheskim-agentstvom.pdf>).
17. Степанова М. Энергостратегия до 2035 - где здесь энергоэффективность? (<https://energiavita.ru/2020/04/07/ehnergostrategiya-do-2035-gde-zdes-ehnergoehffektivnost/07.04.2020>).
18. Новиков В. Минэкономпром признал расточительность Узбекистана в потреблении электроэнергии. (<https://nuz.uz/ekonomika-i-finansy/41378-minekonomprom-priznal-rastochitelnost-uzbekistana-v-potreblenii-elektroenergii.html.20.06.2019>).
19. Энергоемкость экономики Узбекистана снизилась в два раза. (<https://china-uz-friendship.com/?p=4256.05.06.2015>).
20. ВБ направил \$200 млн на модернизацию промышленности Узбекистана. (<https://uz.sputniknews.ru/economy/20180131/7385868/vb-napravil-200-mln-na-modernizaciju-promyshlennosti-uzbekistana.html>).

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

22. За последние 15 лет энергоёмкость ВВП Узбекистана снизилась на 55%. (<https://www.podrobno.uz/cat/economic/za-poslednie-15-let-energo-emkost-vvp-uzbekistana-snizilas-na-55/14.10.2015>).

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

24. Обзор рынка энергетики Узбекистана. (<https://www.rbasia.uz/rynok-energetiki-uzbekistan/>).

25. В 2019 году в план энергетики Узбекистана включены проекты на \$8,1 млрд. (<https://regnum.ru/news/2577253.html.20.02.2019>).

26. Юшков назвал плюсы и минусы перехода Узбекистана к новому рынку электроэнергии. (<https://uz.sputniknews.ru/radio/20201028/15279219/Yushkov-nazval-plyusy-i-minusy-perekhoda-Uzbekistana-k-novomu-rynku-elektroenergii.html.28.10.2020>).

27. Минэнерго Узбекистана и ACWA Power подписали три соглашения на 2 млрд долларов. (<https://kun.uz/ru/news/2020/03/06/minenergo-uzbekistana-i-acwa-power-podpisali-tri-soglasheniya-na-2-mlrd-dollarov>).

28. Noussan M., Raimondi P.P., Scita R., Hafner M. The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition: A Technological and Geopolitical Perspective. Sustainability 2021, 13, 298. P. 1-26. (<https://doi.org/10.3390/su13010298>).

29. Электроэнергетическая отрасль Узбекистана. (<http://minenergy.uz/ru/lists/view/22/30.07.2019>).

30. Мирзиёев Ш.М. поручил начать поэтапный переход к конкурентному рынку электроэнергии. (<https://uz.sputniknews.ru/society/20201026/15264314/Mirziev-poruchil-opredelit-etapy-perekhoda-kkonkurentnomu-rynku-elektroenergii.html.26.10.2020>).

31. Электроэнергетика Узбекистана: новый этап трансформации и модернизации. (<https://e-cis.info/news/567/89168/04.11.2020>).

32. Данилова Т. Энергоэффективность: фрагменты глобальной картины. Атомный эксперт. 2019. (<http://atomicexpert.com/energo.effectivnost>).

33. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под редак. академика Салимова А.У. – Т: Fan va tehnologiyalar. 2021, - 952 с.

*Представлено Ташкентским государственным  
техническим университетом*

УДК 621.311.1

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОБЪЕДИНЁННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

**Т. Х. Насиров, Г.Г. Трофимов, Х.А. Шамсиев**

*Мақолада Марказий Осиё Бирлашган энергетика тизимининг эффектив таракқиёти масалалари баён этилган. Яқин келажакда уларнинг ечимини талаб қиладиган асосий муаммолар ва мақсадлар кўриб чиқилган. Шу жумладан кўрсатилган муаммоларни ечиши бўйича Марказий Осиё бирлашган энергетик тизимининг Координацион-диспетчерлик марказининг таклифлари келтирилган.*

*В статье изложены эффективные пути развития Объединенной энергосистемы. Центральной Азии. Рассмотрены основные проблемы и задачи, требующие решения в ближайшей перспективе. В том числе рассмотрены предложения Координационно-диспетчерского центра ОЭС ЦА по решению изложенных проблем.*

*The article describes effective ways to develop the United Power System of Central Asia. The main problems and tasks that need to be solved in the near future are considered. Moreover, the proposals given by the Coordination Dispatch Center of the UPS CA for solving the above problems are considered.*

Излагаемые ниже проблемы были рассмотрены в статье [1] в 1993 году. Основой электроэнергетики четырёх центральноазиатских республик и прилегающих к ним областей Южного Казахстана с 1960 г. является Объединённая энергетическая система (ОЭС) Центральной Азии и Южного Казахстана. Проблемы, сформулированные в указанной статье, к сожалению, не решены до настоящего времени, а энергосистемы Таджикистана и Туркмении вышли из параллельной работы из ОЭС Центральной Азии (ЦА). Рассмотрим более подробно ещё раз эти проблемы. Эффекты от объединения энергосистем известны и связаны со степенью их интеграции [2]:

- наличием общей электрической сети, позволяющей повысить стабильность и устойчивость регулирования частоты при колебаниях нагрузки и аварийных отключениях;

- единым оперативно диспетчерским управлением режимами работы ОЭС с минимизацией расхода топлива путём оптимального распределе-

ния нагрузки между электростанциями, в т. ч. совместного регулирования ГЭС;

- согласованным управлением, функционированием и развитием энергосистем объединения, как частей единого целого, предусматривающего снижение суммарной установленной мощности электростанции за счёт несовпадения максимумов нагрузок и совместную оптимизацию структуры генерирующих мощностей.

Также, как и в Единой энергетической системе (ЕЭС) СНГ, в изолированно работавшей от неё ОЭС ЦА в условиях централизованной схемы управления энергетикой были реализованы все указанные степени интеграции. Вместе с тем, электроэнергетика государств ЦА характеризуется несбалансированностью по энергоресурсам, мощностям, электроэнергии и структуре мощностей (тепло- и гидроэлектростанций). В создавшихся после 1991 года условиях стратегически оправданное стремление независимых государств к самобалансу без достаточного технико-экономического анализа постепенно приводило к потере преимуществ от объединения с сохранением до недавнего времени лишь взаимобмена электроэнергией по межправительственным соглашениям (МПС).

Подписанное в феврале 1992 г. в Минске Соглашение о координации межгосударственных отношений энергетики СНГ, а также создание Совета энергосистем Центральной Азии, хотя и стали сдерживающими дезинтеграционные процессы факторами, однако не гарантируют автоматического выполнения всех технических условий оптимальной параллельной работы. Разумеется, в новых условиях изменились принципы совместной работы энергосистем в ОЭС ЦА, функции координирующих органов и Объединённого диспетчерского управления (ОДУ). Сохранить все преимущества параллельной работы энергосистем, существовавшие при жёстком диспетчерском управлении, не удалось, поскольку каждая энергосистема имеет свои критерии. В [3] показано, что «стремление каждой энергосистемы к получению максимальной прибыли без учёта интересов её партнёров, приводит в конечном счёте к ухудшению (причём, возможно, лавинообразному) её собственного критерия».

Следует отметить, что все выгоды от совместной работы энергосистем объективны и могут быть реализованы в новых условиях развития энергетики независимых государств ЦА. Это подтверждается многолетним опытом функционирования крупнейших межгосударственных энергообъединений США – Канады и Западной Европы (UCPTE). Однако реализация преимущества объединения энергосистем в новых условиях требует решения ряда научно-технических и экономических проблем, не свойственных развитию энергетики в условиях плановой экономики. Прежде всего необходима разработка новых принципов, методов и математических моделей управления функционированием и развитием энергосистем, оценки эффективности их работы в межгосударственной ОЭС.

Должны рассматриваться альтернативные варианты ввода генерирующих мощностей и строительства новых электростанций с эффективным использованием различных энергоресурсов и с учётом стимулирования внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и энергосберегающих технологий. Основными задачами ОЭС при этом остаются резервирование энергосистем в нормальных и аварийных режимах и реализация договорных межгосударственных обменов электроэнергией по МПС и рационального расхода энергоресурсов. Энергосистемы государств должны обеспечить потребности в базовой, пиковой и резервной мощностях, в источниках реактивной мощности, разработку проектов развития электроэнергетики по региону ОЭС в целом.

Остановимся более подробно на некоторых аспектах указанных научно-технических задач.

Планирование развития энергосистем в настоящее время значительно осложнилось во всём мире, в особенности в СНГ, из-за неопределённости роста электропотребления и цен на топливо. Это может привести к неприемлемым вариантам недостаточности и ненадёжности или же избыточности и неэкономичности генерирующих мощностей энергосистем [3]. Другой путь – покупка более дешёвой энергии у соседних государств, тоже может порождать проблемы надёжности, связанные не только с линиями электропередач. По этой причине многие энергосистемы рассматривают варианты изменения собственной структуры, чтобы быть готовыми к любым переменам. Тем не менее опыт работы национальных энергосистем, входящих в энергообъединение Западной Европы (UCTE), доказывает эффективность обеспечения обмена электроэнергией и надёжного электроснабжения потребителей путём взаимной поддержки, и помощи с целью оптимального использования генерирующих мощностей.

Оптимальная работа объединенной сети требует выполнения функций первичного, вторичного (частоты и обменной мощности) и третичного регулирования частоты. При обмене энергией между параллельно работающими энергосистемами используются системы автоматического регулирования частоты и обменной мощности (АРЧМ). С начала параллельной работы UCTE системные регуляторы работают совместно [4] и в регулировании с заданным статизмом участвуют все агрегаты (децентрализованное регулирование). При этом первичные регуляторы обеспечивают баланс при возможно равномерном распределении мощностей между электростанциями. Резерв по первичному регулированию составляет 2,5% суммарной генерирующей мощности в текущем режиме при статизме регуляторов турбин 4-6%.

Вторичное регулирование обеспечивает адекватное поддержание согласованного обмена энергией между энергосистемами и построено в UCTE по иерархическому принципу. Ряд районов поэтому имеет регули-

рование, выходящее за пределы национальных границ. Что касается третичного регулирования, то будучи нежёстко определённым, позволяет объединить его с вторичным регулированием и мгновенной оптимизацией распределения мощностей между электростанциями. Заданные коэффициенты статизма по частоте системных регуляторов соответствуют примерно 10% значения максимума графика нагрузки энергосистемы [4].

В ЕЭС СНГ, в отличие от УСТЕ, получило распространение централизованное регулирование частоты специально выделенными для этой цели энергоблоками. Часть резервов первичного регулирования должна размещаться на выделенном для нормированного первичного регулирования частоты (НПРЧ) генерирующем оборудовании электростанций. Минимально необходимый объем резервов первичного регулирования энергосистем государств-участников параллельной работы, входящих в состав энергообъединения ЕЭС/ОЭС, ежегодно устанавливается Комиссией по оперативно-технологической координации (КОТК) и распределяется между энергосистемами пропорционально их годовой выработке. Вместе с тем, назначение этих резервов по странам различно: российские станции НПРЧ должны реагировать на отклонения частоты, вызванные небалансами активной мощности, независимо от места их возникновения для гарантированного удержания значений частоты в допустимых пределах, а страновые резервы мощности должны использоваться для регулирования сальдо-перетоков на границах с ЕЭС России. Другая часть первичного регулирования, называемая общим первичным регулированием (ОПРЧ), осуществляется в меру имеющихся возможностей всеми станциями и имеет целью сохранение энергоснабжения потребителей и функционирования электростанций при аварийных отклонениях частоты.

Вторичное регулирование в ЕЭС СНГ выполняется также российской энергосистемой, а в остальных энергосистемах при возникновении небаланса мощности должно вступать в действие региональное вторичное регулирование по месту возникновения небаланса.

В прежние времена, когда частота поддерживалась на уровне  $50 \pm 0,2$  Гц, такая система распределения обязанностей по регулированию частоты в ЕЭС СНГ устраивала всех участников параллельной работы, т.к. за счет специально выделенных российских станций параллельно работающие с ними энергосистемы получали качественную частоту. Особенно выгодно указанное было для небольших энергосистем, которые имели бы большие сложности при самостоятельном регулировании частоты. Как показали наши имитационные расчёты, в искусственном самобалансированном режиме энергосистемы Узбекистана без учёта регулирования соседних энергосистем эквивалентный статизм системы ( $\alpha = \Delta f / \Delta P$  Гц/МВт) увеличился бы примерно в 5 раз, что совершенно недопустимо. Этот эффект значительного изменения частоты при неболь-

ших возмущениях обусловлен не только меньшей мощностью энергосистемы, но и влиянием различных режимных ограничений [5].

Отметим, что в ОЭС ЦА в настоящее время наблюдается значительный дисбаланс мощности. Так, в обращении членов Казахстанской электроэнергетической ассоциации и 5 крупнейших энергокомпаний Казахстана к президенту страны [6] отмечается, что имеющийся дефицит электрической энергии в Единой электроэнергетической системе РК составляет 1327 МВт, а дефицит регулировочной мощности 894 МВт. Причем, даже с учетом выработки ввода новых мощностей, как традиционных (2,6 млрд.кВтч), так и ВИЭ (2,0 млрд кВтч), все равно будет наблюдаться дефицит мощности в энергосистеме. Кроме того, при повышении дефицита происходит увеличение перетоков из РФ. Так, Казахстан только с 2015 по 2020 годы увеличил сумму затрат на компенсацию за перетоки электроэнергии из РФ более чем в два раза с 8,3 млрд. тенге в 2015 году до 18,6 млрд. тенге в 2020 году.

Ситуация значительно усугубилась с повышением требований к качеству регулирования до  $50 \pm 0,05$  Гц, которое приняло АО «СО ЕЭС» (ГОСТ 34184-2017). Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в энергообъединении). Здесь уместно отметить, что Республика Узбекистан за его принятие не проголосовала, в то время как Госстандарт Республики Казахстан без согласования с АО «КЕГОС» и Министерства энергетики его подписали. Это привело к тому, что задача регулирования сальдо-перетока на границах с ЕЭС России резко усложнилась, что привело к появлению в них больших отклонений. Аналогичные сложности появились и в ОЭС ЦА, которые, в свою очередь должны регулировать сальдо-переток на интерфейсе с ЕЭС Казахстана. Причиной роста небалансов является то, что системы регулирования в национальных энергосистемах не успевают среагировать на возмущения раньше, чем станции первичного и вторичного регулирования в России. Кроме финансовых проблем, связанных с регулированием отклонений, которые в этих условиях заставляют Казахстан ежегодно выплачивать России значительные суммы за регулирование, в энергосистемах перегружаются транзитные сечения в сторону России, что стало особенно выраженным при растущем внедрении ВИЭ в энергосистемы ОЭС ЦА и ЕЭС Казахстана. При непринятии мер такие небалансы будут иметь место каждый день, что ставит под сомнение возможность полноценного обеспечения устойчивости параллельной работы энергосистем.

Так, 25 января 2022 года локальная авария на Сырдарьинской ТЭС обернулась тем, что весь небаланс ОЭС ЦА в 2100 МВт лег на транзит Север-Восток-Юг Казахстана, что вызвало нарушение динамической

устойчивости этого транзита. В Казахстане среагировала система противоаварийной автоматики, что привело к разделению транзита Север – Восток - Юг и практически удвоило небаланс мощности в ОЭС ЦА, с перекладыванием питания дефицитных южных областей Казахстана на узбекскую и киргизскую энергосистемы. Если инъекцию мощности, поставляемую по этому транзиту для южных областей Казахстана, сохранить в аварийной ситуации, то это позволило бы энергосистеме иметь меньший дефицит и, соответственно, тратить меньше финансовых средств с меньшими издержками для его нормализации. Естественно, это выгодно Казахстану и другим странам ЦА.

Предлагается отделить ОЭС ЦА и Южные области Казахстана от ЕЭС Казахстана вставкой постоянного тока (ВПТ), устанавливаемой в расщелку Л-514 (Шу-Фрунзе), и переводом шунтирующих ВЛ-220 кВ в тупиковые режимы (рис.1).

Кроме того, необходимо отметить, что наличие двух ГОСТов на одну и ту же величину: один для регулирующих станций, а другой - для остальных участников, представляется неуместным, т.к. частота является единой для всех участников параллельной работы, независимо от их вида и месторасположения. С учетом влияния ВИЭ, целесообразно рассмотреть вопрос, чтобы ЕЭС России снизила нормы регулирования частоты с  $50 \pm 0,05$  Гц до предусмотренных межгосстандартом ГОСТ 32144-2013 ( $50 \pm 0,2$  Гц) для всех участников рынка. Для сравнения следует отметить, что в отличие от западноевропейского энергообъединения УСТЕ, в которое входят около 40 системных операторов из 24 стран Западной и Центральной частей Европы, в Великобритании, отделенной от УСТЕ вставкой постоянного тока, допустимые отклонения сохранились на уровне  $\pm 0,15$  Гц, а в Финляндии  $\pm 0,2$  Гц.

ЕЭС России должна, по нашему мнению, принять допустимые отклонения исходя из этого ГОСТа и утвержденной Комиссией по оперативно-технологической координации совместной работы энергосистем стран СНГ и Балтии (КОТК) крутизны статической характеристики нагрузки  $K_{счх} = 20000$  МВт/Гц. Исходя из этих величин, отклонение ЕЭС Казахстана на границе с ЕЭС Россией в 2000 МВт привело бы к снижению частоты всего лишь на 0,1 Гц, т.е. до 49,9 Гц, что допустимо. Тем не менее, даже с учетом коррекции по частоте величина такого небаланса, при существующей в ЕЭС СНГ централизованной системе регулирования частоты, останется высокой и может перегрузить сечения. В Европе при такой же ситуации на небаланс отреагировали бы практически все станции, что позволяет избежать радикального изменения потокораспределения в сети и перегруза сечений.

Переход на децентрализованное регулирование частоты в ЕЭС СНГ вряд ли возможен в одночасье и к нему нужно основательно подготовиться. До этого времени, задача автоматического регулирования каждой

энергосистемой согласованного сальдо-перетока мощности с коррекцией по частоте, остается в силе, и только ее реализация может обеспечить высокое качество поддержания частоты и выгодные экономические взаимоотношения государств, входящих в ОЭС ЦА.

Однако имеющиеся в настоящее время связи не обладают пропускной способностью, достаточной для обеспечения необходимого диапазона регулирования частоты. Ясно, что трансграничные сечения должны иметь соответствующие резервы по пропускной способности и, чтобы не перегружаться, должны быть, при необходимости, усилены. При дальнейшем развитии необходимо обеспечить требуемые обменные мощности между энергосистемами в аварийных режимах. В этом плане рассматриваются различные варианты усиления межсистемных, в т.ч. с использованием вставок постоянного тока. Целесообразно также провести технико-экономический анализ вариантов: усиление транзита Север – Юг Казахстана за счет строительства 4-й или 5-й цепи; строительство ВЛ постоянного тока Север (или Запад) – Юг Казахстана; повышение пропускной способности существующих линий за счет устройств продольной компенсации [7].

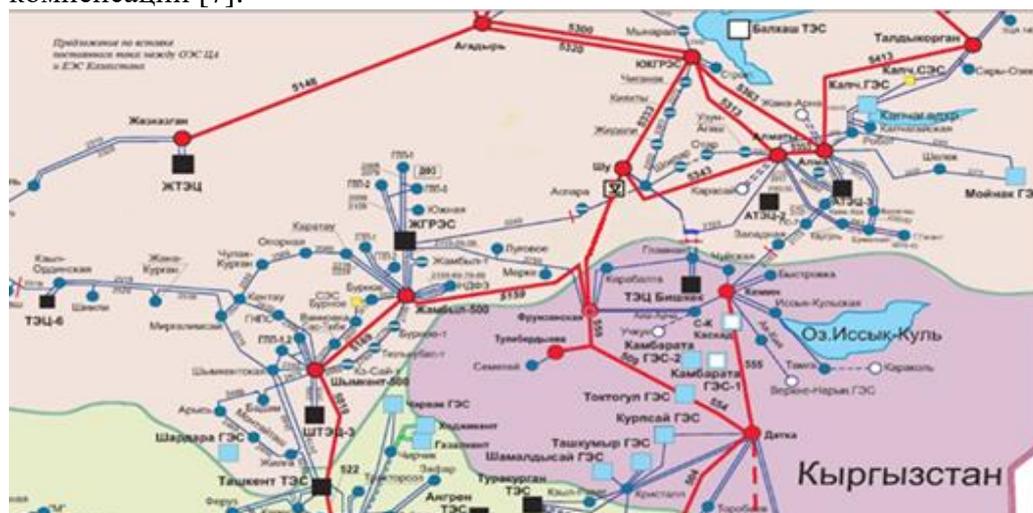


Рис.1 Предложение по вставке постоянного тока

Для решения проблемы с обеспечением устойчивости параллельной работы энергосистем Центральной Азии с ЕЭС Казахстана и ЕЭС России в [8] предложена идея сооружения в ОЭС ЦА вставки постоянного тока на проблемном участке с тем, чтобы ограничить влияние возмущений, вызываемых режимами работы ВИЭ, и допуска применения в энергосистеме менее жестких стандартов по отклонению частоты.

Мощность ВПТ необходимо выбрать достаточной для энергоснабжения Шымкентской и Джамбылской областей от ЕЭС

Казахстана, оценочно не менее 1000 МВт. Анализ показывает, что если бы такая вставка была в ОЭС ЦА в настоящее время, то при аварии 25 января 2022 года частота снизилась бы, после погашения систем шин на Сырдарьинской ТЭС, только до 48,5 Гц и не было бы развития аварии с работой ЧДА на станциях и лавиной частоты в энергосистеме.

Указанное мероприятие позволит решать проблему с небалансами самостоятельно в ОЭС ЦА в соответствии с действующим межгосударственным ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», согласно которому отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать  $\pm 0,2$  Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и  $\pm 0,4$  Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Кроме задачи усиления транзитных сетей в регионе Центральной Азии имеются еще много других проблем и задач, требующие своего решения в ближайшей перспективе развития ОЭС ЦА.

Одной из важнейших межгосударственных проблем стран ЦА по-прежнему остаются **водно-энергетические проблемы** [9]. Энергосистемы стран ЦА были спроектированы с учетом необходимости использования преимуществ имеющихся топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и сезонных взаимобменов электроэнергии между странами. Согласно действовавшей схеме Кыргызстан и Таджикистан в вегетационный период вырабатывали бы электроэнергию сверх их собственного потребления и поставляли ее в Казахстан и Узбекистан в объемах, необходимых для удовлетворения потребностей ирригации. В свою очередь страны нижнего течения в межвегетационный (осенне-зимний) период поставляли в Таджикистан и Кыргызстан органическое топливо и электроэнергию.

Однако действовавшая в советское время схема сезонных взаимобменов электроэнергии между странами, адаптированная к постсоветскому периоду, перестала соответствовать к современным реалиям. В многоводные годы ирригационные потребности Казахстана и Узбекистана удовлетворяются, в основном, за счет боковой приточности, т.е. они заинтересованы в получении электроэнергии в меньшем объеме, чем заложено в МПС. При этом, соответственно, сокращалась в последующий зимний период поставка энергоресурсов в Кыргызстан, который был вынужден увеличить зимние попуски воды из Токтогульского водохранилища, чтобы покрыть свои потребности в энергии. В свою очередь это привело к тому, что в энергосистеме Кыргызстана в отдельные маловодные годы приходилось вводить ограничения потребителей с целью предотвращения излишней сработки Токтогульского водохранилища. Для стабильного водообеспечения региона и предотвращения дефицита электроэнергии в Кыргызстане

необходимы другие меры, чем обычные энергообмены.

В соседнем Таджикистане, энергосистема которого с 2009 года работает изолированно, участились случаи непроизводительных сбросов воды в летнее время из-за неостребованности спроса на электроэнергию и ограниченности объемов водохранилищ.

В настоящее время энергосистемы Узбекистана и Таджикистана приступили вплотную к восстановлению параллельной работы. Кроме повышения надежности электрических сетей и увеличения экспортного потенциала Таджикистана, восстановление параллельной работы приведет к появлению мощного источника резервов мощности, которые остро необходимы для нормализации режимов ОЭС ЦА в часы максимумов и минимумов нагрузки. В текущие дни эти резервы оцениваются от 700 до 1000 МВт, но даже их не будет хватать для компенсации уже имеющихся небалансов мощности на российско-казахстанском интерфейсе в объеме 1000-1500 МВт, к которым привели начавшиеся в регионе процессы интеграции солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) электростанций. Уже очевидно, что опережающее внедрение ВИЭ в Узбекистане и Казахстане может привести:

- к резкому усилению проблемы с регулированием небалансов и необходимыми для этого резервами мощности (в течение всего времени суток, а не только в пиковые часы);

- к острой необходимости решения проблемы с избытками газа в дневные часы, когда на полную мощность будут работать солнечные станции, а ТЭС – на технологических минимумах.

Эти проблемы еще более осложнятся с пуском строящейся в Узбекистане АЭС мощностью 2400 МВт, которая будет работать преимущественно с базовой нагрузкой.

Внедрение ВИЭ неразрывно связано с необходимостью использования накопителей энергии. В целях эффективного использования воды и создания пиковых мощностей для компенсации влияния ВИЭ в регионе, по мнению КДЦ «Энергия», предпочтительно строить гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) [9], максимально задействовав для этой цели уже имеющиеся водохранилища. Кроме того, крайне необходимо совместное участие стран в строительстве Камбаратинской и Рогунской ГАЭС. Указанные меры позволят на той же воде вырабатывать больше электроэнергии, что особенно актуально в условиях из года в год уменьшающихся водных ресурсов. Кроме этого, все страны ЦА должны самостоятельно выбрать экономически целесообразные типы накопителей для себя из значительного числа возможных технологических решений хранения электроэнергии известных в настоящее время. В Казахстане и Узбекистане, в которых имеются проблемы с водными ресурсами,

следует обратить внимание на гравитационные накопители, которые экономически более привлекательны, чем ГАЭС.

Повышение пропускной способности линий не решает проблемы с набросами на интерфейс ЕЭС России – ЕЭС Казахстана из-за небалансов, обусловленных ВИЭ. С повышением доли ВИЭ инерция энергосистемы уменьшается и для обеспечения более оперативных резервов мощности и средств по их использованию необходимо:

- внедрение АРЧМ в Уз ЭС и ОЭС ЦА (в КАЗ внедрено);
- внедрение онлайн-программ прогнозирования мощности ВИЭ (в КАЗ внедрено);
- устанавливать в энергосистеме, а также при строящихся СЭС, накопители энергии, позволяющие осуществлять оперативное реагирование.

Кроме того, при больших дисбалансах возникают технические проблемы с сохранением устойчивости параллельной работы энергосистем или их частей. Внедрение ВИЭ в больших масштабах приведет к более частому появлению больших отклонений. 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 дальнейшей параллельной работе в составе энергообъединения СНГ.

В Узбекистане основными станциями, которые решают проблему замещения исчезающей вечером мощности СЭС, являются газовые станции, т.к. мобильные гидростанции, как правило, связаны с режимами водопользования, а накопители разного рода еще не получили промышленного применения. В системе имеются огромные резервы на разгруженных газовых станциях, которые готовы поднять мощность по команде диспетчера при соответствующем обеспечении газом, с ним часто имеют место проблемы в часы вечернего максимума и/или при резких похолоданиях. С учетом этого программа внедрения ВИЭ в ЭЭС обязательно должна быть связана с наращиванием маневренных мощностей и состыкована, с одной стороны, с не менее масштабным переустройством газотранспортной системы, как это было сделано в Западной Европе, а с другой - наращиванием мощности используемых систем хранения энергии. С этой целью необходимо создать взаимодействие между операторами электрических и газовых сетей, причем не только внутри республики, но и в регионе, которое должно обеспечить работу ГТС не по равномерному, а в соответствии с графиком энергосистемы, а интеграция накопителей в энергосистеме, обычно работающих в автономном режиме по заданной программе, не только будет способствовать повышению устойчивости, но и в значительной степени облегчит диспетчерское управление [6].

При резком понижении температуры, что нередко имеет место в Центральной Азии с резко континентальным климатом, давление в газопроводах резко падает. В такое время спасают положение энергоблоки,

работающие на резервном топливе - мазуте. Несмотря на увеличение парка ПГУ такие газомазутные блоки желательно сохранить в энергосистеме, а для повышения их производительности провести их репаулинг за счет перевода в комбинированный цикл выработки электроэнергии.

В региональном аспекте стоит также отметить, что в ОЭС ЦА в настоящее время практически отсутствуют резервы мощности и вероятность наброса небалансов мощности от ВИЭ на транзит Север-Юг Казахстана многократно возрастает.

Так, Казахстан сразу же после подписания Закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» в 2009 принял амбициозные показатели развития ВИЭ. В соответствии с которыми Казахстан планировал в 2020 году довести долю ВИЭ в производстве электроэнергии до 3%, в 2025 году до 6% и до 10% к 2030 году. Эти планы не только регулярно выполнялись, но в конце 2021 г. Казахстан, наращивая меры по реализации своих обязательств в рамках глобальной борьбы с изменением климата, решил увеличить долю ВИЭ до 6% в 2023 году, до 30% к 2030 г. К 2050 году было запланировано, что не менее половины всего совокупного производства электроэнергии должно приходиться на возобновляемые и альтернативные источники энергии.

В Узбекистане согласно Концепции развития энергетической отрасли к 2030 г. планировалось внедрение до 5 ГВт СЭС и 3 ГВт ВЭС, затем сроки были пересмотрены и внедрение указанных мощностей ожидается уже в 2026 году.

Учитывая высокие темпы интеграции ВИЭ в ОЭС ЦА, набросы небалансов мощности от ВИЭ будут происходить каждый день и вероятность аварий в ОЭС ЦА, соответственно, возрастет, что подтверждают системные аварии в энергосистемах ОЭС ЦА в 2020-2022 годах. Кроме того, пропускная способность транзитов ЕЭС России – ЕЭС Казахстана, ЕЭС Казахстана – ОЭС ЦА задействована до предельной загрузки и, как следствие, будет необходимо ежедневно отключать потребителей в ОЭС ЦА от противоаварийной автоматики для сохранения устойчивости параллельной работы. Ущерб, который последует при коллапсе в ОЭС ЦА при неполном или некачественном покрытии небалансов от ВИЭ, будет исчисляться миллиардами долларов. Для предотвращения такого ущерба необходимо определить специальными исследованиями:

- допустимую долю ВИЭ в составе генерирующих мощностей Узбекистана и Казахстана, безопасную для сохранения устойчивой работы энергосистем для разных периодов их интеграции;
- необходимый объем строительства накопителей электрической энергии (электрохимических, гравитационных, ГАЭС и т.п.);
- меры по снижению скорости подъема нагрузки тепловых станций на вечерний максимум;

- управление спросом посредством дифференцированных тарифов;
- разработку единых технических требований к объектам генерации, функционирующих на основе использования ВИЭ, работающим в составе энергосистем.

### Выводы

1. В новых условиях развития электроэнергетики, связанных с масштабным внедрением ВИЭ, необходима разработка новых принципов, методов и математических моделей управления функционированием и развитием энергосистем, оценки эффективности их работы в межгосударственной ОЭС.

2. Выбор робастных планов и решений по реализации обмена энергией между энергосистемами должен производиться на основе таких показателей, как надежность и цена на электроэнергию, что потребует создания новых методов планирования и регулирования генерируемой и обменной мощности, а также частоты.

3. В условиях интеграции ВИЭ централизованная система регулирования частоты в ЕЭС СНГ специально выделенными для этой цели генераторами приводит к большим небалансам мощности на всех интерфейсах между регулирующими станциями и источниками небалансов, что является главным препятствием на пути масштабного внедрения ВИЭ в энергосистемы.

4. Необходимо вернуться к единым требованиям к отклонению частоты в соответствии с Международным ГОСТ 32144-2013 ( $50 \pm 0,2$  Гц) для всех участников рынка ЕЭС СНГ.

5. Для решения проблемы с обеспечением устойчивости параллельной работы энергосистем Центральной Азии с ЕЭС Казахстана и ЕЭС России предлагается применить в ОЭС ЦА вставки постоянного тока на ВЛ 500 кВ Шу-Фрунзе.

6. С целью эффективного использования воды и создания пиковых мощностей для компенсации влияния ВИЭ в регионе предлагается строить ГАЭС, максимально задействовав для этой цели уже имеющиеся водохранилища, а также активизировать усилия по совместному строительству Камбаратинской и Рогунской ГАЭС.

7. Программа внедрения ВИЭ в ЕЭС обязательно должна быть состыкована с не менее масштабным переустройством газотранспортной системы. Необходимо создать взаимодействие между операторами электрических и газовых сетей, причем не только внутри республики, но и в регионе, которое должно обеспечить работу ГТС в соответствии с графиком энергосистемы.

8. Вероятность наброса небалансов мощности от ВИЭ на транзит Север-Юг Казахстана многократно возрастает. Необходимо специальными исследованиями определить поэтапно допустимую долю ВИЭ в составе генерирующих мощностей Узбекистана и Казахстана, а

также другие меры для сохранения устойчивой работы энергосистем. Кроме того, следует также определить необходимую мощность накопителей энергии и порядок их ввода в энергосистемы стран ЦА для выполнения амбициозных планов развития ВИЭ определенных правительствами стран.

### Литература

1. Насыров Т.Х., Атаев В.И., Удовиченко В.Б. Научно-технические проблемы функционирования и развития объединенной энергосистемы Средней Азии и Южного Казахстана как межгосударственного объединения. // Проблемы информатики и энергетики. 1993, №5. -С. 25-29.
2. Волькенау И.М., Руденко Ю. Н. Проблемы управления развитием и функционированием Единой электроэнергетической системы бывшего СССР как целостной системы в новых условиях // Изв. РАН. Энергетика. 1993, №1. -С. 12 – 17.
3. Гамм А.З. Компромиссное управление хозяйственно независимыми электроэнергетическими системами // Там же. -С. 46 – 57.
4. Машанский А. М. Регулирование активной мощности в энергообъединении Западной Европы // Энергохозяйство за рубежом. Приложение к журналу «Электрические станции». 1992. № 4. -С. 24 – 30.
5. Ершевич В. В., Антименко Ю. Л. Эффективность функционирования Единой электроэнергетической системы на территории бывшего СССР // Изв. РАН. Энергетика. 1993. № 1. -С. 22 – 31.
6. В Казахстане наступает энергетический кризис. // [https://docs.google.com/document/d/1sXD5tinrAMn76gTrsGDCJIBeCAciS\\_DK/edit](https://docs.google.com/document/d/1sXD5tinrAMn76gTrsGDCJIBeCAciS_DK/edit)
7. Трофимов Г.Г. Направление развития электроэнергетики Казахстана. Энергетика. // Вестник Союза инженеров-энергетиков Республики Казахстан, №3(78), сентябрь 2021г. -С. 25-27.
8. Шамсиев Х.А., Шамсиев Б.Х. Уроки блэкаута в ОЭС Центральной Азии. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. №1, 2022. -С 29-37.
9. Шамсиев Х.А. Современное состояние и будущие направления действий в водно-энергетическом секторе Центральной Азии. // 2-й Евразийский Конгресс. Сессия «Эффективный водно-энергетический комплекс – основа процветания Центральной Азии». Москва, 2 декабря 2021.

*Представлено Техническим государственным университетом, Алматынским университетом энергетики и связи и МННО КДЦ «Энергия»*

УДК:621.314

**НОСИММЕТРИК ЮКЛАМАЛИ ТАҚСИМЛАШ ЭЛЕКТР  
ТАРМОҚЛАРИДА ФИЛЬТРЛАРНИ ҚЎЛЛАШ ОРҚАЛИ  
ЮҚОРИ ГАРМОНИКАЛАРНИ БАРТАРАФ ЭТИШ****Х.А. Саттаров, А.О. Суяров, А.И. Тураев**

*Мақолада электр энергетика тизимининг тақсимлаш электр тармоқларига уланган қуёш фотоэлектрик станцияси, шамол электр станцияси ҳамда ўзгармас ток машинаси учун фойдаланилган ўзгартиргич несинусоидал сигналлар манъбаси сифатида таҳлил этилган. Тақсимловчи қурилмалардаги юқори гармоника сигналларининг қийматлари аниқланиб, электр энергияси сифат кўрсаткичлари Халқаро электротехника комиссияси талабларига мос эмаслиги аниқланган. Юқори гармоника сигналларини талаб даражасига келтириши мақсадида, тақсимловчи қурилмаларга юқори частоталарга қарши филтрлар ўрнатилган. Натижада электр тармоқларининг тақсимловчи қурилмаларида кузатилаётган 500 Гц, 550 Гц, 1450 Гц ва 1475 Гц частотали сигналлар бартараф этилган.*

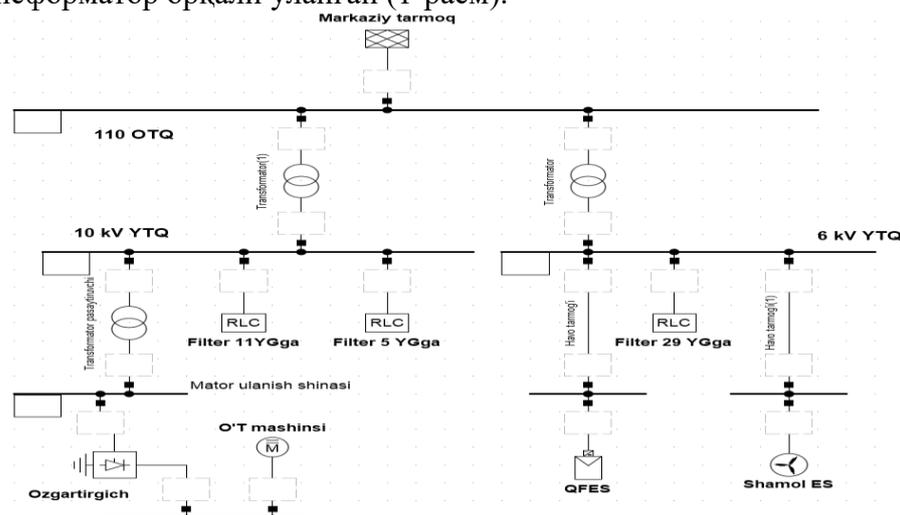
*В статье анализируется работа преобразователя, используемого для машины постоянного тока, солнечной фотоэлектрической станции и ветровой электростанции, подключенных к распределительной сети электроэнергетической системы как источник несинусоидальных сигналов. Определены значения высших гармоник в распределительных устройствах и установлено, что качество электроэнергии не соответствует требованиям Международной электротехнической комиссии. Для приведения сигналов высших гармоник к необходимому уровню в распределительных устройствах были установлены высокочастотные фильтры. В результате были устранены высокочастотные гармоники 500 Гц, 550 Гц, 1450 Гц и 1475 Гц, наблюдаемые в распределительных устройствах энергосистемы.*

*The article analyzes the distribution of the power system as a source of nonsinusoidal signals of the converter used for the DC machine, a solar photovoltaic station and a wind power station connected to the power grid. The values of high harmonic signals in the switchgear connected to these technologies were determined and it was found that the power quality did not meet the requirements of International electrotechnical comission. In order to bring the high harmonic signals to the required level, high-frequency anti-filtering filters were installed in the distribution devices. As a result, 500 Hz,*

*550 Hz, 1450 Hz and 1475 Hz high-frequency signals observed in the distribution devices of the central power grid were eliminated.*

**Кириш.** Тақсимлаш электр тармоқлари орқали истеъмолчиларни сифатли электр энергияси билан таъминлаш электр энергетика тизимининг асосий вазифаларидан бири ҳисобланади [1]. Замонавий ҳамда ривожланган электр тармоқларида қўшимча генерациялаш ва янги турдаги истеъмолчиларнинг кириб келиши орқали электр энергияси сифат кўрсаткичларини, жумладан кучланиш синусоидаллигини яхшилаш мураккаблашиб бормоқда [9; 10]. Дунё олимлари ва ишлаб чиқарувчи мутахасислар томонидан, электр энергияси сифат кўрсаткичларидан энг асосийси носинусоидалликни келтириб чиқарадиган юқори гармоника манъбаларига филтрларни қўллаш тавсия этилади [2; 3; 4]. Мақолада электр тармоғига уланган куёш фотоэлектрик станцияси, шамол электр станцияси ва ўзгарувчан токни ўзгармас токга айлантириб берадиган ўзгартиргич юқори гармоника манъбалари сифатида кўриб чиқилган. Электр тармоғидаги носинусоидаллик коэффициенти белгиланган чегаравий қийматлардан ошиб кетган. Бу параметрни талаб даражасига келтириш мақсадида филтрлар қўлланилиб, юқори гармоникалар етарли даражада бартараф этилган.

**Масаланинг қўйилиши.** Подстанция 110 кВ кучланишли ҳаво тармоғи орқали қувват олади. Бу подстанциянинг 6 кВ ёпиқ тақсимловчи қурилмасига 10 МВт қувватга эга куёш фотоэлектрик станцияси ва 2 МВт қувватга эга шамол электр станцияси уланган. Подстанциянинг 10 кВ ёпиқ тақсимловчи қурилмасига ўзгармас ток машинаси учун ўзгартиргич трансформатор орқали уланган (1-расм).



1-расм. Тақсимлаш электр тармоқларидаги юқори гармоника манбаларининг жойлашуви

Кузатилаётган подстанцияда учта энг муҳим қурилмалар юқори гармоника манбалари деб топилди [6], булардан иккитаси қўшимча генерация-қуёш ва шамол электр станциялари, қолган биттаси истеъмолчи-ўзгармас ток мотори учун қўлланилган ўзгартиргич ҳисобланади.

Кучланишнинг умумий носинусоидаллик коэффиенти кучланишнинг ҳар бир частотадаги ўртача квадратик қиймати билан аниқланади ва қуйидагича ифодаланади:

$$UNK = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{n, o'kq}^2}}{U_{asosiy, o'kq}} \quad (1)$$

бу ерда  $U_{n, o'kq}$  – n чи тартибли гармониканинг ўртача квадрат кучланиш қиймати,  $U_{asosiy, o'kq}$  – асосий гармониканинг ўртача квадрат кучланиш қиймати [7].

Юқори гармоника сигналларини электрокимёвий қаршиликнинг давомийлиги билан ҳам ифодалаш мумкин [8]. Кучланиш ўзгаришини частота билан бир қаторда вақтни ҳам инобатга олиб қуйидагича ифодаланади:

$$E_t = E_0 \sin(\omega t) \quad (2)$$

бунда  $E_0$ - кучланиш ўзгаришининг амплитудавий қиймати,  $\omega$ -радиал частота. Худди шундай ток кучи ўзгаришини фазалар фарқини ҳисобга олиб, қуйидагича:

$$I_t = I_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

бу ерда  $I_0$ - ток кучининг амплитудавий қиймати,  $\varphi$ -кучланиш ва ток кучи орасидаги фаза фарқи.

Шундай қилиб электромеханик тизимнинг қаршилигини ҳар бир частота бўйича Ом қонунига асосан ҳисоблаш мумкин.

$$Z = \frac{E_t}{I_t} = \frac{E_t = E_0 \sin(\omega t)}{I_t = I_0 \sin(\omega t + \varphi)} = Z_0 \frac{\sin(\omega t)}{\sin(\omega t + \varphi)} \quad (4)$$

Натижаларни таҳлил қилиш жараёнида қаршиликларни юқори гармоникалар таъсирида ўзгариши ҳам кўриб чиқилган.

Қуёш фотоэлектрик ва шамол электр станцияларининг чегаравий юқори гармоника қийматлари 1-жадвалда кўрсатилгандек фоизларда берилган. Жадвалда келтирилмаган юқори гармоникаларнинг таъсири “0” га тенг.

1-жадвал

ҚФЭС ва ШЭС юқори гармоникаларининг қийматлари

Гармоника тартиби	2	3	4	5	6	7	11	29
ҚФЭС	0.25	0.3	0.18	0.35	0.1	0.3	0.13	0.15
ШЭС	0.18	0.25	0.2	0.3	0.15	0.25	0.15	0.15

Ўзгармас ток машинаси учун қўлланилган мосламанинг носинусоидаллигини идеаллаштирилган 6-импульсли кўприкли

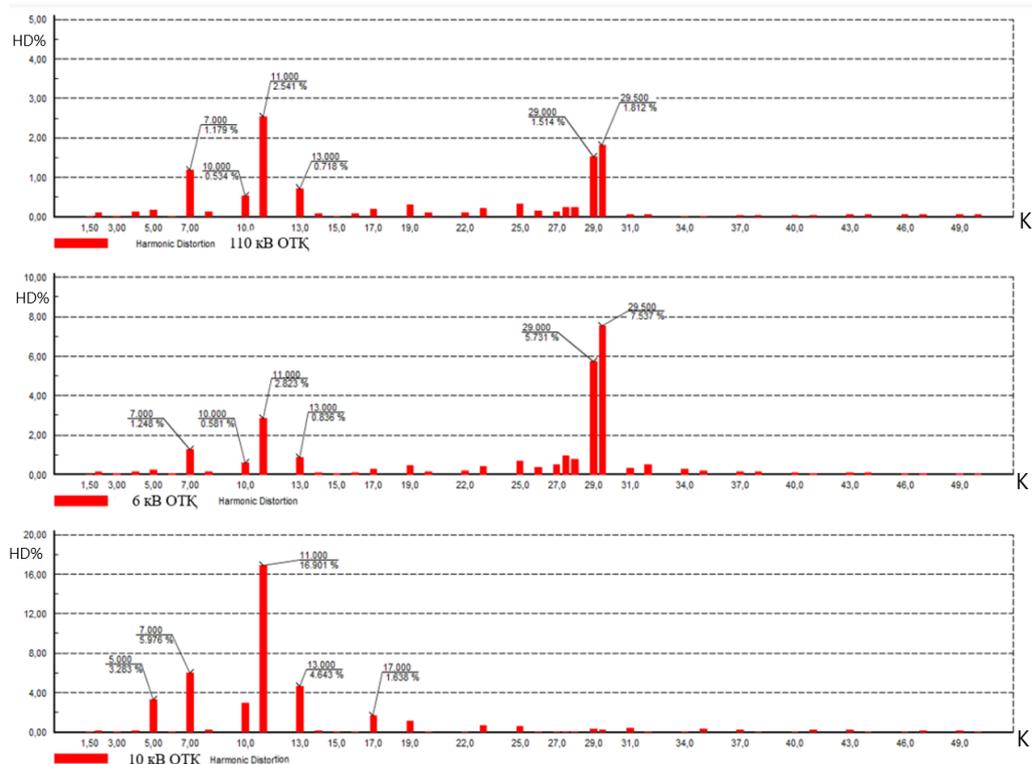
ўзгартиргичнинг юқори гармоника қийматлари олинган ва максимал юқори гармоника тартиби “50” деб белгиланган.

ҚФЭС ва ШЭС орқали ишлаб чиқилган қувват марказий электр тармоқлариги узатилгани учун, подстанциянинг юқори кучланиш очиқ тақсимловчи қурилмасида ҳам носинусоидалликни ҳисобга олиш зарур. 2-жадвалда марказий тармоқнинг тўғри, нол ва тескари кетма-кетлик бўйича кучланиш носинусоидаллиги келтирилган.

2-жадвал

Марказий электр тармоқлари юқори гармоникаларининг қийматлари

Гармоника тартиби	2	3	4	5	6	7	11	29
Тўғри кетма-кетлик			0.001			0.003		
Нол кетма-кетлик		0.003			0.001			
Тескари кетма-кетлик	0.001			0.005			0.004	0.002

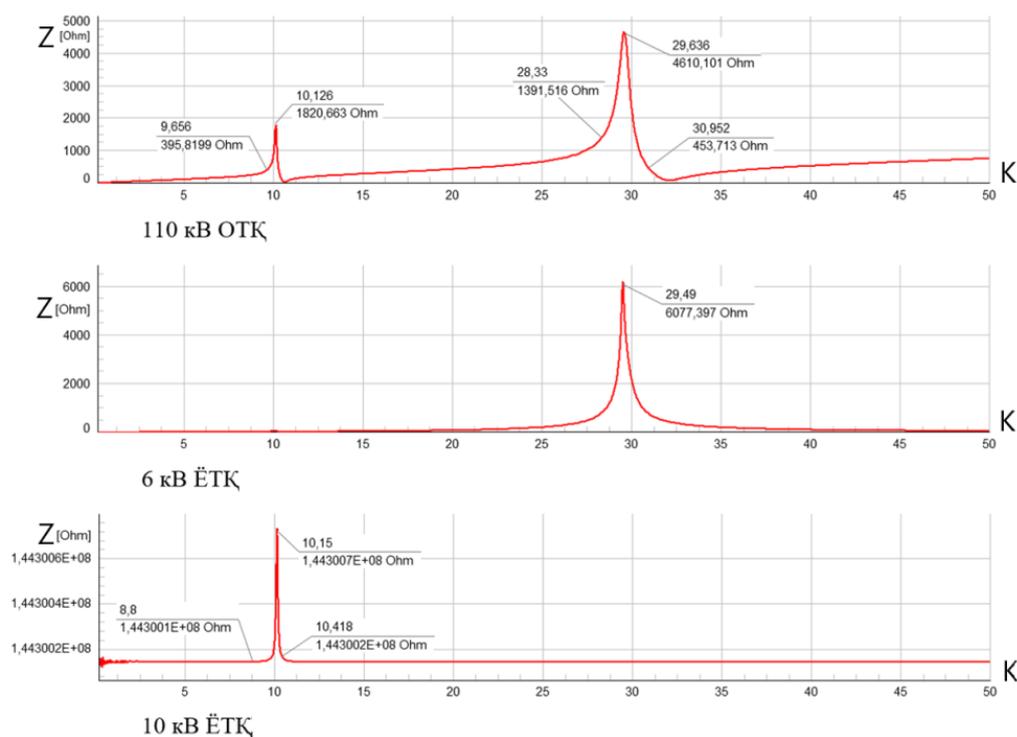


2-расм. 110, 6 ва 10 кВли тақсимловчи қурилмалардаги юқори гармоникалар

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Тақсимловчи қурилмаларда носинусоидаллик коэффициентлари 2500 Гц яъни 50-юқори гармоникагача ҳисоблаб чиқилган. Ўзгартиргич орқали ўзгармас ток машинаси уланган 10 кВ кучланишли ёпиқ тақсимловчи қурилмада 7-юқори гармоника 5,9 %, 11-юқори гармоника 16,9 %, 13-юқори гармоника 4,6 %ни ташкил этди. ҚФЭС ва ШЭС уланган 6 кВ кучланишли ёпиқ тақсимловчи қурилмада 29- ҳамда 29,5-юқори гармоникалар мос равишда 5,7 ва 7,5 % эканлиги аниқланган. Албатта бу кўрсаткичлар марказий электр тармоғига ҳам ўз таъсирини кўрсатиб 110 кВ очик тақсимловчи қурилмада 11-юқори гармоника 2,5 %ни, 29,5-юқори гармоника эса 1,8 %ни ташкил этган (2-расм)

Юқоридаги қийматларни кучланиш ва ток кучи амплитудавий қийматларининг нисбати билан аниқланадиган частотавий характерли қаршилиқ билан ифодаласак яна ҳам аниқроқ қийматларга эга бўламиз (3-расм). 110 кВ ОТҚда частотавий қаршилиқ 11-гармоника атрофида 1,82 кОм гача ва 29-гармоника атрофида 4.61 кОм гача эканлиги аниқланди, бу айнан шу нуқталардаги кучланишнинг амплитудавий қимати кескин ошганлигини англатади. 6 кВ ва 10 кВ ЁТҚлардаги частотавий қаршилиқларнинг йиғиндиси 110 кВ ОТҚда ўз аксини топган.



3-расм. Тақсимлаш электр тармоқларидаги частотавий характерли қаршилиқ қийматлари

**Тадқиқотлар ва фикр мулоҳазалар.** Электр тармоқларидаги юқори гармоникаларнинг чегаравий қийматлари Ҳалқаро электротехник комиссиясининг 2008 йилда чоп этилган IEC-6100-3-6:2008 стандартида белгилаб берилган [5]. Бу стандарт талаби бўйича 110 кВ очиқ тақсимлаш қурилмаларида (ОТҚда) 11- ва 29- юқори гармоникалар чегаравий қийматлардан анча юқори, ҳамда 10 кВ ЁТҚда 7-, 11- ва 13-юқори гармоникалар чегаравий қийматлардан ошиб кетганлиги сабабли филтрлардан фойдаланишга зарур бўлади. 10 кВ ЁТҚда 5- ва 11-юқори гармоникаларга, 6 кВ ЁТҚда 29-юқорига гармоникага қарши филтрлардан фойдаланамиз. Филтрларнинг техник характеристикалари 3-жадвалда келтирилган.

3-жадвал

Тақсимловчи қурилмаларга уланган филтрларнинг характеристикалари

Филтр тури	Қуввати, МВАР	Сўндириш частотаси, Гц	Номинал кучланиши, кВ
RLC Single tuned 29th	2	1450	6
RLC Single tuned 5th	0.75	250	10
RLS HP C-type 11th	2.5	550	10

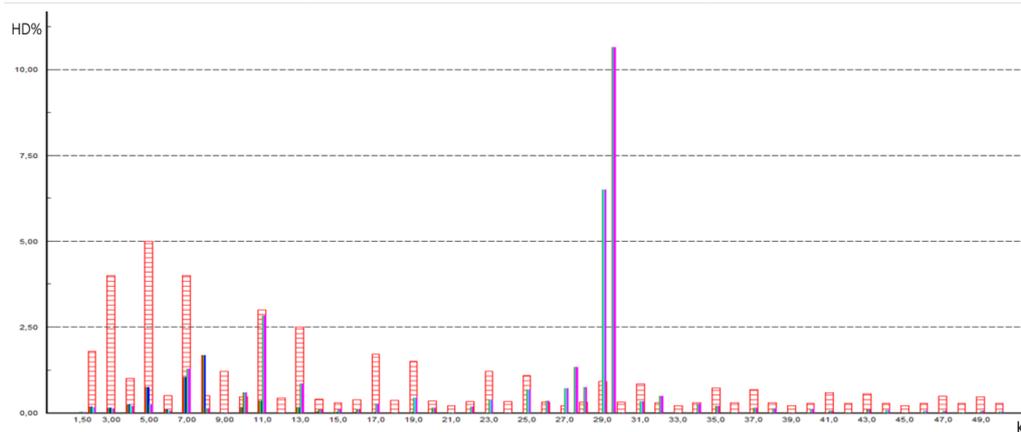
4-расмда кўрсатилган таҳлил натижалари ўзгартиргич орқали ўзгармас ток машинаси уланган 10 кВ ёпиқ тақсимлаш қурилмаларига (ЁТҚга) тегишли юқори гармоника сигналларини филтр ўрнатилгандан олдинги ва кейинги ҳолатини ифодалайди. 5-юқори гармоника сигнали 3,3 % дан 0,4 % га, 7-юқори гармоника сигнали 5,9 % дан 1,8 % га, 10-юқори гармоника сигнали 2,87 % дан 0,2 % га, 11-юқори гармоника сигнали 16,9 % дан 1,5 % га ва 13-юқори гармоника сигнали 4,6 % дан 1,4 % га пасайганлиги, ҳамда барча юқори гармоника сигналлари талаб даражасида эканлиги кузатиш мумкин.



4-расм. 10 кВ ЁТҚдаги юқори гармоника сигналларини ўзгариши

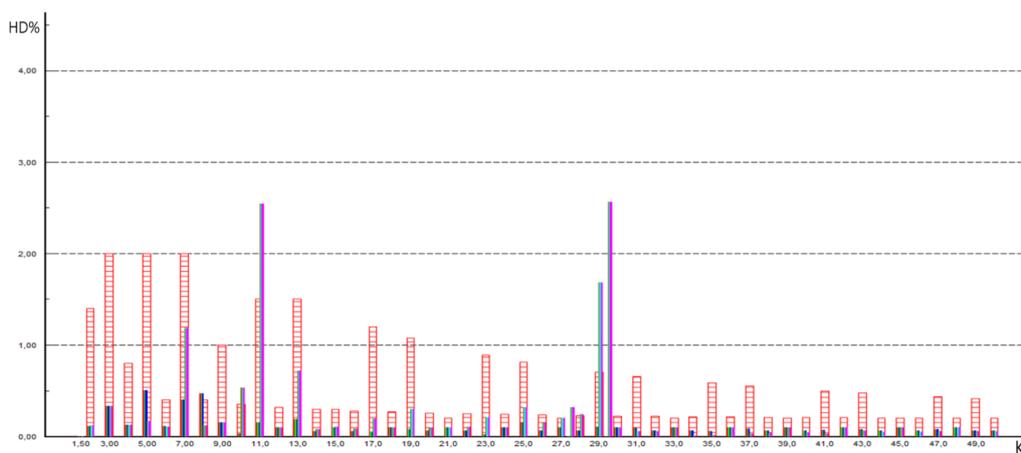
## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ҚФЭС ва ШЭС уланган 6 кВ ЁТҚда 29-юқори гармоника сигнали 6,5% ни ташкил этди ва “RLC Single tuned 29<sup>th</sup>” филтър ўрнатилгандан сўнг 0,1 % га тенг бўлган. Бутун сонни ташкил қилмайдиган 29,5- юқори гармоника (1475 Гц) 10,6 % ни ташкил этиб, “RLC Single tuned 29<sup>th</sup>” филтър ўрнатилиши натижасида “0” қийматга яқинлашиб деярли бартараф этилган (5-расм).



5-расм. 6 кВ ЁТҚдаги юқори гармоника сигналларининг ўзгариши

6 кВ ва 10 кВ ЁТҚларда ортиқча носинусоидал сигналлар бартараф этилгандан сўнг, 110 кВ ОТҚдаги носинусоидал сигналлар талаб даражасида эканлиги 6-расмда келтирилган. Бунда частотаси 500 Гц, 550 Гц, 1450Гц ва 1475Гц бўлган сигналлар 2,5% дан 0,1% гача пасайганлиги аниқланган.



6-расм. 110 кВ ОТҚдаги юқори гармоника сигналларининг ўзгариши

**Хулосалар.** Демак, тақсимлаш электр тармоқларида турли хилдаги нагрузкаларнинг уланиши, ҳамда қўшимча генерация ускуналари жумладан, қуёш фотоэлектрик станциялари, шамол электр станциялари, дизел электр станциялари, электр энергиясини аккумуляцияловчи системалар носинусоидал сигналларнинг манъбаси ҳисобланади. Бу ҳолатларни ўз вақтида аниқлаш, таҳлил этиш ва аниқ ҳисоблар асосида электр энергияси сифатини яхшилаш муҳим вазифа бўлиб қолаверади. Тақсимлаш электр тармоғига уланадиган барча ўрта қувватли истеъмолчиларнинг юқори гармоника сигналлари назорат қилиниб, зарурат бўлса қўшимча филтрлардан фойдаланишни жорий қилиш лозим.

#### Адабиёт

1. <https://het.uz/oz/pages/view/strategiya> (17.06.2022).
2. L. Li, M. Ma, B. Xu, Z. Liu, Y. Li, H. Yang, "Power-quality of distribution networks with high penetrated intermittent distributed generation: A survey," 2014 International Conference on Power System Technology, pp.2933-2939, doi:10.1109/POWERCON.2014.6993958.
3. Pourarab, Morteza Hossein, Saeed Alishahi and Mohsen Sadeghi "Analysis of harmonic distortion in distribution networks injected by nonlinear loads" International conference and exhibition on electricity distribution (CIRED) 2011.
4. V. Rani, O.P. Mahela, H. Doraya, "Power Quality Improvement in the Distribution Network with Solar Energy Penetration Using Distribution Static Compensator" 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, pp.148-154, doi:10.1109/GUCON.2018.8674983.
5. IEC TR 61000-3-6:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems.
6. Муратов Х.М., Тураев А.И., Тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясидаги носинусоидаллик коэффициентини баҳолаш, //ФарПИИ Илмий техника журнали, 2020 йил, Том-24, №5, Б. 79-87.
7. <https://www.gamry.com/application-notes/EIS/total-harmonic-istortion/> (17.06.2022).
8. <https://books.google.co.uz/books?id=CmwtEAAAQBAJ&pg=PA8&dq=Z> (17.06.2022).
9. Turaev A., Muratov Kh., Tursunov O., Comprehensive analysis of the change of pop solar power station output parameters in relation to ambient temperature // IOP Science // Earth Environ. Sci. 614 012003, Volume 614, 2020.

10. Muratov X.M, Turaev A.I., “Analysis of voltage and frequency of the grid-connected photovoltaic system”// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol. 7, Issue 8, July 2020, pp.14614-14618.

*Тошкент ахборот технологиялари университети ва Жиззах  
политехника институти томонидан тақдим этилган*

УДК 658.012.011.56

**СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Г.К. Ишанходжаев, М.Б. Султанов**

*Мақолада мавжуд электроэнергетика тизимини фаолият юритишининг тизимли таҳлили амалга оширилган. Олиб борилган тизимли таҳлил натижаларига электроэнергетика тизимини фаолият юритиш жараёнларидаги муаммо ва камчиликлар аниқланган ва уларни бартараф этиш учун интеллектуал ахборот электроэнергетика тизимини қўллаш таклиф қилинган. Ушбу ишда яратиш ва қўллашга тамойил ва талаблар шакллантирилган, ҳамда нимтизимлар таъминоти, маълумотлар базаси, билимлар базаси, функционал блоклар ва масалаларни ўз таркибига олувчи интеллектуал ахборот электроэнергетика тизимининг тузилмаси ишлаб чиқилган. Тизимли таҳлил усули ва маълумотларни қайта ишлашдан фойдаланган ҳолда интеллектуал ахборот электроэнергетика тизими ахборот таъминоти ва умумлаштирилган ахборот моделининг тузилмавий чизмаси ишлаб чиқилган. Шунингдек, ушбу мақолада бошқарув объектининг мавжуд барча имкониятларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш учун умумлаштирилган мақсадалари ҳамда интеллектуал ахборот электроэнергетика тизимида қарор қабул қилишни шакллантириш ва қабул қилишидаги асосий вазифалари келтирилган.*

*В статье осуществлен системный анализ функционирования существующих электроэнергетических систем. На основании результатов системного анализа выявлены проблемы и недостатки процессов функционирования электроэнергетических систем, для устранения которых предложено применение интеллектуальной информационной электроэнергетической системы. В данной работе сформированы принципы и требования к их созданию и применению, а также разработана структура интеллектуальной информационной электроэнергетической системы, которая включает в свой состав подсистемы обеспечения, базы данных, знаний и функциональные блоки. С использованием методов системного анализа и обработки информации разработаны структурная схема информационного обеспечения и обобщенная информационная модель интеллектуальных информационных электроэнергетических систем. В статье также приведены обобщенные цели повышения эффективности использования потенциальных возможностей объекта управления, ос-*

*новые функции при формировании и принятии управляющих решений в интеллектуальных информационных электроэнергетических систем.*

*The article carried out a systematic analysis of the functioning of existing electric power systems. Based on the results of the system analysis, problems and shortcomings of the processes of functioning of electric power systems were identified, for the elimination of which the use of an intelligent information electric power system was proposed. In this work, the principles and requirements for the creation and application are formed, and the structure of the intelligent information electric power system is developed, which includes the subsystem of support, databases, knowledge and functional blocks, and tasks. Using the methods of system analysis and information processing, a block diagram of information support and a generalized information model of intelligent information electric power systems have been developed. This article also provides generalized goals for improving the efficiency of using the potential capabilities of the control object, the main functions in the formation and adoption of control decisions in intelligent information electric power systems.*

**Введение.** В настоящее время во всех развитых странах мира уделяется очень большое внимание системам электроэнергетики, использующим самое современное оборудование и технологии, средства измерения и управления, позволяющие на более высоком уровне обеспечить надежность и экономичность функционирования электроэнергетических систем.

Для эффективного и надежного функционирования электроэнергетических объектов (энергообъединений, энергосистем, сетевых и генерирующих предприятий) необходимо создание и внедрение современных информационных систем управления. В течение последней четверти века отечественные информационных систем прошли прогрессивную эволюцию, как в части разработки теоретических принципов их построения, так и в области внедрения этих систем. Значительный вклад в эту нелегкую работу внесли В.А. Баринов [1], П.И. Бартоломей, Ф.Д. Гольденберг [3], А.Ф. Бондаренко, В.В. Бушуев, В.П. Васин, В.А. Веников, Н.И. Воропай, В.Э. Воротницкий, А.З. Гамм, А.Ф. Дьяков [4], Ю.С. Железко, А.Г. Журавлев, Н.И. Зеленохат, Густав Олссон, Джангуидо Пиани [5], В.И. Идельчик, Г.Л. Кемельмахер, И.Н. Колосок [6], В.Г. Китушин, Л.А. Кошечев, Л.А. Крумм, Ю.Н. Кучеров, Ю.Я. Любарский [7, 8, 9], М.И. Лондер, К.Г. Митюшкин, В.Л. Нестеренко, В.Г. Орнов, Ю.И. Моржин [9], М.А. Рабинович, С.И. Паламарчук, В.И. Розанов, Ю.Н. Руденко, В.А. Семенов, С.С. Смирнов, Ю.А. Тихонов, Ю.А. Фокин, Е.В. Цветков, М.И. Лондер, А.П. Чепкасов [10] и другие.

В настоящее время, с развитием высокопроизводительных средств вычислительной техники, информационные системы (ИС) являются эф-

фактивным средством решения системных проблем. Вопросам применения ИС в системном анализе посвящены работы М.К. Чиркова, С.П. Маслова, В.Н. Петрова, Д. Марка, К. Мак Гоуэна. Вопросы разработки информационных систем различного назначения методами системного анализа с применением современных объектно-ориентированных языков программирования и технологий баз данных широко освещены в трудах В.П. Агальцова[11], К.Ю. Богачева[12], В.И. Васильева, Б.Г. Ильясова[13], Э. Йордана [14], Д.М. Мутушева [15] и других. В меньшей степени это коснулось проблем создания адаптированных методик разработки специальных информационных систем для электроэнергетических комплексов. Отдельные аспекты, посвященные методикам системного анализа и принятию решений по созданию и развертыванию информационных систем мониторинга параметров электроэнергетических комплексов для технологий интеллектуальной сети рассмотрены в работах С.В. Родыгиной [16], В.А. Камаева[17], А.И. Зайцева[18], И.В. Блинова[19], Б.Б. Кобец, И.О. Волковой[20] и др. По данному направлению также существует определенное количество нормативно-правовых документов как международных, так и отечественных, частично описывающих направление развития стандартов в области интеллектуальной сети.

Существующие электроэнергетические системы функционирующие достаточно давно, нуждается в серьезной модернизации основных фондов и обновлении физически и морально устаревшего оборудования, так и в применении новых технологий и оборудования, информационно - диагностических систем. Реструктуризация электроэнергетики, рыночные условия функционирования электроэнергетики вносят свои особенности и проблемы. Для решения этих проблем требуется создание и применение интеллектуальной информационной электроэнергетической системы (ИИЭС), обеспечивающей снижение издержек при производстве и передаче электроэнергии, снижение уровня потерь при транспорте тепловой и электрической энергии, оптимизация величины и размещения резервных мощностей. Применение ИИЭС в сфере энергетики и реформирование национальной энергетики ставят новые важные задачи развития ЕЭС республики. Модернизация управления энергетикой приведет к финансовой самостоятельности топливно-энергетических комплексов, которая обеспечивается денежными средствами, получаемыми за производство, транспортировку энергии. При увеличении числа предприятий топливно-энергетических комплексов и уменьшении размера каждого в отдельности, по сравнению с дореформенными вертикально-интегрированными предприятиями топливно-энергетических комплексов, существенно возрастают риски и значимость управленческих решений. Ответственность предприятий топливно-энергетических комплексов за собственные потребление энергии повышает значимость вопросов энергосбережения,

снижения сверхнормативных потерь энергии и повышения качества измерительных систем учета энергии. Модернизация оборудования и совершенствование информационных технологий требуют более сосредоточенного внимания к вопросам формирования научно-технической политики предприятия топливно-энергетических комплексов [21, 22].

**Основная часть.** Построение структуры ИИЭС связано в первую очередь с построением модели системы, в которой должны быть определены как традиционные элементы системы управления, так и модели обработки знаний, реализуемые интеллектуальной системой. В интеллектуальной системе управления новыми элементами, по сравнению с традиционной системой управления, являются все интеллектуальные преобразования или элементы управления знаниями, которые связаны с реализацией искусственного интеллекта, т.е. с использованием технологий экспертных систем, базы данных, целей и знаний, принятия решений, ассоциативной памяти, нечеткой логики, семиотических сетей, управления структурной динамикой и т.п.

Рассмотрим подробнее структурную схему ИИЭС, которая представлена в рис.1. В этом рисунке входом системы является блок ввода информации (БВИ), предназначенный для ввода числовых данных, текста, речи. Информация на вход системы может поступать (в зависимости от решаемой задачи) от пользователя, внешней среды, объекта управления. Далее входная информация поступает сразу в базу данных (БД) - совокупность таблиц, хранящих, как правило, символьную и числовую информацию об объектах предметной области или блок формирования управляющей информации (БФУИ) [23].

БФУИ используя информации базы данных, базы целей (БЦ - это множество локальных целей системы, представляющих собой совокупность знаний, активизированных в конкретный момент и в конкретной ситуации для достижения глобальной цели) и базы знаний (БЗ - совокупность знаний, например, система продукционных правил, о закономерностях предметной области) обеспечивает нахождение решений для нечетко формализованных задач ИИЭС, а также осуществляет планирование действий и формирование управляющей информации для пользователя или объекта управления на основе БД, БЗ, БЦ и с использованием блока алгоритмических методов решений (БАМР) содержит алгоритмы, модели и программные модули решения задач предметной области. Блок усвоения знаний (БУЗ) осуществляет анализ динамических знаний с целью их усвоения и сохранения в БЗ. Блок объяснения решений (БОР) интерпретирует пользователю последовательность логического вывода, примененную для достижения текущего результата.

На выходе системы блок логического вывода информации (БЛВИ) обеспечивает вывод данных, текста, речи, изображений и другие результаты логического вывода пользователю и/или объекту управления (ОУ).

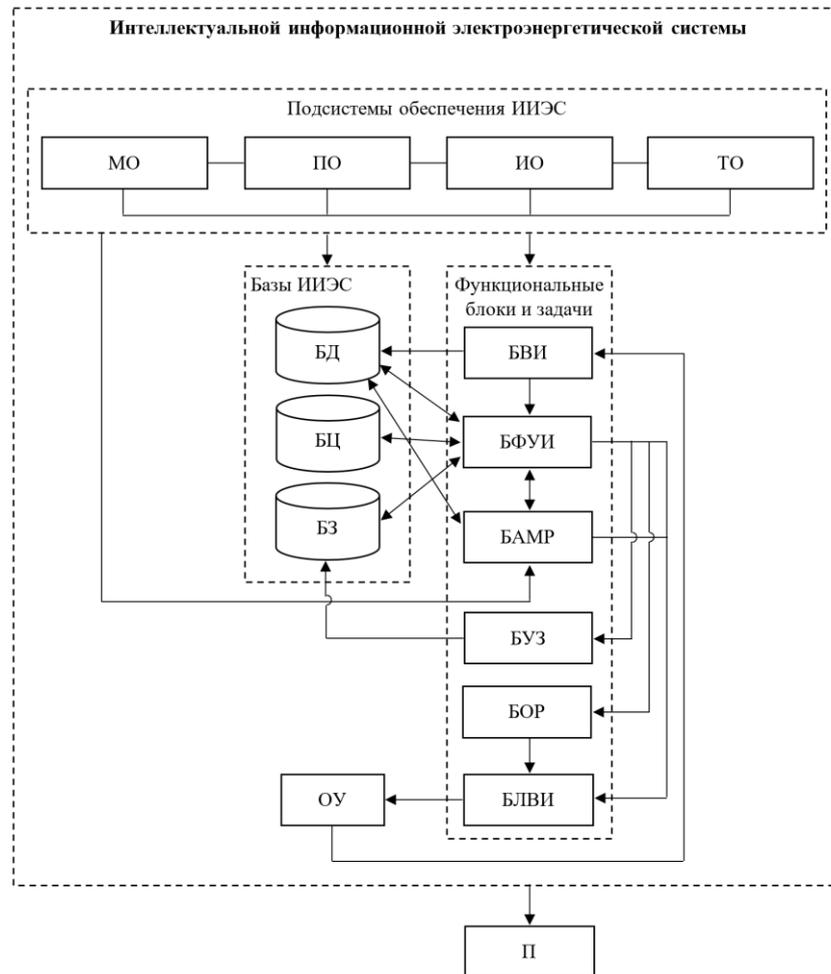


Рис. 1. Структурная схема ИИЭС:

МО- математическое обеспечение; ПО- программное обеспечение; ИО- информационное обеспечение; ТО- техническое обеспечение; БД-база данных; БЦ- базы целей; БЗ-база знаний; БВИ- блок ввода информации; БФУИ- блок формирования управляющей информации; БАМР- блок алгоритмических методов решений; БУЗ- блок усвоения знаний; БОР- блок объяснения решений; БЛВИ- блок логического вывода информации; ОУ- объект управления; П-пользователь

Контур обратной связи позволяет реализовать свойства адаптивности и обучения ИИЭС. На этапе проектирования специалисты по знаниям наполняют базу знаний и базу целей, а программисты разрабатывают программы модули на основе алгоритмических методов решений задач. База данных создается и пополняется, как правило, в процессе эксплуатации ИИЭС. Динамика работы ИИЭС может быть описана следующим

образом. При поступлении информации на внешнем языке системы на вход БВИ производится ее интерпретация во внутреннее представление для работы с символьной моделью системы. БФУИ выбирает из БЗ множество правил, активизированных поступившей входной информацией, и помещает эти правила в БЦ как текущие цели системы. Далее БФУИ по заданной стратегии, например, стратегии максимальной достоверности, выбирает правило из БЦ и пытается доопределить переменные модели внешнего мира и исполнительной системы с объектом управления. На основе этого активизируются новые правила БЗ и начинается логический вывод в системе продукций (правил). Эта процедура заканчивается, как только решение будет найдено, либо когда будет исчерпана БЦ. Найденное решение из внутреннего представления интерпретируется БЛВИ во внешний язык подсистемы управления низшего уровня и ОУ [24, 25].

В современных условиях при принятии управленческих решений возрастает роль прогнозной информации. Многокритериальный характер задач принятия решений, отсутствие строгой математической модели, описывающей поведение ЕЭС во временном разрезе, отсутствие полного объема информации и возможная ее недостоверность приводят к тому, что управленческие решения часто основываются на опыте и интуиции руководителя. Необходим инструмент, позволяющий повысить объективность и качество принимаемых решений, использующий как технические и экономические показатели ЕЭС, так и опыт квалифицированных специалистов. В информационном плане ЕЭС можно представить как многоуровневую, многослойную структуру достаточно большой размерности со сложной многосвязной системой отношений. Для решения задач функционирования и развития ЕЭС необходима разработка и внедрение адекватной информационной модели. Такая модель должна быть построена на основе многомерной, иерархичной информационной системы, состоящей из подсистем, объединенных множеством функциональных связей. Именно такие связи позволяют оценить функциональное состояние подсистем и системы в целом. В свою очередь, функциональное состояние ЕЭС характеризуется следующими показателями: техническое состояние энергооборудования, надежность энероснабжения, энергоэффективность, экологичность, финансовая устойчивость и т.п.

В отечественной и зарубежной практике предпринимались попытки разрешить лишь отдельные аспекты вопросов создания комплексной информационной модели функционирования и развития ЕЭС. В сложившейся ситуации при отсутствии единого инструментария невозможно решение существующих задач управления ЕЭС. Именно поэтому принципиально необходимо создание инструментария мониторинга энергооборудования и оценки функционального состояния энергооборудования.

Информационная система, обеспечивающая поддержку принятия

решений по развитию и функционированию ЕЭС, должна удовлетворять такому важному требованию, как доступность и достоверность используемой информации. Это означает, что используемые модели и методы принятия решений должны быть информационно обеспечены. Требование информационной обеспеченности существенно влияет на формирование математических моделей и методов, используемых для решения энергетических задач. Часть необходимой информации может отсутствовать по объективным причинам, связанным с невозможностью ее получения (отсутствие измерительных систем, отсутствие каналов связи и пр.). Кроме того, отсутствие информации связано с недостатками информационной системы предприятия топливно-энергетических комплексов, разрозненностью ее информационных подсистем, отсутствием обмена между базами данных и программными комплексами. (рис.2).

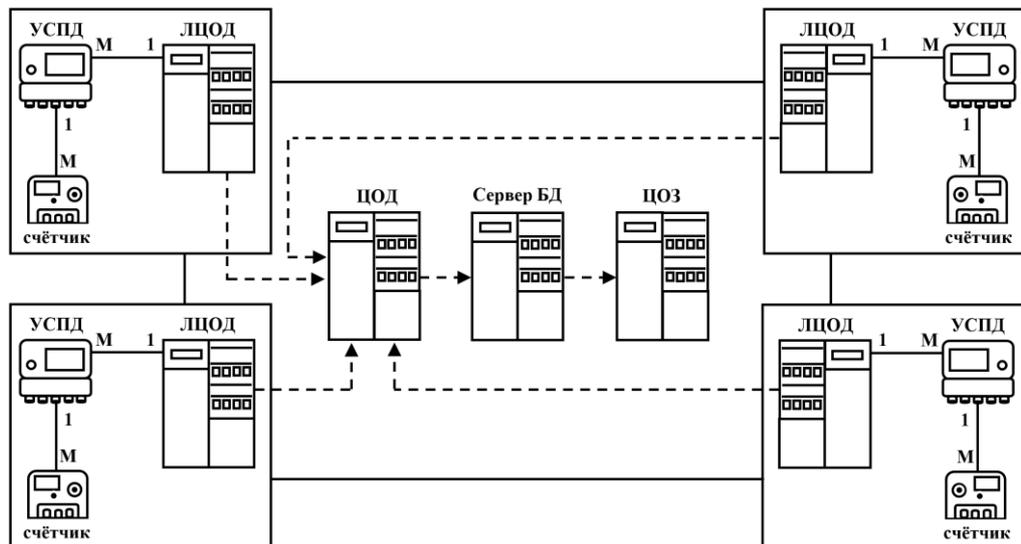


Рис.2. Обмен информацией в ИИЭС:

УСПД- устройство сбора и передачи данных; ЛЦОД- локальный центр обработки данных; ЦОД- центр обработки данных; ЦОЗ- центр обработки запросов; БД-база данных

Повышение качества системы принятия решений связано как с совершенствованием ее информационной обеспеченности, так и с развитием математических методов принятия решений [27, 28].

Информационное обеспечение задач синтеза и эксплуатации ЕЭС предложено рассматривать, опираясь на информационную модель. Современные требования представления и использования информации в ИИЭС делают целесообразным использование новой информационной технологии - так называемых СИМ - систем. Обобщенная информацион-

ная модель (Common Information Model - CIM) - далее CIM - представляет собой некоторую концептуальную модель для описания различных предметов (субъектов) окружающего мира, используя объектно-ориентированную терминологию. Если до последних лет понятия объектно-ориентированной технологии относились к языкам программирования (C++, Java и др.), то CIM расширяет эти понятия до описания данных, сознательно используя такую терминологию объектно-ориентированного программирования как классы, свойства, методы и ассоциации. По существу, CIM представляет собой информационную модель, задачей которой является единое унифицированное представление структур данных, независимо от источника происхождения данных и целей их использования (рис.3).

Как уже отмечалось CIM - модель использует стандартное объектно-ориентированное визуальное представление. Основными элементами CIM -модели являются классы, ассоциации и пакеты. Класс является основным элементом CIM-модели. Класс представляет собой абстрактное описание некоторой объективно существующей сущности электроэнергетической системы. Примерами классов являются «трансформатор», «нагрузка», «линия переменного тока», «линия постоянного тока», «измерение» и т.д. Принципиальное отличие понятия класс в CIM от объектно-ориентированных языков программирования состоит в том, что в CIM класс описывает только интерфейс и полностью независим как от платформы вычислительной техники, так и от реализации. Основными свойствами класса являются инкапсуляция, полиморфизм и ассоциации. Инкапсуляция означает сосредоточие всех свойств класса как его атрибутов внутри описания класса. Полиморфизм означает, что одно и тоже символьное имя атрибута может использоваться в разных классах, но имя класса должно быть уникальным.

Ассоциация означает возможность связи классов между собой, то есть любая пара классов может быть связана ассоциацией, которая в свою очередь также является классом. Ассоциации представляют семантическую связь между двумя классами, с помощью которой один класс может получить информацию об атрибутах и ассоциациях другого класса. Ассоциация имеет два конца ассоциации, каждый из которых присоединяется к одному из классов ассоциации. Конец ассоциации может быть помечен меткой, называемой «именем роли» или «ролью». В CIM модели имя роли почти всегда содержит имя класса, а в ряде случаев просто повторяет его. Конец ассоциации (роль) также обладает кратностью, которая показывает, сколько объектов класса может участвовать в данной ассоциации [26].

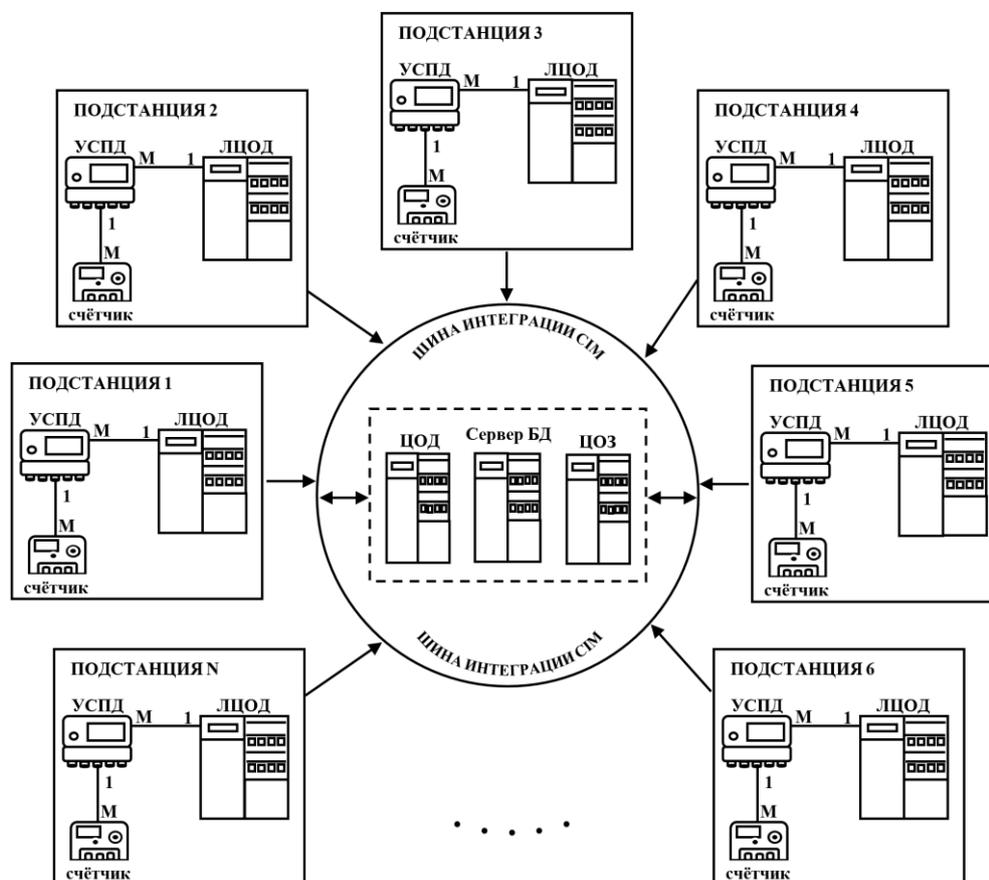


Рис.3. Схема связей при применении СИМ - модели в ИИЭС:  
 УСПД- устройство сбора и передачи данных; ЛЦОД- локальный центр обработки данных; ЦОД- центр обработки данных; ЦОЗ- центр обработки запросов; БД-база данных; СИМ- common information model

В данной работе: - рассмотрен новый интеграционный механизм для организации информационного взаимодействия разнородных информационных систем ЕЭС - так называемые СИМ-системы; - исследованы преимущества от использования таких систем; - проанализирована методология построения СИМ-моделей применительно к энергетическим приложениям, а также интерфейсы доступа к данным в СИМ-системах.

В дальнейшем будут проводиться работы по адаптации международных стандартов по СИМ-системам к реальной ЕЭС, будут разработаны ряд методических документов, определяющих возможность, правила и технику построения информационных моделей, впервые СИМ для интерактивного создания информационных моделей.

В общем случае, ИИЭС можно рассматривать в виде совокупности

взаимосвязанных управленческих процессов и объектов. Обобщенной целью ИИЭС является повышение эффективности использования потенциальных возможностей объекта управления. Таким образом, можно выделить ряд целей: - предоставление лицу, принимающему решение (ЛПР), релевантных данных для принятия решений; - ускорение выполнения операций по сбору и обработке данных; - снижение количества решений, которые должно принимать ЛПР; - повышение оперативности управления, уровня контроля и исполнительской дисциплины; - снижение затрат ЛПР на выполнение вспомогательных процессов; - повышение степени обоснованности принимаемых решений.

Основные функции ИИЭС при формировании и принятии управляющих решений: - функции обработки информации (вычислительные функции) - осуществляют учет, контроль, хранение, поиск, отображение, тиражирование, преобразование формы информации; - функции обмена (передачи) информации - связаны с доведением выработанных управляющих воздействий до ОУ и обменом информацией с ЛПР; - функции принятия решения (преобразование содержания информации) - создание новой информации в ходе анализа, прогнозирования или оперативного управления объектом.

Основные этапы процесса принятия решения согласно теории принятия решения декомпозируются на следующие этапы:

- определение цели решения возникшей проблемы;
- выбор наиболее предпочтительного варианта действий, ведущего к достижению цели;
- реализация решения (выбранного варианта действия).

Определение цели решения возникшей проблемы реализуется в блоке интеллектуального преобразователя, получающего и обрабатывающего информацию о внешней среде с системы датчиков. В условиях конфликта цель может зависеть от имеющихся ресурсов и факторов, которые образуют проблемную ситуацию, т.е. ситуацию принятия решения в условиях конфликта. Способ действия для управления объектом в процессе принятия решения называют стратегиями, а результат, к которому может привести выбранная стратегия, называют исходом. Условия конфликта порождают факторы, воздействующие на стратегию и соответственно на управление, реализуемое интеллектуальной системой. В зависимости от происхождения неопределенные факторы делятся на случайные и неопределенные нестохастического характера, состоящие из природных и стратегических.

Математическая модель принятия решений формируется с учетом всех факторов и имеющейся о них информации. Упрощенная модель принятия решения в этом случае может быть описана следующей системой:

$$Pr = \langle I, M, U, L, J, O \rangle; \quad (1)$$

где  $I$  - множество исходов (результатов);  $M$  - модель предпочтений исходов (принимаемых решений);  $U$  - множество стратегий принятия решений,  $L$  - множество возможных значений неопределенных факторов;  $J$  - функция, определяющая взаимосвязь неопределенного фактора и исход, получаемый в результате принятого решения;  $O$  - вся остальная информация о принимаемом решении в формализованном виде (сведения о конфликте, предпочтения других лиц, участвующих в конфликте и др.).

Удобство использования модели (1) в условиях конфликта определяется тем положением, что она позволяет просто и наглядно связать значения неопределенных факторов и стратегий с управлением, реализуемым интеллектуальной системой. Множества  $I$ ,  $M$ ,  $U$ ,  $L$  и функция  $J$  формально задают компоненты принимаемого решения и определяют связь с системой управления через понятия критерия и показателей эффективности системы. В теории управления наиболее часто отношения предпочтения описываются с помощью специальных функций показателей качества и критериев. Под показателем качества или эффективности системы управления понимается мера степени соответствия реального результата управления требуемому для достижения цели и получения оценок или измерений интенсивности исходов. Под критерием понимается правило, позволяющее сопоставлять принимаемые решения и стратегии с точки зрения выбранных показателей оценок исходов. Критерии вводятся на основе определенной концепции рационального поведения интеллектуальной системы: пригодности, оптимизации и адаптивности [29, 30].

**Выводы.** Для решения выше указанных задач необходимо прежде всего выполнить следующие работы:

1. Создать систему отраслевых стандартов для построения единых информационных моделей как ЕЭС в целом, так и отдельных ее элементов.
2. Создать систему отраслевых стандартов, описывающих единую систему интерфейсов прикладного уровня и обеспечивающих интеграцию приложений.
3. Создать в ИИЭС сетевую среду общей информационной шины, поддерживающую единую информационную модель, ориентированную на технологию WEB - сервисов и позволяющую создавать прикладные гетерогенные системы на основе одних и тех же платформенно-независимых сетевых технологий.
4. Создать необходимую организационную «вертикальную» структуру ИИЭС, поддерживающую единство информационных моделей и моделей интерфейса для всех участников рынка.

**Литература**

1. Баринов В.А., Гамм А.З., Кучеров Ю.Н. и др. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике. М.: Издательство МЭИ, 2000.
2. Воротницкий В.Э. О концепции и практике использования геоинформационных технологий в электрических сетях // Электрические станции, № 8, 2004. - С.68-75.
3. Гольденберг Ф.Д. Новые технологии в диспетчерском управлении энергосистемой Из раиля // В сборн. «Управление энергетическими системами - новые технологии и рынок», Сыктывкар 2004. - С. 123-130.
4. Дьяков А.Ф., Любарский Ю.Я., Орнов В.Г., Семенов В.А., Цветков Е.В. Интеллектуальные системы для оперативного управления в энергообъединениях.-М.: Изд-во МЭИ, 1995. - 236 с.
5. Густав Олссон, Джангуидо Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления. - СПб.: Невский диалект, 2001. - 557с.
6. Колосок И.Н. Современные направления в области развития методов оценивания состояния ЭЭС и их реализации при оценивании состояния по контрольным уравнениям. В сборн. «Управление энергетическими системами - новые технологии и рынок», Сыктыв кар 2004,- С. 23- 38.
7. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы.- М.: Наука, Гл.ред.физ.-мат. л- ры (Проблемы искусственного интеллекта), 1990. - 232 с.
8. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. Методическая разработ ка.- М.: ИПКГосслужбы, 2000.
9. Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. Концепция «интеллектуальных» оперативно информационных комплексов для АСДУ энергосистем // Сборник «Инновации в энергетических технологиях», изд-во «Агро - Принт», М.: 2002. - С. 16-22.
10. Лондер М.И., Чепкасов А.П. Концепция создания единой информационной среды интегрированной системы управления электрическими сетями России. // Вест ник ВНИИЭ - 2004. - С. 198-203.
11. Агальцов В.П. Базы данных. В 2-х кн. Кн. 2. Распределенные и удаленные базы данных: Учебник / - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2019. - 272 с.
12. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования / К.Ю.Богачев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. – 342 с.
13. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления: теория и практика. М.: Радиотехника, 2019. -392 с.
14. Йордан Э. Объектно-ориентированный анализ и проектирование систем. – М.: ЛОРИ, 2017. – 262 с.

15. Мутушев Д.М. Методы обеспечения доступа к объектно-ориентированным базам данных на основе стандартов реляционных систем. Автореферат дис. ... канд. физ. - мат. наук. - М., 1998.
16. Родыгина С.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки промышленных предприятий с применением интеллектуальных информационных технологий: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.14.02 / ФГОУ ВПО НГАСУ. Новосибирск, 2010. -26 с.
17. Камаев В.А. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 227-231.
18. Зайцев А.И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции Smart Grid // Электротехнические комплексы и системы управления, №1 2013. – С.71 – 76.
19. Блинов И.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко А.В., Киселева А.Г., Лукьяненко Л.Н., Осипенко Е.С., Павловский В.В., Парус Е.В., Сопель М.Ф., Стелюк А.О., Танкевич С.Е. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы: Под общ. ред. акад. НАН Украины / Институт электродинамики НАН Украины. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.
20. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. - 208 с.
21. Ishankhodjaev G.K., Sultanov M.B, Mirzaakhmedov D.M. Azimov D.T. Optimization of information processes of multilevel intelligent systems // CMSCDE 2021: 1st International workshop on Communication management, Soft Computing and Digital Economy December 15-16, 2021.
22. Ishankhodjayev G.K., Sultanov M.B., Sultanov J. Development of an algorithm for optimizing energy-saving management processes in intelligent energy systems // International conference on information science and communications technologies (ICISCT 2021): applications, trends and opportunities November 3-5, 2021.
23. Ишанходжаев Г.К., Султанов М.Б. Концепция создания интеллектуальных энергетических систем / «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы». Сборник материалов труды международной конференции. 24-25 сентября 2021 г. – Т.: 155-160 б.
24. Ишанходжаев Г.К., Султанов М.Б., Мирзаахмедов Д.М., Нурмамедов Б.Б. Модели и алгоритмы информационной системы энергетического менеджмента / Монография, Ташкент -2021., - 278 С.
25. Ишанходжаев Г.К. Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в многоуровневых, распределенных системах «Smart Grid» / Монография, Ташкент - 2020., - 146 С.

26. Ишанходжаев Г.К., Набиев О.М. Методы повышения эффективности интеллектуальных электро энергетических систем Smart Grid// Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении. - Самарканд, 5-6 сентября 2019. -С. 126-132.

27. Ишанходжаев Г.К., Набиев О.М. Методы повышения эффективности интеллектуальных электро энергетических систем Smart Grid// Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении. - Самарканд, 5-6 сентября 2019. -С. 126-132.

28. Султанов М.Б., Ишанходжаев Г.К. Разработка алгоритма постоянного улучшения процессов управления энергосбережением в электроэнергетических системах «Smart grid» // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. № 3-4. -Ташкент, 2018. -С.45-50.

29. Sultanov M.B. Models and algorithms of the optimum solution of the problems of the energy management system // «European science review». Volume 5-6. - Austria, June 2018. -P. 347-352.

30. Султанов М.Б. Методы создания интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений // Сборник материалов, Всероссийской специализированной научно-практической конференции молодых специалистов. Современные технологии в энергетике. - Москва, 2018. -С. 15-21.

*Представлено Институтом проблем энергетики  
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК 621.312

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б.М. Пулатов, А.Э.Шаназаров

*Мақолада генетик алгоритмлардан фойдаланишга асосланган оптималлаштириш масалалари кўриб чиқилган. Бугунги кунга келиб, турли хил масалаларини ҳал қилиш учун генетик алгоритмлардан фойдаланилади. Бу энг қисқа йўлларни қидириш, яқинлаштириш, маълумотларни филтрлаш ва бошқаларни ўз ичига олади. Хусусан, энергетика тизимларининг ҳолатларини оптималлаштириш масалаларини ҳал қилиш учун генетик алгоритмлардан фойдаланиш тўғрисидаги маълумотлар ўрганилган. Хромосома тузилишини ривожлантириш, бошланғич популяцияни яратиш, популяция учун йўналтирувчи кучни яратиш ва бошқаларни ўз ичига олган математик моделларни ва алгоритми келтириб ўтилган. Бундан ташқари, танланган схема керакли ечимга боглиқ бўлган барча хусусиятлар ва чеклашларни, шунингдек, ўтиш ва мутацион алгоритмларни амалга ошириш уни танлашга бевосита боглиқлигини ҳисобга олиши кераклиги ҳам кўрсатиб ўтилган. Оптималлаштириш масалаларини ҳисоблаш учун генетик алгоритмнинг блок-схемаси берилган.*

*В статье рассматриваются вопросы решения задач оптимизации на основе использования генетических алгоритмов. На сегодняшний день генетические алгоритмы используются для решения различных задач, к которым относятся поиск кратчайшего пути, аппроксимация, фильтрация данных и другие. В частности, данные рассматриваются в вопросе использования генетического алгоритма для решения задач оптимизации режимов электроэнергетических систем. Представляется алгоритм по разработке математической модели, который включает разработку структуры хромосомы, создание популяции и др. Выбранная структура должна учитывать все особенности и ограничения, предъявляемые к искомому решению, а также то, что от её выбора напрямую зависит реализация алгоритмов кроссинговера и мутации. Для решения задач оптимизации приведен а блок-схема генетического алгоритма.*

*In article discusses issues for solving optimization problems based on the use of genetic algorithms. To date, the genetic use algorithm for solving various problems. Which includes the shortest path search, approximation, data fil-*

*tering and others. In particular, data is being examined regarding the use of a genetic algorithm to solve problems of optimizing the modes of electric power systems. Imagine an algorithm for developing the development of mathematical models, which includes developing the structure of the chromosome, creating a started population, creating a directing force for the population, etc. As well as the presentation, the selected structure should take into account all the features and limitations imposed on the desired solution, as well as the fact that the implementation of crossing-over and mutation algorithms directly depends on its choice. To solve optimization problems, a block diagram of the genetic algorithm is given.*

Генетические алгоритмы – очень популярные в настоящее время инструмент решения задач оптимизации. В их основе лежит использование эволюционных принципов поиска оптимального решения. Применение генетических алгоритмов полезно лишь в тех случаях, когда для данной задачи нет подходящего специального алгоритма решения. Данные алгоритмы основаны на принципах естественного отбора и предложены относительно недавно – в 1975 году Джоном Холландом. В них используется как аналог механизма генетического наследования, так и аналог естественного отбора. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде и основные понятия линейной алгебры.

Формально генетический алгоритм — это алгоритм, который позволяет найти удовлетворительное решение аналитически неразрешимых проблем через последовательный подбор и комбинирование искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию [1].

Генетические алгоритмы применяются для решения следующих задач:

- Экстремальные задачи (нахождение точек минимума и минимума).
- Задачи о кратчайшем пути.
- Задачи компоновки.
- Составление расписаний.
- Аппроксимация функций.
- Отбор (фильтрация) входных данных.
- Настройка искусственной нейронной сети.
- Моделирование искусственной жизни.
- Биоинформатика (свертывание белков и РНК).
- Игровые стратегии.
- Нелинейная фильтрация.
- Развивающиеся агенты/машины.

Генетические алгоритмы - это стохастические эвристические оптимизационные методы, основная идея которых взята из теории эволюционного развития видов. Основным механизмом эволюции является есте-

ственный отбор, суть которого состоит в том, что более приспособленные особи имеют больше шансов на выживание и размножение и следовательно, приносят больше потомства, чем менее приспособленные особи. При этом благодаря передаче генетической информации потомки наследуют от родителей основные их качества. Основным способ взаимодействия - кроссинговер. При кроссинговере ДНК предков делятся на две части, а затем обмениваются своими половинками. При наследовании возможны мутации, в результате которых могут измениться некоторые гены одного из родителей. Измененные гены передаются потомку и придают ему новые свойства. Если эти новые свойства полезны, они, скорее всего, сохранятся в данном виде, и при этом произойдет скачкообразное повышение приспособленности вида [2].

Первым шагом при разработке математической модели оптимизации, основанной на генетическом алгоритме, является разработка структуры хромосомы, в которой будет храниться решение. Выбранная структура должна учитывать все особенности и ограничения, предъявляемые к искомому решению, а также то, что от её выбора напрямую зависит реализация алгоритмов кроссинговера и мутации. В конечном счёте, выбор хромосомы влияет не только на скорость, но и на сходимость алгоритма вообще.

Структура хромосомы удобна тем, что уже на этапе задания начальных данных можно исключить заведомо неудачные решения, заблокировав соответствующие ячейки.

На следующем шаге алгоритма создаётся начальная популяция, размер которой зависит от размерности задачи и составляет обычно несколько сотен решений.

Для организации оптимизирующего процесса необходимо создать направляющую силу развития популяции. В качестве такой силы выступает требование минимизации целевой функции или в терминах генетических алгоритмов-фитнес функции. Обычно в качестве её используется аддитивный показатель оптимальности, основанный на штрафах, устанавливаемых каждому решению за какой либо неудобный.

Преимуществом такого выбора является возможность настройки алгоритма под конкретную задачу путём варьирования коэффициентов и, тем самым, изменение приоритетов при поиске оптимального решения.

Таким образом, поместив начальную популяцию в созданную нами искусственную среду и реализовав процессы селекции, кроссинговера и мутации, мы получим итерационный алгоритм поиска оптимального решения, на каждой итерации которого выполняются следующие действия:

1. Каждая особь популяции оценивается с помощью фитнес функции.

2. Лучшие решения копируются в новую популяцию без изменения. Такой принцип (принцип элитизма) предотвращает потерю лучших решений и обеспечивает повышенную сходимость алгоритма.

3. На основе пропорционального отбора из текущей популяции выбираются два решения, которые подвергаются рекомбинации. Для этого хромосомы родителей обмениваются соответствующими участками.

4. Если новая популяция сформирована, то старая удаляется, после чего переходим к этапу 1. В противном случае переходим к этапу 3.

*Основными параметрами ГА являются:*

- вероятность мутации;
- точность получения результата;
- количество итераций или количество поколений;
- размер популяции.

*Генетический алгоритм работает по следующей схеме:*

1. Прежде всего, в данном алгоритме для организации начала счета создается произвольное исходное семейство.

2. Далее алгоритм производит некую последовательность новых семейств или поколений. На каждом отдельном шаге алгоритм использует определенные индивидуумы из текущего поколения, для того, чтобы создать последующее поколение. При формировании нового поколения в алгоритме проводятся следующие действия:

- отмечается каждый член текущего семейства посредством вычисления соответствующего значения пригодности;
- проводится масштабирование полученного ряда значений функции пригодности, что позволяет построить диапазон значений более удобный для последующего использования;
- выбираются родительские значения на основе значений их пригодности;
- часть индивидуумов из родительского поколения имеет меньшие значения функции пригодности и которые в дальнейшем выбираются как элитные значения. Эти элитные значения передаются далее уже в последующее поколение;
- дочерние значения образуются или путем неких случайных изменений отдельного одного родителя - мутации или путем комбинации векторных компонентов некой пары родителей – кроссовер;
- замена текущего семейства на дочернее с целью формирования последующего поколения.

3. Останов алгоритма производится тогда, когда выполняется какой-нибудь критерий останова.

В электроэнергетике генетические алгоритмы способны решать узкие, но крайне важные задачи оптимизации, например, задачи улучшения

показателя качества электроэнергии и понижения затрат на ее производство [4].

Главными объектами исследования становятся такие показатели, как отклонение напряжения, коэффициенты гармонических составляющих и несимметрии напряжения обратной и ненулевой последовательности.

Основной классический генетический алгоритм (также называемый элементарным или простым генетическим алгоритмом) состоит из следующих шагов (рис. 1):

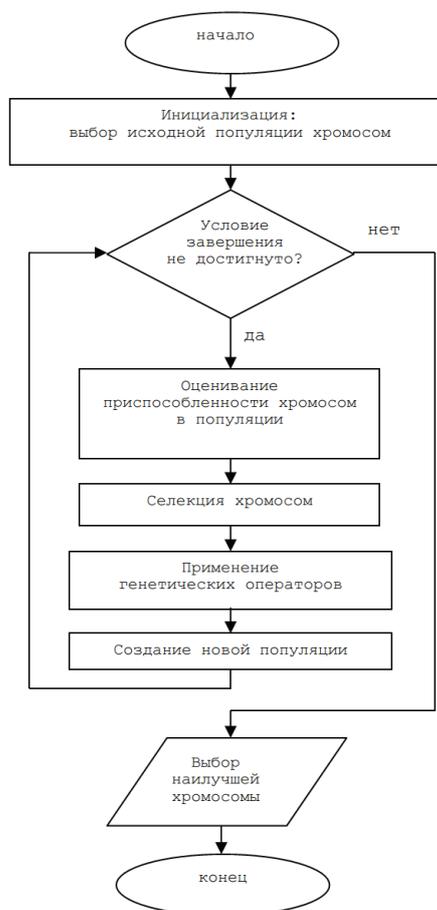


Рис. 1. Блок-схема генетического алгоритма

- 1) инициализация, или выбор исходной популяции хромосом;
- 2) оценка приспособленности хромосом в популяции;
- 3) проверка условия останова алгоритма;
- 4) селекция хромосом;
- 5) применение генетических операторов;

6) формирование новой популяции;

7) выбор «наилучшей» хромосомы.

Можно представить задачу как совокупность нескольких функций (затрат, капиталовложений, ущерба от низкого качества электроэнергии), приведенных на рис. 2. В точке пересечения трех графиков функций и находится оптимальное решение задачи, которое можно найти с помощью канонического или другого ГА.

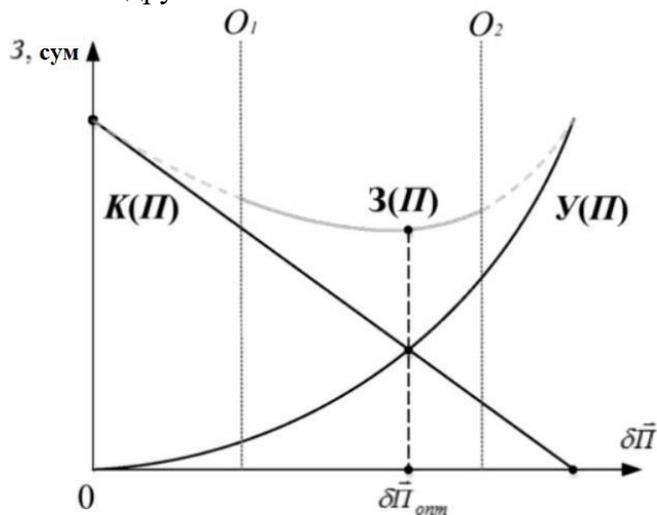


Рис. 2. Характер изменения составляющих затрат при управлении качеством электроэнергии.  $Z(\Pi)$  – суммарные затраты;  $\delta\Pi_{\text{опт}}$  – оптимальный уровень отклонений показателей качества электроэнергии;  $O$  – технические ограничения;  $O_1$  – технические возможности улучшения качества энергии;  $O_2$  – технически допустимый уровень электромагнитных помех

Рассмотренный алгоритм является не только устойчивым к локальным минимумам, но и, благодаря внутреннему параллелизму, выраженному в работе не отдельными решениями, а целыми классами решений, обеспечивает относительно быстрый поиск оптимального решения. Методы исследования в своей основе используют итерационную технику улучшения результатов. В течение одной итерации они ищут решение, лучшее в окрестностях данного. Если такое решение найдено, оно становится текущим и начинается новая итерация. Это продолжается до тех пор, пока прирост целевой функции не уменьшится практически до нуля или не выполнится заданное количество итераций. Очевидно, что такие методы ориентированы на поиск только локальных оптимумов, причём положение найденного оптимума зависит от стартовой точки. Глобальный же оптимум может быть найден только случайно. Для повышения вероятности нахождения глобального оптимума используется множественный

эксперимент с различными начальными точками, что существенно увеличивает время поиска [4].

Таким образом, представляет интерес разработка алгоритмов, сохраняющих преимущества описанных методов и свободных от указанного недостатка. К таким алгоритмам относятся генетические алгоритмы. Генетические алгоритмы являются универсальным методом оптимизации многопараметрических функций, что позволяет решать широкий спектр задач. Генетические алгоритмы имеют множество модификаций и сильно зависят от параметров. Зачастую небольшое изменение одного из них может привести к неожиданному улучшению результата. Следует помнить, что применение ГА полезно лишь в тех случаях, когда для данной задачи нет подходящего специального алгоритма решения.

### Литература

1. Эмилянов В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. - М: Физматлит, 2013. –432 с.
2. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. - 2-е изд. - М: Физматлит, 2006. - 320 с.
3. Darrel Whitley "A Genetic Algorithm Tutorial", 2016.-256 p.
4. Цой Ю.Р., Спистин В.Г. Генетический алгоритм Спистин В.Г., Цой Ю.Р. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. -Томск: Изд-во ТПУ, 2016. -146 с.
5. Gayibov T.Sh., Pulatov V.M., Qayumov J.A. Minimization of Losses in Distributed Power Networks by Genetic Algorithms.- International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology.-Vol. 6, Issue 2, February 2019.- pp. 8037-8039.
6. Deb K., Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms, John Wiley & Sons.
7. AbdellahLaoufi , Collective Intelligence for Optimal Power Flow Solution Using Ant Colony Optimization, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, p.88-105,2008.
8. Гайибов Т.Ш. Эффективный алгоритм оптимизации режимов энергосистем // Сборник статей Международной научной конференции «Инновация-2002». – Ташкент, 2002. – С. 90-91.

*Представлено Ташкентским государственным  
техническим университетом*

УДК 621.314

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ  
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ  
ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОФАЗНЫХ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ ТОКА****Ш.Б. Умаров**

*Мақолада кетма-кет ток автоном инверторлари асосидаги барқарор ўзгармас чиқини кучланишли таъминот қурилмаларидаги ўткинчи жараёнларни тадқиқотлаш методикаси тақдим этилган. Методика математик моделларни рекуррент ифодаларни умумлаштирилган кўринишида тузиши орқали уларни минимизациялаш имкониятини беради. Математик моделларнинг таркибидаги коэффициентларни функционал гуруҳлаш орқали программалаштириш жараёнини қулай ва онсон амалга оширилиши таъминланади.*

*В статье предложена методика исследования переходных процессов стабилизированных источников питания постоянного напряжения на основе однофазных последовательных автономных инверторов тока, обеспечивающая минимальную структуру математических моделей за счет получения решения в общем виде в форме по списочной записи аналитических рекуррентных соотношений. Применение процедуры функционального разделения коэффициентов математических моделей обеспечивает наглядность, простоту и высокую формализованность при осуществлении их программной реализации.*

*The paper proposes a methodology for studying the transients of stabilized DC voltage power supplies based on single-phase sequential autonomous current inverters, providing the minimization of mathematical models by obtaining a solution in general form in the form of listwise writing analytical recurrence relations. The application of the procedure of functional separation of the coefficients of mathematical models provides clarity, simplicity and high formalization in the implementation of their software implementation.*

Как известно в настоящее время одной из перспективных направления использования вентильных преобразователей (ВП) является их применение как преобразователей постоянного напряжения в постоянное с стабилизированной величиной выходного напряжения. Данный подкласс ВП успешно применяется для питания двигателей постоянного тока, в различных видах городского транспорта, на подвижных объектах с первичным источником постоянного тока

(аккумуляторная батарея), а также в устройствах питания газоразрядных ламп [1,2].

В блоке питания в качестве преобразователя постоянного тока в переменный был принят последовательный АИТ [3-5], так как эта схема сохраняет работоспособность при коротких замыканиях нагрузки (режим горения лампы), а наличие цепи последовательной конденсаторной коммутации обеспечивает ограничение роста тока лампы при динамических режимах пуска, т.е. коммутирующая емкость является дозатором мощности и тем самым данная схема (рис. 1) обеспечивает стабилизацию выходной мощности [5, 6].

Регулирование выходного напряжения и, следовательно, стабилизация осуществляется изменением угла регулирования тиристорно-индуктивного компенсирующего устройства (КУ).

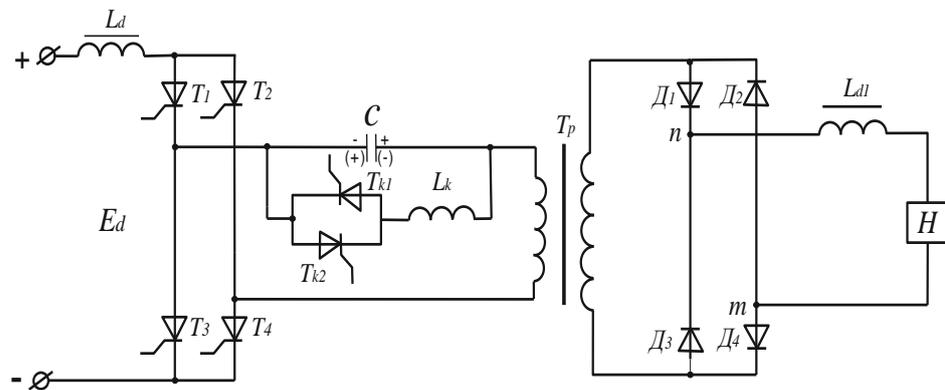


Рис.1. Принципиальная схема СИП на базе автономного последовательного инвертора тока

В статье на основании применения преобразования Лапласа предлагается методика получения математической модели, позволяющая провести необходимые расчеты параметров схемы в широких пределах и осуществить в результате соответствующий выбор элементов [5].

Разработка математической модели производится в следующей последовательности:

а) на основании анализа электромагнитных процессов, протекающих в схеме, определяются возможные структуры силовой схемы и составляются их схемы замещения;

б) для каждой схемы замещения возможной структуры силовой схемы составляется соответствующая операторная схема замещения (ОСЗ), выводятся рекуррентные формулы изображений и оригиналов, необходимых при расчете токов и напряжений;

в) анализируются возможные пути развития процесса и выявляются последовательности смены типов схем замещения на интервалах тактирования, формируются граничные условия смены этапов развития процесса;

г) составляется структурная схема алгоритма расчета переходного процесса на основе выполнения граничных условий;

д) программируя аналитические выражения и пути развития процесса, получается математическая модель преобразователя.

Анализ электромагнитных процессов показал, что в зависимости от принятого способа регулирования в развитии переходного процесса могут участвовать три ОСЗ при частотном регулировании или пять ОСЗ при регулировании посредством КУ. Для каждой ОСЗ получены рекуррентные соотношения искомых токов и напряжений с функциональным разделением коэффициентов, входящих в формулы. Так коэффициенты, величина которых зависит только от параметров силовой схемы и не зависит от вида и времени существования ОСЗ обозначены буквами  $a_i$ ,  $N_i$  и  $M_i$ . Коэффициенты, величина которых зависит от параметров силовой схемы и от вида ОСЗ, но не зависит от времени т.е. не меняется в течение интервала существования данной ОСЗ, обозначены буквами  $A_i$  и  $B_i$ . Коэффициенты, величина которых зависит и от параметров силовой схемы, и от вида расчетного времени данный ОСЗ обозначены буквами  $K_i$ . Таким образом, при расчёте одного варианта СИП коэффициенты первого вида  $a_i$ ,  $N_i$  и  $M_i$  рассчитываются один раз, так как в дальнейшем их значения сохраняется неизменным; коэффициенты второго вида  $A_i$  и  $B_i$  рассчитываются только лишь при изменении структуры силовой схемы т.е. в начале расчёта по вновь участвующей ОСЗ с учетом новых независимых начальных условий для данной ОСЗ; коэффициенты третьего вида  $K_i$  также как и искомые токи и напряжения рассчитываются по мере изменения расчетного времени. В связи с этим можно сказать, что функциональное разделение коэффициентов исключает дублированность расчета одних и тех же коэффициентов, уменьшает тем самым избыточность общей модели и обеспечивает ее быстрое действие. При разработке математических моделей с универсальными ОСЗ были приняты следующие общепринятые допущения: вентили идеальные, коммутация их мгновенная, намагничивающий ток силового трансформатора равен нулю.

Анализ электромагнитных процессов в переходном режиме СИП с высокочастотным звеном и КУ от момента включения и до установившегося режима при регулировании выходного напряжения соответствующим изменением  $\alpha$  - угла регулирования КУ показал, что в работе устройства можно условно выделить два основных рабочих состояния [6].

Первому рабочему состоянию схемы соответствует структуры и эквивалентные им ОСЗ при отключенном КУ. Причём ОСЗ первого рабочего состояния данной СИП совпадают с ОСЗ СИП при частотном регулировании, так как структуры обеих СИП, участвующие в процессе при

отключенном КУ идентичны. Поэтому выведение расчётные формулы предыдущего параграфа для ОСЗ типов Ш-1, Ш-2, Ш-3 можно использовать и для расчёта СИП с КУ на тех интервалах, в течение которых КУ отключено. Второму рабочему состоянию схемы соответствуют две структуры и эквивалентные им ОСЗ при включённом КУ. Соответствующие ОСЗ типа IV-1 и типа IV-2 представлены на рис. 2 и 3. Первая структура, эквивалентная ОСЗ типа IV-1, работает в том случае, если импульсы СУ поданы на тиристоры КУ а входной ток  $i_1$  ещё равен току нагрузки  $i_4$  и коммутирующий конденсатор ещё не успел полностью зарядиться, вследствие чего напряжение на диагонали выпрямителя  $U_{mn}$  больше нуля. Вторая структура эквивалентная ОСЗ типа IV-2, имеет места пока ток КУ больше нуля, а напряжение  $U_{mn}$  становится равным нулю и вследствие этого по контуру  $D_1 - D_4 - L_d - H$  начинает протекать ток  $i_2$ . Эти структуры работают до момента включения КУ, т.е. эти структуры соответствуют работе дополнительного контура перезаряда коммутирующего конденсатора через КУ.

Схема типа IV-4.

Для операторной схемы (рис.2) примем следующие начальные условия:  $t = 0$ ;  $i_1(0) = I_{d4}$ ;  $U_c(0) = -U_{c3}$ .

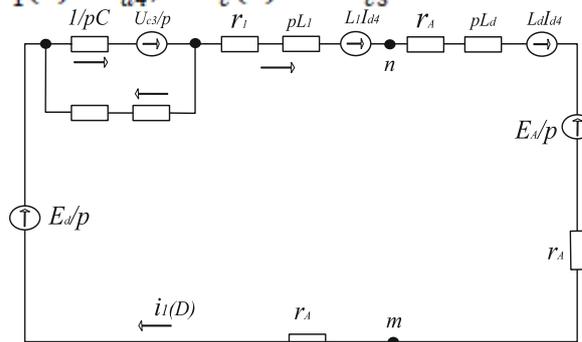


Рис. 2 ОСЗ типа IV-4

Оригиналы токов и напряжений выражается в виде:

$$\begin{aligned}
 i_1(t) &= (E_d - E_n)/r_5 - (B_5/\sigma_5 D_1) \exp(-\sigma_5 t) + K_9 A_4 + K_{10} B_4; \\
 i_k(t) &= (E_n - E_d)/r_5 - (B_5/D_2) \exp(-\sigma_5 t) - K_{11} A_4 + K_{12} B_4; \\
 U_c(t) &= r_k (E_d - E_n)/r_5 + (B_7/D_2) \exp(-\sigma_5 t) + K_{11} A_6 + K_{12} B_6; \\
 U_{mn}(t) &= r_3 (E_d - E_n)/r_5 - (B_9/\sigma_5 D_1) \exp(-\sigma_5 t) + K_9 A_8 + K_{10} B_8; \\
 U_n(t) &= E_n + r_n i_1(t).
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Для ОСЗ (рис. 3) примем следующие начальные условия:  $t = 0$ ;  $i_1(0) = I_{d5}$ ;  $i_2(0) = 0$ ;  $i_3(0) = i_4(0) = I'_{d5}$ ;  
 $i_k(0) = I_k$ ;  $U_c(0) = -U_{c4}$ .

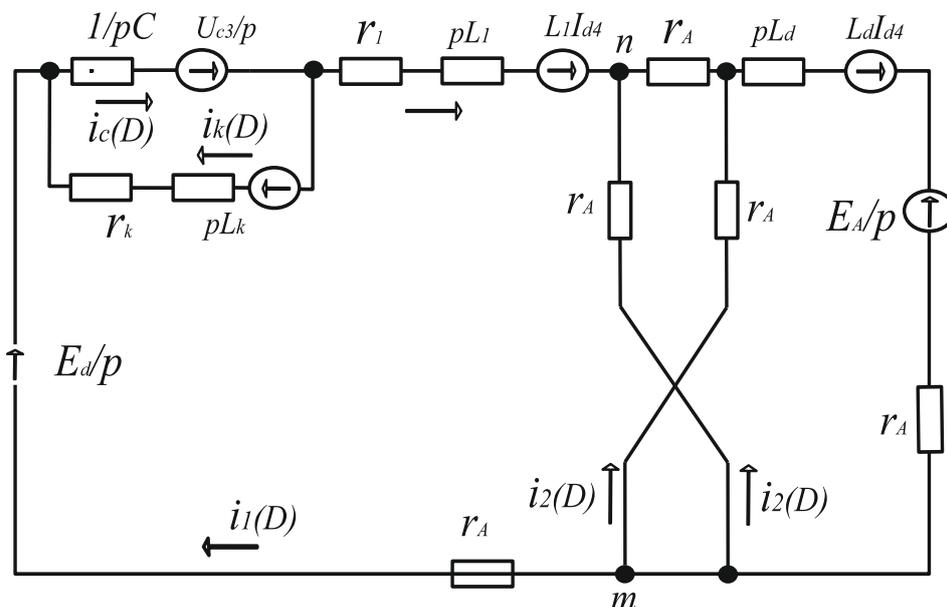


Рис. 3. ОСЗ типа IV-5

Оригиналы токов и напряжений выражается в виде:

$$\begin{aligned}
 i_1(t) &= E_d/r_6 - (B_{11}/b_7 D_3) \exp(-b_7 t) + K_{13} A_{10} + K_{14} B_{10}; \\
 i_4(t) &= E_d [\exp(-b_8 t) - 1]/r_3 + I'_{d5} \exp(-b_8 t); \\
 i_k(t) &= -E_d/r_6 - (B_{11}/D_4) \exp(-b_7 t) - K_{15} A_{10} - K_{16} B_{10}; \\
 U_c(t) &= r_k E_d/r_6 + (B_{13}/D_4) \exp(-b_7 t) + K_{15} A_{12} + K_{16} B_{12}; \\
 i_1(t) &= [i_4(t) - i_1(t)]/2; \quad U_{mn}(t) = r_d i_2(t)/2; \quad U_n(t) = E_n + r_n i_4(t).
 \end{aligned}$$

Выведенные формулы мгновенных значений токов и напряжений лежат в основе алгоритмов расчета переходных процессов в СИП на базе последовательного АИТ при частотном регулировании и с помощью КУ. Алгоритмы разработаны с учетом длительности существования и очередности следования ОСЗ эквивалентных структурам схемы, участвующих в переходном процессе.

На основе разработанных алгоритмов и программ были получены ряд графиков переходных процессов при пуске и изменении входного напряжения СИП при обоих вышеуказанных способах регулирования. На рисунках 4 и 5 приведены кривые переходных процессов и осциллограммы токов и напряжений при пуске СИП.

АИТ: а) частотное регулирование; б) регулирование КУ.

Отклонение результатов математического и физического моделирования по средним и действующим значениям токов и напряжений составило не более 8 процентов. Хорошее совпадение рассчитанных значений

с осциллограммами позволяет судить о правильности разработанных алгоритмов и программ.

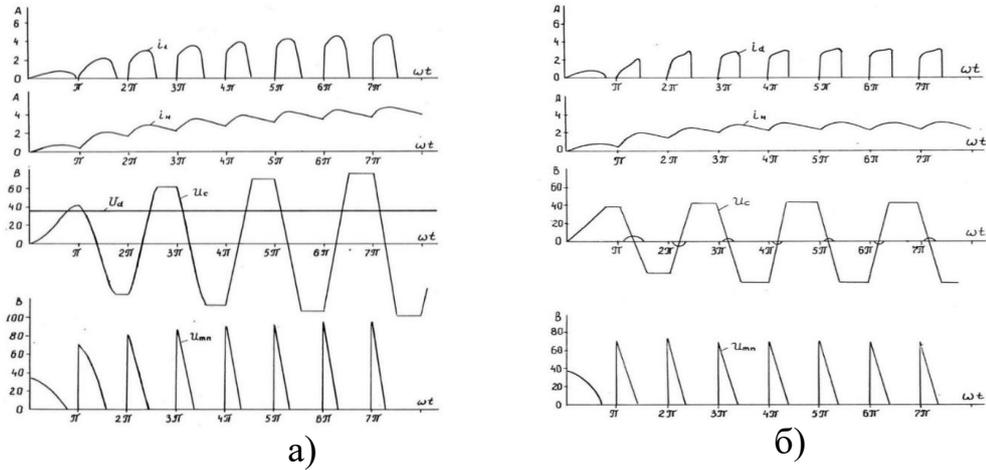


Рис. 4. Временные диаграммы при пуске СИП: а) частотное регулирование; б) регулирование КУ

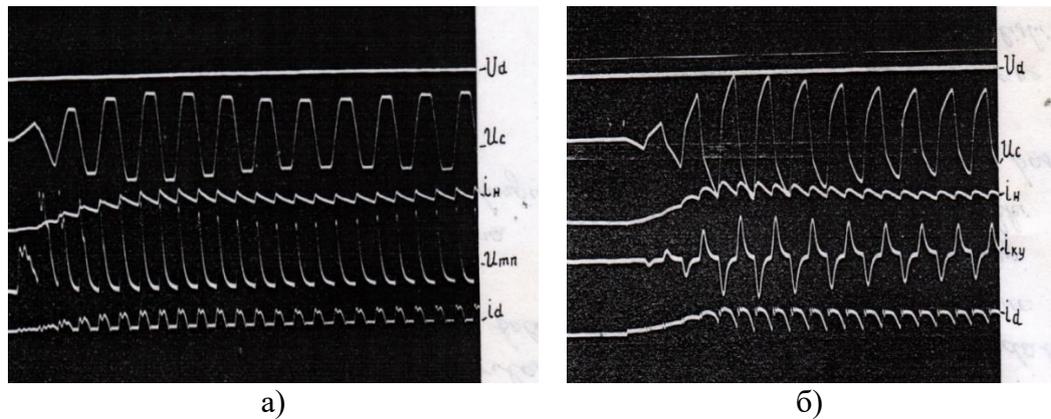


Рис. 5. Осциллограммы пуска СИП на базе последовательного

Выявлено, что регулирование посредством изменения частоты приводит к значительному увеличению частоты (сорок процентов), тогда как при регулировании посредством КУ частота остается неизменной т.е. СИП на базе последовательного инвертора с регулированием посредством применения КУ отличается лучшими динамическими показателями по сравнению с СИП при частотном регулировании.

**Литература**

1. Справочная книга по светотехнике. Под ред. проф. Ю.Б.Айзенберга. -М.: Знак, 2007. – 972 с.
2. Белов Г.А. Теория импульсных преобразователей. – Чебоксары.: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2016.- 330 с.
3. Королев Т.К., Платонов А.А., Ваганов С.А. Формирование высокоинтенсивных импульсных некогерентных визуально-оптических сигналов в диапазоне 0,35–2,5 мкм. //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2019, том 19, № 1; - С.47-51
4. Шашлов А. Б. Основы светотехники: учебник / А. Б. Шашлов. — 2-е изд., доп. и перераб. — Москва: Логос, 2011. — 256 с.
5. Умаров Ш.Б. Математическая модель для расчета переходных процессов в стабилизированных источниках питания на базе однофазного последовательного инвертора тока //Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. -2015, № 4. -С. 112-115.
6. Sh. B. Umarov, D. D. Rakhmatov. Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. Web of Conferences, MIP: Engineering-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062032 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/862/6/062032.

*Представлено Ташкентским государственным  
техническим университетом*

УДК 621.311.22 + 621.311.26 + 628.946.13

**РАЗРАБОТКА СХЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ТАШКЕНТСКОЙ ТЭС  
В СОЛНЕЧНО-ТОПЛИВНУЮ ГИБРИДНУЮ СТАНЦИЮ****З. М. Ахрорхужаева, Э. К. Матжанов**

*Ҳозирги пайтда мамлакатимизда ишлаб чиқарилаётган электр энергиясининг асосий қисми буг турбинали иссиқлик электр станциялари (ИЭС) ҳиссасига тўғри келади. Аммо бу ИЭСларда ишлатилаётган буг турбинали энергетик блоklar жисмонан ва маънавий эскирган бўлиб, уларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичлари анча паст. Шу сабабли буг турбинали энергетик блоklarни модернизация қилиш ва техник қайта жиҳозлаш долзарб масалалар ҳисобланади. Ушбу мақолада Тошкент ИЭСда ишлатилаётган ПВК-150 энергетик блокли қуёш концентратор қурилмаларини татбиқ қилиш орқали модернизация қилиш бўйича бажарилган илмий тадқиқотлар натижалари келтирилган. ПВК-150 энергетик блокининг асосий ва ёрдамчи қурилмаларини сақлаб қолган ҳолда қуёш концентрловчи қурилмаларини татбиқ қилиш схемалари яратилди. Шу жумладан, Еп-500/140ГМ буг қозонининг экономайзер ва буглатувчи қизиш юзаларига қуёш иссиқлиги ҳисобига ишлайдиган иссиқлик алмашиш қурилмаларини улаш схемаси яратилди ва унинг энергетик ва техник-иқтисодий кўрсаткичлари аниқланди. Тадқиқотлар натижалари кўрсатяптики, биз таклиф қилаётган схема бўйича Тошкент ИЭС ПВК-150 энергетик блокида қуёш энергияси иссиқлигидан фойдаланилганида қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш фойдали иш коэффициентини 34,4 фоизгача етади, электр энергияси ишлаб чиқариш учун шартли ёқилги солиштирма сарфи амалдаги 351,8 г/кВт.с дан 248 г/кВт.с гача камаяди.*

*В настоящее время основная часть электроэнергии, вырабатываемой в стране, приходится на долю паротурбинных тепловых электрических станций (ТЭС). Однако паротурбинные энергетические блоки, работающие на этих ТЭС, физически и морально устарели, их технико-экономические показатели не отвечают современным требованиям. Поэтому модернизация и техническое перевооружение паротурбинных энергетических блоков являются актуальными задачами.*

*В данной статье представлены результаты исследований по модернизации энергетического блока ПВК-150 Ташкентской ТЭС с внедрением солнечных концентрирующих установок. Разработаны схемы включения солнечных концентрирующих установок с сохранением основного и вспомогательного оборудования энергетического блока ПВК-150. В*

частности, разработана схема включения СКУ и теплообменников для частичной замены экономайзера и испарительных поверхностей нагрева парового котла ЕП-500/140ГМ и определены ее энергетические и технико-экономические показатели. Результаты выполненных исследований показывают, что при использовании солнечной энергии на энергоблоке ПВК-150 Ташкентской ТЭС по предложенной схеме, КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию достигает 34,4 %, удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии снижается от нынешнего 351,8 г/кВт·ч до 248 г/кВт·ч.

*At present, the main part of the electricity, generated in the country, falls on the share of steam turbine thermal power plants. However, the steam turbine power units are physically and morally aged, their technical and economic data do not meet modern requirements. Therefore, the modernization and technical re-equipment of the steam turbine power plants are urgent tasks. This article presents the results of research on the modernization of the power unit PVK-150 of the Tashkent thermal electric power plant with the introduction of concentrated solar power technologies. Schemes of including the concentrated solar power technologies while preservation main and auxiliary equipment of the PVK-150 power unit have been developed. In particular, a scheme of including the concentrated solar power technologies for partial replacement of the economizer and evaporating heating surfaces of the EP-500/140GM steam boiler has been developed and its energy and technical-economic data have been determined. The results of the performed researches show, while using solar energy at the power unit PVK-150 of the Tashkent thermal electric power plant according to the proposed scheme, the solar-to-electric efficiency reaches up to 34.4%, the specific consumption of standard fuel for the generation of electrical energy is reduced from the current 351.8 g/kWh down to 248 g/kWh.*

**Введение.** В 2021 г. на тепловых электрических станциях страны выработано 56,7 млрд. кВт·ч электроэнергии и 5,2 млн. Гкал тепловой энергии [1]. В настоящее время общая установленная электрическая мощность ТЭС страны составляет более 13,1 ГВт.

В соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан от 22.08.2019г. №ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии (ВИЭ)» определено увеличение доли производства электроэнергии с использованием ВИЭ до уровня не менее 25% к 2030 году [2]. Для этого предусмотрено строительство почти 10 ГВт новых объектов ВИЭ, в том числе 5 ГВт солнечных, 3 ГВт ветровых и 1,9 ГВт гидроэлектростанций.

Основная часть действующих ТЭС республики построены в 70-х 90-х годах XX века. Они основаны на паротурбины цикла Ренкина и в насто-

ящее время физически и морально устарели, должны быть модернизированы с использованием современных технологий. Одним из экономически привлекательных и технически достижимых способов модернизации действующих ТЭС является включение солнечных концентрирующих установок (СКУ) в существующую схему ТЭС. Поэтому в настоящее время нами ведется исследование, целью которого является разработка математических моделей и технологических схем использования солнечной энергии на действующих ТЭС.

**Опыт использования солнечной энергии на паротурбинных ТЭС.** Yang и др. [3] продемонстрировали производство электрической энергии за счет солнечного тепла на примере угольной ТЭС мощностью 200 МВт, что является эффективным способом использования солнечной энергии в диапазоне средних и низких температур путем замены регенеративных подогревателей питательной воды. Четыре схемы в режимах повышения мощности и экономии топлива показали, что КДП преобразования солнечной энергии в электрическую энергию может превышать 30 % при температуре солнечного тепла 260 °С. Yan и др. [4] изучали использование солнечного тепла для предварительного подогрева питательной воды на ТЭС мощностью 200 МВт, 300 МВт, 600 МВт и 1000 МВт. Авторы обнаружили, что преимущества использования солнечного тепла различны при замене отбора пара из разных точек турбины и на разных ТЭС. Вывод: чем больше мощность ТЭС, тем больше преимуществ в подогреве питательной воды.

Ahmadi и др. [5] провели оценку полной модернизации паротурбинной ТЭС Монтазери (Иран): сначала была исследована модернизация существующей ТЭС с включением газовой турбины и котла-утилизатора, а затем выполнены энергетический, эксергетический, экологический и экономический анализы использования солнечной энергии в созданной парогазовой ТЭС. Также Ahmadi и др. проведена оценка замены регенеративных подогревателей питательной воды высокого давления (ПВД) на солнечные коллекторы на ТЭС Монтазери [6] и Исфахан [7] (Иран). Было учтено ограничение, вызванное подогревом питательной воды солнечными теплообменниками, которое приводит к снижению мощности ТЭС – увеличение расхода пара на входе в конденсатор при фиксированной генерирующей мощности. Были предложены два решения для уменьшения негативных воздействий, и в соответствии с обоими из них часть пара регенеративных отборов паровой турбины используется в другой системе: 1. Пар использовался в новой паровой турбине для привода большого вращающегося оборудования, т.е. насосов питательной воды; 2. Пар использовался для теплоснабжения внешних потребителей.

Suojanen и др. [8] сравнили три конфигурации использования солнечного тепла: 1. Для предварительного подогрева питательной воды; 2.

Для перегрева вторичного пара; 3. Для выработки пара высокого давления с помощью коллектора Френеля параллельно с существующим парогенератором. Основной вывод авторов: чем больше выработка пара за счет солнечного тепла, тем больше разбалансируются различные секции турбины и поверхности нагрева парового котла, что приводит к усложнению конструкции системы.

Zhao и др. [9] исследовали эффективность использования солнечного тепла при низких температурах путем гибридизации с паротурбинной ТЭС. Были определены общие выражения для КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию и необходимой площади солнечного коллектора. Было заявлено, что солнечно-угольная гибридная ТЭС показывает лучшие характеристики при температуре ниже 330 °С, в то время как при температуре солнечного тепла выше 330 °С солнечная ПГУ, генерирующая пар высокого давления, имеет лучшие термодинамические характеристики. В диапазоне 300÷400 °С КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию достигает наивысшего значения.

Mohammadi и др. [10] включили параболоцилиндрический концентратор (ПЦК) и систему аккумуляции тепла с циклом Ренкина, чтобы увеличить электрическую мощность за счет замены регенеративных подогревателей питательной воды на солнечные подогреватели. В результате данного решения выработка электроэнергии увеличилась на 8,14%. Проведены энергетический, эксергетический и экономический анализы. Из-за большого количества потерь в ПЦК низким оказался эксергетический КПД системы. Экономический анализ показал, что срок окупаемости - 1,5 года, то есть очень короткий.

Проведенный анализ литературных источников показал, что использование солнечной энергии на паротурбинных ТЭС является актуальной задачей и исследуется многочисленными учеными и научными организациями во всем мире. Но до настоящего времени отсутствует общепризнанная методика преобразования действующих паротурбинных ТЭС в солнечно-топливную гибридную ТЭС (СТ ТЭС), а также не имеется практического опыта в этой сфере. Поэтому нами ведется исследование, целью которого является разработка математических моделей и технологических схем использования солнечной энергии на действующих ТЭС.

Разработанные нами математические модели и методика определения технико-экономических показателей СТ ТЭС, созданных на основе действующих паротурбинных энергетических блоков, были опубликованы в нашей предыдущей работе [11]. В этой статье приводятся результаты исследований по разработке технологической схемы включения SKU к паротурбинному энергетическому блоку ПВК-150 Ташкентской ТЭС.

**Описание энергетического блока ПВК-150 Ташкентской ТЭС.** Установленная электрическая мощность Ташкентской ТЭС – 2200 МВт, в

том числе паротурбинных энергетических блоков - 1830 МВт и парогазового блока – 370 МВт. Основное топливо - бессернистый газ, резервное – мазут. В паротурбинной части установлены 12 энергетические блоки открытой компоновки.

В качестве расчетной схемы нами принят паротурбинный энергетический блок, который включает в себя одну паровую турбину ПВК-150 электрической мощностью 160 МВт, один паровой котел Еп-500/140ГМ, четыре регенеративных подогревателей низкого давления (ПНД), деаэрактор (6 атм.), два ПВД, питательные и конденсатные насосы, а также вспомогательное оборудование (рис. 1). Электрический КПД энергоблока равен 31,2 %, а удельный расход условного топлива - 394 г/кВт·час.

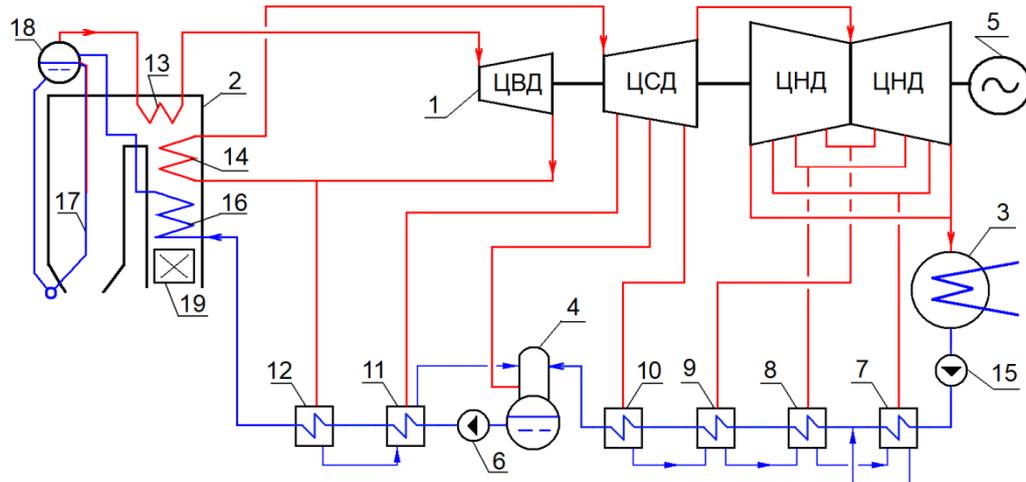


Рис. 1. Принципиальная тепловая энергоблока ПВК-150 Ташкентской ТЭС: 1 - паровая турбина ПВК-150; 2 - паровой котел Еп-500/140ГМ; 3 - конденсатор паровой турбины; 4 - деаэрактор питательной воды; 5 - электрогенератор; 6 - питательный насос; 7 - ПНД № 1; 8 - ПНД № 2; 9 - ПНД № 3; 10 - ПНД № 4; 11 - ПВД №1; 12 - ПВД №2; 13 - пароперегреватель; 14 - вторичный пароперегреватель; 15 - конденсатный насос; 16 - экономайзер; 17 - экранные трубы парового котла; 18 - барабан парового котла; 19 - регенеративный воздухоподогреватель

Паровой котел Еп-500/140ГМ – барабанного типа с естественной циркуляцией производства Таганрогского котельного завода, состоит из испарительных поверхностей нагрева, первичного и вторичного пароперегревателей, экономайзера и регенеративного воздухоподогревателя. Паровой котел производит пар с параметрами 14 МПа и 545 °С расходом 500 т/ч. Паровая турбина ПВК-150 – одновальная двухцилиндровая конденсационная турбина с двухпоточным выхлопом в конденсатор, имеет 8 нерегулируемых регенеративных отборов пара. Параметры пара на входе в паровую турбину 13 МПа и 540°С, параметры вторичного пара 2,75

МПа и 540°C. Давление в конденсаторе турбины 0,0035 МПа.

**Схема включения СКУ к энергетическому блоку ПВК-150.** Рассматривается включение СКУ параллельно к действующему паровому котлу Еп-500/140ГМ с целью частичного замещения экономайзера и испарительных поверхностей нагрева парового котла. В качестве СКУ рассматриваются использование ПЦК. При исследованиях использован компьютерный метод моделирования с применением немецкой программы EBSILON Professional [12].

Преобразование паротурбинного энергетического блока ПВК-150 в СТ ТЭС осуществляется следующим образом (рис. 2). К действующему паротурбинному энергетическому блоку дополнительно включается солнечная надстройка, которая состоит из поля ПЦК 26, циркуляционного насоса 25 и солнечного парогенератора 21. Солнечный парогенератор состоит из водяного экономайзера 22 и испарительных поверхностей нагрева 23 с барабаном 24.

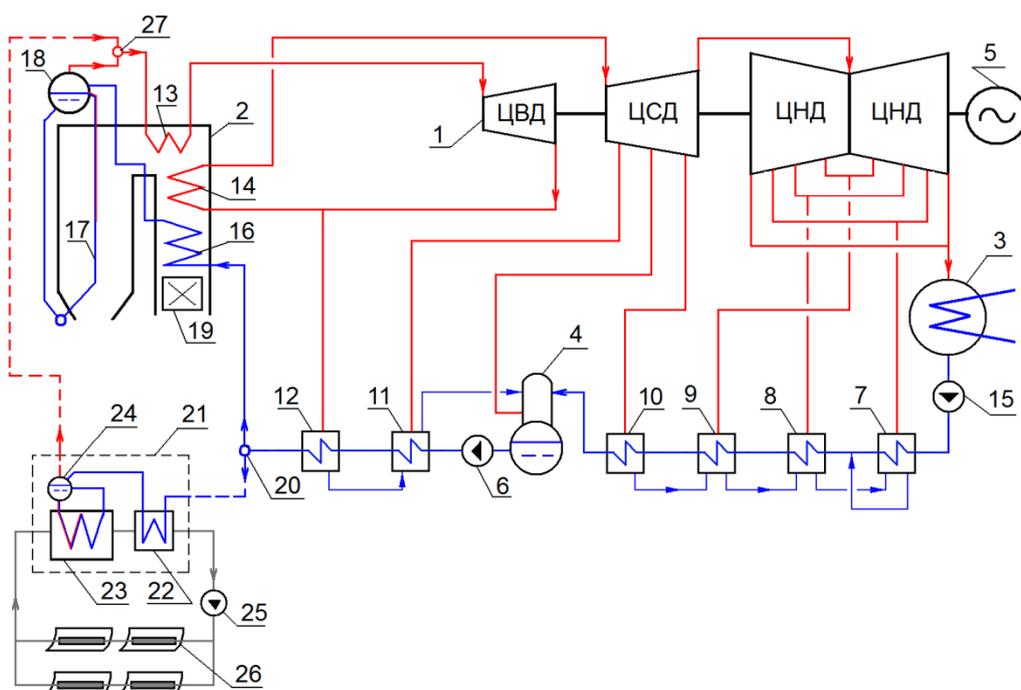


Рис. 2. Схема включения солнечных концентрирующих установок к энергоблоку ПВК-150: 1÷19 – те же, что на рис. 1; 20 - регулирующая задвижка; 21 - солнечный парогенератор; 22 - водяной экономайзер солнечного парогенератора; 23 - испарительные поверхности нагрева солнечного парогенератора; 24 - барабан солнечного парогенератора; 25 - циркуляционный насос теплоносителя ПЦК; 26 - ПЦК; 27 – смеситель (миксер)

На действующем паротурбинном энергетическом блоке ПВК-150 осуществляется следующие изменения: а) после групп ПВД на тракт питательной воды устанавливается регулирующая задвижка 20 для разделения питательной воды на два потока – в водяной экономайзер парового котла и в водяной экономайзер солнечного парогенератора; б) на промежутке между барабаном и пароперегревателем парового котла на паропровод устанавливается смеситель 27 для объединения насыщенных паров барабанов парового котла и солнечного парогенератора; в) устанавливается дополнительный трубопровод, который соединяет тракт питательной воды после групп ПВД с водяным экономайзером солнечного парогенератора; г) устанавливается дополнительный паропровод, который соединяет барабан солнечного парогенератора со смесителем 27, установленного на промежутке между барабаном и пароперегревателем парового котла.

Принцип работы СТ ТЭС выглядит следующим образом:

1). При отсутствии солнечного излучения солнечный парогенератор отключен, в паровом котле сжигается органическое топливо. Питательную воду подогревают в водяном экономайзере 16 и направляют в барабан 18 парового котла. Вода испаряется в испарительных поверхностях нагрева 17 и полученный насыщенный пар перегревается в пароперегревателе 13. Перегретый пар направляют в цилиндр высокого давления паровой турбины 1, затем через вторичный пароперегреватель 14 подводят в цилиндр среднего давления паровой турбины. После цилиндра низкого давления паровой турбины пар конденсируется в конденсаторе 3. Полученный конденсат с помощью конденсатного насоса 15 направляется в деаэрактор питательной воды 4 через ПНД №1-4. С помощью питательного насоса 6 питательная вода пропускается через ПВД №1-2 и подводится в экономайзер 16 и цикл повторяется.

2). При наличии солнечного излучения часть питательной воды после двух ПВД с помощью регулирующей задвижки 20 разделяется на два потока, один из которых направляется в водяной экономайзер 16 парового котла, а второй поток направляется в водяной экономайзер 22 солнечного парогенератора 21. После водяного экономайзера 22 пароводяная смесь поступает в барабан 24 солнечного парогенератора, и далее в испарительные поверхности нагрева 23. Полученный в испарительных поверхностях нагрева насыщенный пар выделяется из пароводяной смеси в барабане 24 и направляется в смеситель 27, где смешивается с насыщенным паром парового котла и подводится в пароперегреватель 13 парового котла. А дальше цикл повторяется. В периодах наличия солнечного излучения паровой котел работает с частичной нагрузкой, т.е. со сниженной паропроизводительностью. Но общий расход пара в паровую турбину не изменится. Значения массовых расходов потоков питательной воды,

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

поступающих в паровой котел и солнечный парогенератор, определяются в зависимости от интенсивности солнечного излучения.

**Энергетические и технико-экономические показатели солнечно-топливной гибридной ТЭС.** Для определения энергетических и технико-экономических показателей СТ ТЭС были использованы математические модели и методика расчета, приведенных в нашей работе [11]. Энергетические и технико-экономические показатели СКУ были рассчитаны по методикам, приведенных в наших работах [13, 14]. Также были использованы компьютерные модели, разработанные нами и описание которых приведены в работах [15, 16].

В табл.1 приведены основные результаты расчетов разработанной схемы. Данные в таблице 1, где  $DNI = 0$ , относятся к ночному времени суток, т.е. существующему паротурбинному энергетическому блоку ПВК-150 без включения СКУ. Результаты выполненных расчетов утверждают, что разработанная схема способна работать при радиации солнечной энергии  $DNI \geq 249 \text{ Вт/м}^2$ .

Таблица 1

Основные энергетические и технико-экономические показатели солнечно-топливной гибридной ТЭС на основе энергетического блока ПВК-150

Время	$DNI, \text{ Вт/м}^2$	$N_{\text{э}}^{\text{СТТЭС}}, \text{ МВт}$	$Q_{\text{т}}^{\text{СТТЭС}}, \text{ МВт}$	$Q_{\text{сол}}, \text{ МВт}$	$b, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$	$\Delta B^{\text{сол}}, \text{ кг/ч}$	$\eta_{\text{э}}^{\text{сол}}, -$	$\eta_{\text{СТТЭС}}, -$	$\eta_{\text{СТТЭС}}^{\text{э.т}}, -$
5:00	0	155,00	443,7	0	351,53	0,0	0	0,349	0,349
6:00	360	155,00	424,6	33,3	336,43	2 340,7	0,200	0,338	0,365
7:00	520	155,00	369,7	82,2	292,90	9 086,8	0,315	0,343	0,419
8:00	700	155,00	335,2	112,9	265,54	13 328,8	0,336	0,346	0,462
9:00	780	155,00	321,1	125,4	254,37	15 059,0	0,342	0,347	0,483
10:00	810	155,00	318,2	128,0	252,06	15 418,1	0,343	0,347	0,487
11:00	820	155,00	319,4	127,0	253,01	15 270,4	0,342	0,347	0,485
12:00	830	155,00	319,5	126,9	253,10	15 257,3	0,342	0,347	0,485
13:00	850	155,00	315,7	130,2	250,15	15 713,4	0,343	0,348	0,491
14:00	850	155,00	313,4	132,2	248,33	15 996,4	0,344	0,348	0,495
15:00	810	155,00	317,4	128,7	251,50	15 505,1	0,343	0,347	0,488
16:00	770	155,00	322,6	124,1	255,55	14 876,8	0,341	0,347	0,481
17:00	640	155,00	346,3	103,0	274,37	11 959,5	0,330	0,345	0,448
18:00	470	155,00	379,4	73,6	300,57	7 898,3	0,305	0,342	0,409
19:00	180	155,00	443,7	0	351,53	0,0	0	0,349	0,349
20:00	0	155,00	443,7	0	351,53	0,0	0	0,349	0,349

В табл. 1 приведены следующие основные данные:  
 $DNI$  – прямая солнечная радиация,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$N_{\text{э}}^{\text{СТТЭС}}$  – электрическая мощность солнечно-топливной гибридной ТЭС, МВт;

$Q_{\text{т}}^{\text{СТТЭС}}$  – подвод тепла топлива в паровой котел в солнечно-топливной гибридной ТЭС, МВт;

$Q_{\text{сол}}$  – подвод солнечного тепла в параболоцилиндрическом концентраторе, МВт;

$b$  – удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии, г/кВт·ч;

$\Delta B^{\text{сол}}$  – экономия топлива за счет использования солнечного тепла, кг/ч;

$\eta_{\text{э}}^{\text{сол}}$  – КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию солнечно-топливной гибридной ТЭС;

$\eta_{\text{СТТЭС}}^{\text{э}}$  – электрический КПД солнечно-топливной гибридной ТЭС;

$\eta_{\text{СТТЭС}}^{\text{э,т}}$  – электрический КПД солнечно-топливной гибридной ТЭС на основе органического топлива (без учета тепла солнечной энергии).

Преимуществами разработанной схемы являются: а) возможность сохранения проектной электрической мощности действующего паротурбинного энергетического блока при преобразовании в СТ ТЭС; б) возможность сохранения действующего оборудования паротурбинного энергетического блока при преобразовании в СТ ТЭС; в) широкий диапазон изменения нагрузки парового котла и солнечного парогенератора, т.е. в ночное время полная нагрузка может быть покрыта паровым котлом за счет сжигания органического топлива, а в дневное время основная часть нагрузки может быть покрыта солнечным парогенератором за счет энергии солнечного излучения; г) низкие капитальные вложения по сравнению со строительством новых солнечных ТЭС и солнечно-топливных гибридных ТЭС.

**Заключение.** Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что использование солнечной энергии на энергетическом блоке ПВК-150 Ташкентской ТЭС по разработанной схеме способствует достижению КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию до 34,4%. Это означает самую высокую КПД преобразования солнечной энергии в электрическую энергию по сравнению со всеми практически реализованными технологиями солнечной энергии. Это сравнимо с тем, что электрический КПД ТЭС на основе органического топлива повышается с 34,9% до 49,5% (при пренебрежении солнечным теплом).

Результаты выполненных исследований показывают целесообразность вводить использование солнечного тепла в существующий паровой котел для частичного замещения экономайзера и испарительных поверхностей нагрева. При этом потребуются изменение площади экономайзера и испарительных поверхностей нагрева парового котла. Также может потребоваться перераспределение горелок. Но такие работы не требуют больших капитальных затрат.

### Литература

1. Акционерное общество “Тепловые электрические станции” (<https://tpp.uz/ru/page/issiqlik-elektr-stanciylari-aksiyadorlik-zamiyati>).
2. Возобновляемые источники энергии (<https://minenergy.uz/ru/lists/view/32>).
3. Yang, Y., Yan, Q., Zhai, R., Kouzani, A., Hu, E. An efficient way to use medium-or-low temperature solar heat for power generation-integration into conventional power plant. *Applied Thermal Engineering* 2011; 31: 157-162.
4. Yan, Q., Hu, E., Yang, Y., Zhai, R. Evaluation of solar aided thermal power generation with various power plants. *International Journal of Energy Research* 2011; 35: 909-922.
5. Ahmadi G., Toghraie D., Azimian A., Ali Akbari O. Evaluation of synchronous execution of full repowering and solar assisting in a 200 MW steam power plant, a case study. *Applied Thermal Engineering* 112 (2017) 111–123.
6. Ahmadi G., Toghraie D., Ali Akbari, O. Efficiency improvement of a steam power plant through solar repowering. *International Journal Exergy*, Vol. 22 (2017), No. 2, 158-182.
7. Ahmadi, G., Toghraie, D., Ali Akbari, O. Solar parallel feed water heating repowering of a steam power plant: A case study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (2017) 474–485.
8. Suojanen S., Hakkarainen E., Tähtinen M., Sihvonen T. Modeling and analysis of process configurations for hybrid concentrated solar power and conventional steam power plants. *Energy Conversion and Management* 134 (2017) 327-339.
9. Zhao Y., Hong H., Jin H., Li P. Thermodynamic mechanism for hybridization of moderate temperature solar heat with conventional fossil-fired power plant. *Energy* 133 (2017) 832-842.
10. Mohammadi A., Ahmadi M.H., Bidi M., Ghazvini M. Tingzhen Ming Exergy and economic analyses of replacing feedwater heaters in a Rankine cycle with parabolic trough collectors. *Energy Reports* 4 (2018) 243–251.
11. Матжанов Э. К., Ахрорхўжаева З. М. Показатели тепловой экономичности солнечно-топливных гибридных электрических станций. //Проблемы энерго- и ресурсосбережения, г. Ташкент, 2022, - №1. с. 82-94.
12. As versatile as a planning tool can be EBSILON®Professional for the design of power plants. (<https://www.steag-systemtechnologies.com/en/products/ebpsilon-professional/>)
13. Erkinjon Matjanov. Gas turbine efficiency enhancement using absorption chiller. Case study for Tashkent CHP. *Energy*, Volume 192, 1 February 2020, 116625.
14. Matjanov E.K., Axrorxojaeva Z.M., Xolmurzaeva S.I., Ulug-

murodov M.T. Gas turbine efficiency improvement using absorption chiller and solar energy // Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference “Scientific community: Interdisciplinary research”, March 16-18, 2021, Hamburg, Germany, Pages 446-453.

15. Матжанов Э.К., Сулайманова З.М. Модернизация действующих тепловых электрических станций в солнечно-топливные гибридные станции. / Сборник IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», Казахстан, г. Астана, Евразийский Национальный университет, 17 марта 2016 года: С. 243-245.

16. Матжанов Э.К. Повышение энергоэффективности тепловых электрических станций с использованием солнечных концентрирующих установок. / Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017», Россия, Севастополь, 11-15 сентября 2017 г. С. 858-861.

*Представлено Ташкентским государственным  
техническим университетом совместно с Научно-техническим центром с конструкторским  
бюро и опытным производством АН РУз*

УДК 536.248.2

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНОЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ****Н.О. Усмонов, С.Р. Ахматова**

*Экологик ва иқтисодий муаммоларни ҳал қилиш учун биноларни совитишда муқобил ва самарали ёндошувлар зарур. Анъанавий ҳавони мўътадиллаш тизимларида абсорбцион совитиш ҳавони мўътадиллаш билан боғлиқ бўлган кўплаб муаммоларни ҳал қилиш мумкин бўлган имкониятлардан бири ҳисобланади. Ушбу мақолада вентилияцион цикл бўйича ишлайдиган совитишни абсорбцион тизимлари таҳлили, яъни эксергетик ва анергетик услублари ишлаб чиқилган. Ҳар қандай энергетик тизимни оптималлаштириш ва уни самарадорлигини баҳолаш учун эксергетик таҳлил асосий омил ҳисобланади. Ушбу таҳлилнинг асосий мақсади, эксергияни бузилиш сабабларини аниқлаш орқали тизимнинг умумий иш фаолиятини максимал даражада оширишидир. Кўпгина тадқиқотчилар эксергия таҳлилин методологияси ва асосий тамойилларини муҳокама қилишган. Одатда энергиядан оқилона фойдаланиш ҳамда ҳар бир компонентнинг индивидуал ишлашини аниқлаш учун энергетик ва эксергетик таҳлил параллел равишда олиб борилади. Регенерациянинг технологик ҳаво сарфига ва регенерация ҳарорати тизим маҳсулдорлигига таъсири ўрганилган. Натижалар шуни кўрсатадики, эксергия асосий қисмининг тақсимланиши рекуператор ва қуёш коллекторларига тўғри келади. Тизим маҳсулдорлигининг юқори назарий чегарасини эксергетик ҳамда анергетик таҳлил ёрдамида аниқлаш мумкин. Массавий сарфлар нисбати ва регенерация ҳарорати талаб этиладиган регенерация иссиқлигига бевосита таъсир қилади, бу эса ўз навбатида тизимнинг самарадорлигига таъсир кўрсатади. Тизимни юқори самарадорликка эришиши учун массавий сарфлар нисбати ва регенерация ҳарорати кўрсаткичларини оптималлаштириш керак бўлади.*

*Чтобы решить экологические и экономические проблемы при охлаждении зданий необходимы альтернативный и эффективный подходы. В традиционных системах кондиционирования абсорбционное охлаждение решает многие проблемы, связанные с кондиционированием воздуха. В этой статье анализ абсорбционных систем, работающих по вентилиационному циклу т.е. выявлены эксергетические и энергетические методы этих систем. Эксергетический анализ каждой энергетической системы является ключевым фактором для оптимизации и оценки её эффективности. Основная цель анализа состоит в том, чтобы*

максимизировать общую производительность системы путем выявления причины разрушения эксергии. Многие исследователи обсуждали методологию и основные принципы эксергетического анализа. Обычно при разумном использовании энергии определение индивидуальной работы каждой компоненты, эксергетический и энергетический анализы ведутся параллельно. Изучено воздействие регенерации в соотношении расходов воздуха и температуры для увеличения производительности системы. Исследования показали, что основная часть распределения эксергии приходится на рекуператор и солнечные коллектора. Верхний предел производительности системы определяется с помощью эксергетического и энергетического анализа. Соотношение массового расхода и температуры регенерации влияет на требуемую регенерацию тепла. Это, в свою очередь, влияет на производительность системы. Для того чтобы повысить эффективность системы необходимо повысить соотношения массовых расходов и провести оптимизацию регенерации.

*To solve the environmental and economic problems in building cooling, an alternative and efficient approach is needed. In traditional air conditioning systems, absorption refrigeration solves many of the problems associated with air conditioning. This article developed an analysis of absorption systems operating on a ventilation cycle i.e. exergy and anergy methods of these systems have been identified. The exergy analysis of each energy system is a key factor in optimizing and evaluating its efficiency. The main goal of this analysis is to maximize the overall performance of the system by identifying the cause at the sites of exergy breakdown. Many researchers discussed the methodology and basic principles of exergy analysis. Usually, with a reasonable use of energy, the determination of the individual work of each component, exergy and anergy analysis is carried out in parallel. The effects of regeneration in the ratio of air flow and temperature on the performance of the system have been studied. Studies have shown that the main part of the distribution of exergy falls on the heat exchanger and solar collectors. The upper limit of system performance is determined using exergy and anergy analysis. The relationship between mass flow and regeneration temperature affects the required heat recovery. This in turn affects system performance. In order to increase the efficiency of the system, it is necessary to increase the mass flow ratio and optimize the indication of regeneration temperatures.*

**Введение:** Тепловая энергия требуется для работы адсорбционных холодильных агрегатов, эта технология признана подходящей и рентабельной альтернативой традиционным системам охлаждения. Система в основном состоит из адсорбционного осушителя, рекуператора тепла, ис-

точника тепла и испарительных охладителей. При его работе горячий и влажный воздух осушается после прохождения через адсорбционный осушитель, а затем сухой воздух охлаждается в рекуператоре. Испарительные охладители используются для достижения требуемых условий подачи воздуха в помещение. Система может работать по открытому (вентиляция или рециркуляция) или по замкнутому циклу. Чтобы работа была непрерывной, тепло подается для регенерации адсорбционного осушителя, и для этой цели используются возобновляемые источники энергии, такие как; солнечная энергия, биомасса, отработанное тепло и т.д.

Эксергетический анализ любой энергетической системы является ключевым фактором для оптимизации и оценки ее эффективности. Основная цель такого анализа обычно состоит в том, чтобы максимизировать общую производительность системы путем выявления причин/участков разрушения эксергии. Многие исследователи обсуждали методологию и основные принципы эксергетического анализа. Эксергетический анализ может быть выполнен для всей системы или для сложной системы, это может быть выполнено для каждого компонента отдельно.

Авторы [1, 2, 3] провели эксергетические анализы системы HVAC, включающие психрометрические процессы. Соотношения для эффективности эксергии, генерации энтропии и энергии были разработаны для систем кондиционирования воздуха, которые обычно используются, включая охлаждения, охлаждения с осушением, нагрев с осушением и испарительное охлаждение.

Потенциал системы совершать работу относительно ее мертвого состояния определяется как эксергия этой системы. Мертвое состояние возникает, когда между системой и окружающей средой возникает равновесие [4÷6]. Энергия, которая не имеет рабочего потенциала и отбрасывается в окружающую среду, называется потерянной энергией или эксергией.

В общем:

$$\text{Энергия} = \text{Эксергия} + \text{Анергия}. \quad (1)$$

Удельная эксергия, энергия и анергия для потока без учета потенциальной и кинетической энергий определяется как:

$$E_{\text{экс}} = E = (h - h_0) - T_0(s - s_0); \quad (2)$$

$$E_{\text{эн}} = h - h_0; \quad (3)$$

$$E_{\text{анер}} = T_0(s - s_0); \quad (4)$$

Первый и второй закон термодинамики можно изменить, используя понятия эксергии и анергии как:

1) в процессе значение полной суммы анергии и эксергии остается постоянным,

- 2) эксергия уменьшается, а анергия возрастает в любом реальном процессе с той же скоростью генерации энтропии,
- 3) анергия не имеет потенциала работы, т.е. не может быть преобразована в эксергию,
- 4) в мертвом состоянии все виды энергии являются энергиями (не имеют рабочего потенциала).

Таблица 1

Энергоэффективность	Эксергетическая эффективность
Определено первым законом термодинамики	Определено вторым законом термодинамики
Всегда больше 0, но в некоторых случаях может быть больше 1, т.е. тепловые насосы и т.д.	Всегда между 0 и 1
Не всегда однородные условия	Однородные условия

Метод анализ системы охлаждения солнечного осушителя.

*Энергетический анализ.* Базовый цикл осушительного охлаждения, работающий в режиме вентиляции, показан на рис. 1. Для баланса энергии в системе обычно ссылаются на первый закон термодинамики, который говорит, что энергия системы сохраняется. Коэффициент полезного действия для системы, которая представляет собой тепловой процесс, определяется как:

$$\text{КПД} = \frac{Q_{\text{отв}}}{Q_{\text{под}}} \quad (5)$$

Эффективность вращающегося теплоутилизатора (ВРТ) и влагопоглотителя (ВП) при различных значениях массового расхода процесса и регенерации выражается как

$$\varepsilon_{\text{ВРТ}} = \frac{m_1 \cdot (T_2 - T_3)}{m_2 \cdot (T_2 - T_6)} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{\text{ВП}} = \frac{m_1 \cdot (T_2 - T_1)}{m_2 \cdot (T_3 - T_1)} \quad (7)$$

Эффективность двух испарительных охладителей (ИО) можно выразить как:

$$\varepsilon_{\text{ИО,п}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{\text{WS}}} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\text{ИО,р}} = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_{\text{WS}}} \quad (9)$$

*Эксергетический анализ.* Для потока без учета кинетической и потенциальной энергий показатель эксергии можно записать как:

$$\bar{E} = mE = m \cdot [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (10)$$

После этого определится анергия, называемая также эксергетической разрушения, и эксергетическая эффективность для всех компонен-

тов системы. Скорость эксергетического разрушения может быть получена из скорости генерации энтропии ( $S_{\text{ген}}$ ):

$$\bar{E}_{\text{разрушения}} = T_0 * \bar{S}_{\text{ген}}. \quad (11)$$

$T_0$  температура мертвого состояния, которая в данном случае соответствует  $T_1$ . Скорость генерации энтропии для влагопоглотителя (осушителя), рекуператора тепла, испарительного охладителя и солнечного коллектора [9-11] определяется выражениями:

$$\bar{S}_{\text{ген,ВП}} = \bar{m}_1(s_2 - s_1) + \bar{m}_2(s_9 - s_8); \quad (12)$$

$$\bar{S}_{\text{ген,ВРТ}} = \bar{m}_1(s_3 - s_2) + \bar{m}_2(s_7 - s_6); \quad (13)$$

$$\bar{S}_{\text{ген,ИО 1}} = \bar{m}_1(s_4 - s_3) + \bar{m}_{\text{влага,пр}} * S_{\text{вода}}; \quad (14)$$

$$\bar{S}_{\text{ген,ИО 2}} = \bar{m}_2(s_6 - s_5) + \bar{m}_{\text{влага,рег}} * S_{\text{вода}}; \quad (15)$$

$$\bar{S}_{\text{ген,СК}} = \bar{m}_2(s_8 - s_7) - \frac{Q_{\text{рег}}}{T_8}. \quad (16)$$

Соотношение эксергетического КПД для системы, изображенной на рис. 1, можно записать в виде:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\text{Эксергия}_{\text{выход}}}{\text{Эксергия}_{\text{вход}}} = \frac{E_{\text{охл.}}}{E_{\text{тепло}}}, \quad (17)$$

где

$$\bar{E}_{\text{охл.}} = \bar{m}_1[(h_1 - h_4) - T_1(s_1 - s_4)]; \quad (18)$$

$$\bar{E}_{\text{тепло}} = \bar{m}_2[(h_8 - h_7) - T_1(s_8 - s_7)]. \quad (19)$$

Точно так же для отдельных компонентов (влагопоглотителя и колеса рекуперации тепла) эксергетический коэффициент полезного действия определяется выражением:

$$\eta_{\text{ВП}} = \frac{(h_2 - h_1) - T_1(s_2 - s_1)}{(h_9 - h_8) - T_1(s_9 - s_8)}, \quad (20)$$

$$\eta_{\text{ВРТ}} = \frac{(h_3 - h_2) - T_1(s_3 - s_2)}{(h_7 - h_6) - T_1(s_7 - s_6)}. \quad (21)$$

Его можно найти также как:

$$\eta_{\text{эксергия}} = 1 - \frac{E_{\text{разр.}}}{E_{\text{вход}}}. \quad (22)$$

Для двух испарительных охладителей соотношение эксергетической КПД можно записать в виде

$$\eta_{\text{ИО,1}} = 1 - \frac{E_{\text{разр,ИО,1}}}{E_3}, \quad (23)$$

$$\eta_{\text{ИО,2}} = 1 - \frac{E_{\text{разр,ИО,2}}}{E_5}, \quad (24)$$

$\bar{E}_3$  и  $\bar{E}_5$  – скорость эксергии в точках состояния 3 и 5, соответственно.

Эксергетический КПД солнечного коллектора можно представить, как:

$$\eta_{\text{СК}} = 1 - \frac{E_{\text{разр.}}}{E_7}. \quad (25)$$

здесь  $E$  – удельная эксергия ( $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ),  $\bar{E}_{\text{экс}}$  – поток мощности эксергии (кВт),  $\bar{E}_{\text{разр.}}$  – разрушение мощности эксергии (кВт),  $\bar{E}_{\text{вход}}$  – входная

мощность эксергии (кВт),  $\bar{E}_{\text{охл.}}$  – работа, необходимая для охлаждения (кВт),  $\bar{E}_{\text{тепло}}$  – подача теплоты регенерации (кВт),  $h$  – удельная энтальпия  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$ ,  $h_0$  – удельная эксергия в мертвом состоянии  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$ ,  $\bar{m}_1$  – расход технологического воздушного потока  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ ,  $\bar{m}_2$  – расход воздушного потока регенерации  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ ,  $\bar{m}_{\text{вл}}$  – скорость добавления влаги в воздух  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ ,  $\bar{Q}_{\text{отв.}}$  – мощность отводимого тепла (кВт),  $\bar{Q}_{\text{под.}}$  – мощность подводимого тепла регенерации (кВт),  $s$  – удельная энтропия  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}\right)$ ,  $s_0$  – удельная энтропия в мертвом состоянии  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}\right)$ ,  $s_w$  – удельная энтропия жидкой воды  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}\right)$ ,  $T_0$  – температура мертвого состояния (K),  $T$  – температура (K),  $p$  – процесс,  $r$  – регенерация,  $w$  – смоченный термометр,  $\varepsilon$  – эффективность,  $\eta$  – коэффициент полезного действия.

**Результат.** Цикл осушительного охлаждения, работающий в режиме вентиляции, как показано на рис. 1, теоретически решается с использованием кривых производительности силикагеля, применением балансов энергии и массы в соответствующих точках. Полученные значения температур (по сухому и влажному термометру), а также относительной влажности в каждой точке состояния после термодинамического анализа цикла, приведены в табл. 2. Температура воздуха в точках состояния 5 и 8 представляет собой требуемую внутреннюю температуру для комфорта человека и соответственно температуру регенерации. Встроенные функции решения инженерных уравнений (EES) используются для получения термодинамических свойств воды и влажного воздуха.

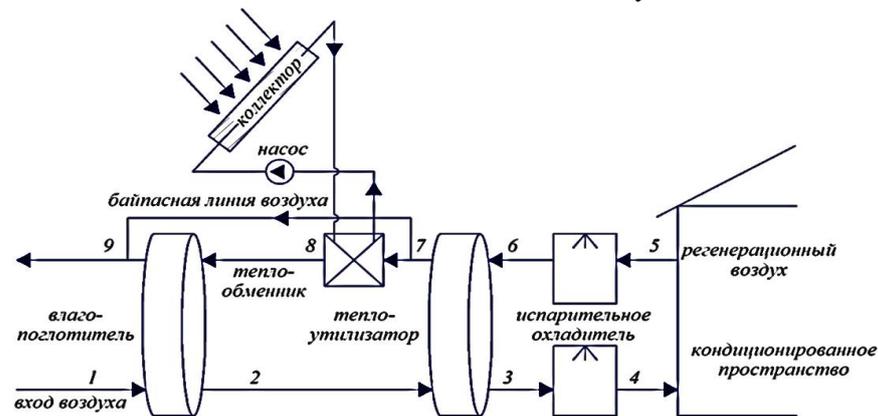


Рис. 1. Принципиальная схема системы охлаждения солнечного осушителя

Величины эффективности, эксергетической эффективности и анергии для системы и ее компонентов представлены в табл. 3.

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Теплоутилизатор имеет низкое значение эксергетического КПД (40%), а также низкую эффективность (52%). Оба испарительные охладители имеют высокое значение КПД (92 и 89%). Испарительные охладители 1 (ИО1) имеют эксергетический КПД 17 %, в то время как для испарительного охладителя 2 (ИО2) это значение составляет 56 %. ИО1 имеет более низкую эксергетическую КПД из-за более высокой необратимости в ИО1, что происходит из-за большей скорости испарения.

Таблица 2

Теоретически рассчитанные свойства адсорбционной системы  
охлаждения

№	$t_{\text{окр.}} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$t_{\text{м.}} \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$d_{\text{окр.}} \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right)$	$\varphi_{\text{окр.}} \text{ (}\% \text{)}$	$i_{\text{окр.}} \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$	$\Delta s_{\text{окр.}} \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{K}} \right)$
1	42	28,2	0,0150	35,1	90,29	5,92
2	62,3	30	0,0056	15,4	117,50	6,01
3	34,3	18,9	0,0056	16,1	40,70	5,75
4	17	15,1	0,0090	82,3	42,29	5,76
5	30,3	26,1	0,0090	73,8	86,95	5,91
6	26,5	23,4	0,0140	78,1	70,88	5,86
7	49,8	35,6	0,0140	30,0	128,9	6,14
8	120	50,8	0,0140	15,0	586,7	7,44
9	90,3	70,2	0,0170	32,3	646	7,63

Источник тепла (солнечный коллектор) считается работающим при постоянной температуре. При таком допущении постоянной температуры эксергетический КПД солнечного коллектора составляет 51%. Значение эффективности влагопоглотителя низкое (53%). Было обнаружено, что эксергетический КПД влагопоглотителя составляет (74%), что является хорошим результатом, поскольку максимально достигнутая эксергетический КПД для этого типа систем составляет около 85%, как сообщает авторы [14].

Чем меньше эксергетический КПД, тем больше значение энергии, как видно из табл. 3. Влагопоглотитель и солнечный коллектор разделяют большую часть энергии с осушителем (32%) общей энергии и солнечным коллектором (31%). Остальные 37 % энергии приходится на теплоутилизаторы (17 %) и испарительные охладители (20 %). Эти полученные результаты показывают хорошее совпадение с экспериментальными результатами, полученными авторами [7, 8, 13]. Из проведенных экспериментов они пришли к выводу, что большая часть генерации энтропии связана с адсорбционным осушителем и системой отопления.

Таблица 3

Измеренные данные по энергии, эксергии и анергии для системы и ее отдельных компонентов

Составная часть	Эффективность (%)	Эксергетический КПД (%)	Анергия ( $E_{разр.}$ ) (кВт)	Анергия ( $E_{разр.}$ ) (%)
Влагопоглотитель	53	74	0,130	32
Тепло-утилизатор	52	40	0,069	17
Испарительный охладитель - 1	92	17	0,062	15,1
Испарительный охладитель - 2	89	56	0,020	4,9
Солнечный коллектор	-	51	0,127	31
Общая система	-	5	0,403	100

Причины необратимости осушителя определены авторы [7, 14]. К ним относятся смешивание технологического и регенерационного воздуха, разница давлений паров между регенерационным воздухом и матрицей осушителя, а также теплопередача. Перенос тепла является основной причиной необратимости в теплоутилизаторе. Способ, принятый для обеспечения подвода тепла, определяет причину необратимости системы отопления. Разность температур ( $T_8 - T_7$ ) является основным фактором необратимости для источника тепла при постоянной температуре (идеальный источник тепла).

Система имеет более низкий общий эксергетический эффективность (5%). Чтобы приблизиться к обратимому КПД, генерация энтропии должна быть минимальной для каждого компонента системы. Процесс минимизации энтропии следует начинать с компонента, имеющего большее эксергетическое разрушение. Эксергетическая эффективность и COP системы могут быть значительно увеличены за счет минимизации эксергетического разрушения в осушительном колесе, колесе рекуперации тепла, солнечном коллекторе и испарительных охладителях. Авторы [8, 15, 16, 17] попытались минимизировать генерацию энтропии, используя теплообменник с мокрой поверхностью вместо испарительных охладителей.

На рис. 2 и рис. 3 показано изменение КПД системы в зависимости от отношения расходов регенерации к технологическому воздуху и соответственно температуры регенерации. Значение КПД системы

увеличивается с уменьшением соотношения расход воздуха, что видно из рис. 2. Увеличение КПД при уменьшении этого соотношения расход воздуха происходит из-за уменьшения расхода воздуха регенерации, что в свою очередь снижает требуемую регенерационную теплоту системы. Как видно из рис. 4, что при соотношении массовых расходов увеличивается скорость или, другими словами, увеличивается массовый расход воздуха для регенерации, а также увеличивается необходимое тепло регенерации. КПД системы снижается по мере увеличения требуемой температуры регенерации, как показано на рис. 3. Снижение КПД системы происходит из-за того, что температура регенерации напрямую влияет на необходимое тепло регенерации. Соотношение массовых расходов и температура регенерации играют важную роль в производительности системы. Рис. 2, рис. 3 и рис. 4 могут быть использованы для оптимизации значений соотношения массовых расходов и температуры регенерации в требуемой зоне работы для достижения высокой производительности системы.

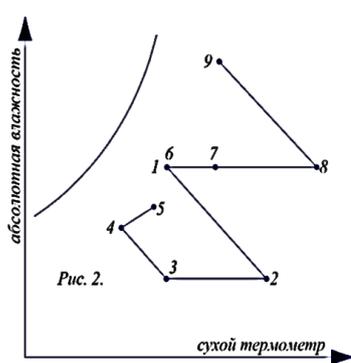


Рис. 2. Характеристика психрометрических процессов

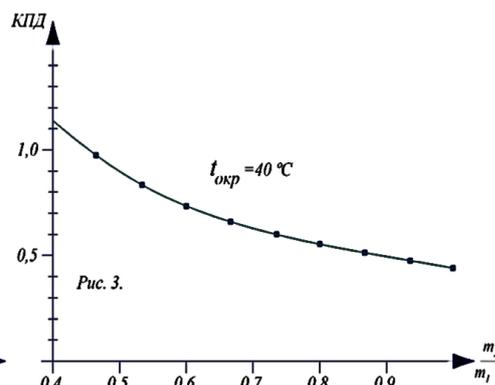


Рис. 3. Изменение КПД в зависимости от отношения массовых расходов

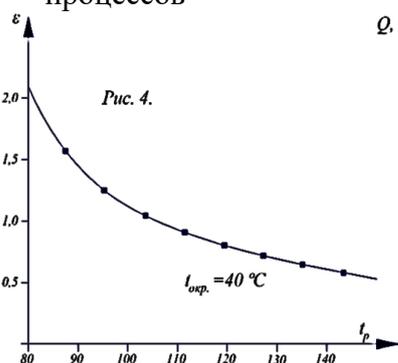


Рис. 4. Изменение КПД в зависимости от температуры регенерации

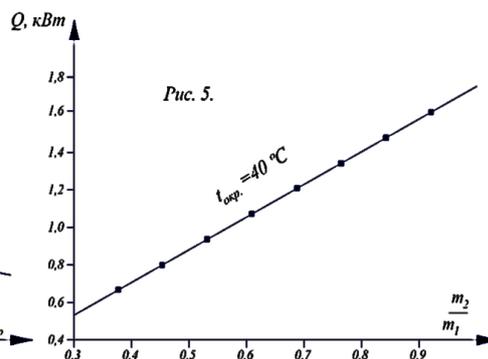


Рис. 5. Изменение теплоты регенерации в зависимости от отношения массовых расходов

**Вывод.** Разработана теоретическая модель осушительной солнечной системы охлаждения (ССО) для анализа производительности системы на основе энергии и эксергии. Анализ показывает, что верхний теоретический предел производительности системы может быть определен из эксергетического анализа. Только энергетический анализ не может быть использован для получения верхнего предела производительности. Этот эксергетический анализ показывает способ минимизации генерации энтропии путем указания участков с максимальной анергией или эксергетической деструкцией. Результаты показывают, что влагопоглотитель и солнечные коллекторы разделяют большую часть эксергетического разрушения из-за различной необратимости.

Также наблюдалось влияние соотношения скорости регенерации к расходу технологического воздуха и температуры регенерации на COP системы. Соотношения массовых расходов и температура регенерации непосредственно влияют на требуемое тепло регенерации, которое, в свою очередь, влияет на КПД системы. Для того, чтобы получить наилучшую производительность системы, значения этих параметров необходимо оптимизировать.

### Литература

1. M. Kanoglu, I. Dincer, and M. A. Rosen, "Exergy analysis of psychrometric processes for HVAC&R applications. (Heating, ventilation, and air-conditioning and refrigeration)," ASHRAE Trans., Jul. 2007.
2. Анисимов С.М. Тепломассообмен в аппаратах с пористой насадкой систем кондиционирования воздуха: Автореф. дисс. док. техн. наук. – Санкт-Петербург, – 1998. – 48 с.
3. Гвоздков А.Н. Повышение эффективности систем утилизации низкопотенциальных ВЭР на основе изучения процессов тепло и влагообмена в контактных аппаратах: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., – 1989. – 18 с.
4. Данько В.П., Дорошенко А.В. Альтернативные системы жизнеобеспечения на основе цикла с непрямой регенерацией абсорбента // Проблемы энергетики, – 2017, – том 19, – № 11-12. – С. 51-61.
5. Дорошенко А.В., Васютинский С.Ю., Данько В.П., Глауберман М.А. Исследование процессов в тепломассообменных аппаратах с подвижной насадкой для солнечных многофункциональных систем // Физика аэродисперсных систем. – 2012. – № 49. – С. 14-26.
6. Анисимов С.М., Полушкин В.И., Панделидис Д. Использование аппаратов косвенно-испарительного охлаждения в солнечных установках

кондиционирования воздуха // Журнал Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 41-49

7. I.L. Maclaine-cross, “High-performance adiabatic desiccant open-cooling cycles,” J. Sol. Energy Eng., vol. 107, no. 1, p. 102, 1985.

8. M. Pons and A. Kodama, “Entropic analysis of adsorption open cycles for air conditioning. Part 1: first and second law analyses,” Int. J. Energy Res., vol. 24, no. 3, pp. 251-262, Mar. 2000.

9. Avezov R.R., Vokhidov A.U., Usmonov N.O. Heat Transfer Coefficient from the Sheet-Piped Light-Absorbing Panels of the Flat-Plate Solar Water-Heating Collectors to the Heat Transfer Fluid in Their Heat-Removing Channels // Applied Solar Energy, – 2018, – Vol. 54, – No. 3, – pp. 168-172.

10. Авезов Р.Р., Усмонов Н.О. Определение теплотехнических параметров солнечных водонагревательных коллекторов методом «темнового» тестирования // Научно-технический журнал ФерПИ, – 2020, – Том 24, – № 5, – С. 14–18.

11. Duffie, J.A. and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, New York: Wiley, 2013.

12. Usmonov N.O., Mavjudova Sh.S., Ivanisova A.R. Mathematical modeling of heat and mass exchange processes in the evaporative cooler / E3S Web of Conferences 304, ICECAE 2021. 01012 (2021).

13. Camargo J.R., Godoy Jr.E., Ebinuma C.D. An Evaporative and Desiccant Cooling System for Air Conditioning in Humid Climates, July 2005. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 27(3).

14. E. Van den Bulck, S. A. Klein, and J. W. Mitchell, “Second law analysis of solid desiccant rotary dehumidifiers,” J. Sol. Energy Eng., vol. 110, no. 1, pp. 2-9, Feb. 1988.

15. Joohyun Lee, Dae-Young Lee. Design, fabrication, and testing of a compact regenerative evaporative cooler with finned channels / International Journal of Energy for a Clean Environment, – 2011. – 12(2–4), – P. 221–237.

16. Stefano De Antonellis, Cesare M.J., Luca Molinaroli. Simulation, performance analysis and optimization of desiccant wheels / Energy and Buildings, 2010. – №42. – 1386–1393. DOI:10.1016/j.enbuild.2010.03.007.

17. Camargo J.R., Ebinuma C.D., Silveira J.L. Thermoeconomic analysis of an evaporative desiccant air conditioning system / Applied Thermal Engineering, 2003. – №23 – P.1537–1549.

*Представлено Ташкентским  
государственным техническим университетом*

УДК 621.64

### АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

**А.А. Садиев, Хусниддин А. Кучинов, Анвар А. Садиев**

*Issiqlik energiyasini ishlab chiqarish va etkazib berishni hisobga olish, shuningdek, texnologik jarayonlarni kuzatish va nazorat qilish uchun sovutish suvining oqim, bosim va harorat kabi parametrlarini o'lchash kerak. Energiya qozonining energiya samaradorligini baholash yoqilg'i sarfi va issiqlik ishlab chiqarish bo'yicha ma'lumotlarga asoslanadi, ular gaz hisoblagichlari va issiqlik hisoblagichlarining o'qishlari bilan belgilanadi. Bunday qurilmalarning asosiy metrologik xarakteristikasi ularning aniqlik klassi bo'lib, odatda o'lchov vositalarining mutlaq va nisbiy xatolarining standartlashtirilgan chegaralari ko'rinishida ifodalanadi. Energiya resurslarini o'lchash vositalarining ruxsat etilgan xatosining issiqlik manbasining energiya samaradorligi ko'rsatkichiga ta'sirini nazariy baholash issiqlik ta'minoti korxonasining mavjud issiq suv qozonlaridan biri misolida ko'rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, haqiqiy samaradorlik darajasida. qozon agregati 92 %, hisoblangan qiymat o'xshash o'lchash asboblari bilan o'lchash natijalariga ko'ra 89÷95 % ichida teng ehtimollik bilan aniqlanishi mumkin. Issiqlik tarmoqlarida yo'qotishlarni aniqlashda issiqlik o'lchash moslamalarining aniqligi bilan bog'liq muammolar kam emas. Haqiqatda 5,0 % bo'lgan issiqlik energiyasining yo'qolishi, bunday o'lchash asboblari tomonidan o'tkazilgan o'lchov natijalariga ko'ra -4,8 % dan +14,8 % gacha bo'lgan qiymatlarni olishi mumkinligi aniqlandi.*

*Для учёта выработки и отпуска тепловой энергии, а также ведения контроля и управления технологическими процессами необходимо измерение параметров теплоносителя: расход, давление и температура. Оценка энергоэффективности энергетического котла производится на основе данных о расходе топлива и выработке тепловой энергии, которые определяются по показаниям счётчика газа и теплосчётчиков. Основной метрологической характеристикой таких приборов является их класс точности, которую обычно выражают в виде нормируемых пределов абсолютной и относительной погрешности средств измерений. Теоретическая оценка влияния допустимой погрешности измерительных приборов энергоресурсов на показатель энергоэффективности теплоисточника, рассмотрена на примере одного из действующих водогрейных котлов теплоснабжающего предприятия. Результаты исследования показали, что при действительном к.п.д. котлоагрегата*

92 %, расчетное значение может быть с равной вероятностью определено в пределах 89÷95 % по результатам измерений подобными приборами учёта. Не меньше проблем с точностью приборов учёта тепловой энергии возникает при определении потерь в тепловых сетях. Выявлено, что потери тепловой энергии, составляющие в реальности 5,0 %, по результатам измерений подобными приборами учёта могут приобретать значения в пределах от -4,8 % до +14,8 %.

*To account for the generation and supply of thermal energy, as well as to monitor and control technological processes, it is necessary to measure the parameters of the coolant, such as flow, pressure and temperature. The assessment of the energy efficiency of a power boiler is based on data on fuel consumption and heat generation, which are determined by the readings of the gas meter and heat meters. The main metrological characteristic of such devices is their accuracy class, which is usually expressed in the form of standardized limits of the absolute and relative errors of measuring instruments. A theoretical assessment of the influence of the permissible error of measuring instruments of energy resources on the energy efficiency indicator of a heat source is considered on the example of one of the existing hot water boilers of a heat supply enterprise. The results of the study showed that at the actual efficiency. boiler unit 92 %, the calculated value can be determined with equal probability within 89÷95 % based on the results of measurements by similar metering devices. No less problems with the accuracy of heat metering devices arise when determining losses in heat networks. It was found that the loss of thermal energy, which in reality is 5.0%, according to the results of measurements by such metering devices, can acquire values ranging from -4.8 % to +14.8%.*

**Введение.** Информация, на основе которой формируют технико-экономические показатели производства и производят финансовые взаиморасчеты между теплоснабжающим предприятием и потребителями тепловой энергии, получают по показаниям различных приборов учёта ТЭР. Главной метрологической характеристикой этих приборов является их точность, которую обычно выражают в виде нормируемых пределов относительной погрешности средств измерений. В алгоритмах расчета современных измерительных приборов заложены определённые упрощения, которые снижают степень воздействия различных сложнoзависимых факторов на физические параметры измеряемой среды [1].

Регламентируемая допустимая погрешность измерительных приборов обеспечивается при строгом соблюдении нормативных требований по установке и эксплуатации измерительных приборов. Все существующие приборы замера и учета имеют определенный диапазон

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

---

измерений (уставок) при котором обеспечивается допустимая погрешность показаний, как правило уставки соответствуют номинальным параметрам работы оборудования. При работе за пределами уставок, значение относительной погрешности измерений соответственно изменяется. По данным энергетических обследований (энергоаудитов), проведенных за последние годы на различных предприятиях республики, зафиксированы случаи, когда допустимая погрешность измерений теплосчётчиков не укладывались в заявленные изготовителем значения, даже через год после поверки приборов, а значения погрешности достигали 50 % и выше. Необходимо особо отметить, что в реальных условиях эксплуатации теплосетей, в трубопроводах расход теплоносителя имеет переменный характер, в то время как поверку приборов учета до сих пор проводят по принципу постоянного расхода теплоносителя.

Современный теплосчётчик — это прибор или чаще комплект приборов для учёта тепловой энергии, включающий в себя первичные преобразователи (датчики расхода, температуры и давления воды) и микропроцессорный вычислитель. Функцией первичных преобразователей является измерение и преобразование измеряемых физических величин (расход, температура, давление) в нормированные электрические сигналы, передаваемые в вычислитель. Последний по полученным сигналам фиксирует текущий расход и температуру теплоносителя и производит расчёт интегрального во времени расхода теплоносителя, текущего и интегрального во времени потребления тепловой энергии. Как правило, вычислитель обладает дополнительными функциями: архивация показаний, диагностика неисправностей, наличие интерфейса передачи данных.

При выборе метрологических характеристик расходомера для теплосчётчиков обычно стремятся применять расходомер, обладающий наиболее высокой точностью. Однако это не всегда оправдано. При определении тепловой энергии, необходимо знать, кроме объёмного расхода теплоносителя, его плотность, разность температур на входе и выходе теплотрассы, рабочее давление в трубопроводе. В расчётную формулу входит также теплоёмкость. Погрешность результата вычисления тепловой энергии даже при абсолютно точном измерении объёмного расхода составляет не менее 3-5 %. Очевидно, что при такой точности определения тепловой энергии расход теплоносителя достаточно измерять с погрешностью 1-2 %. При этом точность измерения тепловой энергии практически не снизится. Применение расходомера более высокой точности приводит лишь к дополнительным финансовым затратам из-за сложности изготовления прибора и его метрологического обеспечения [2].

**Влияние погрешности приборов измерения на показатели энергоэффективности работы теплоисточника.** Энергоэффективность

работы теплоисточника оценивают по следующим показателям: фактический к.п.д. брутто котла (%); приведенный к.п.д. котла (%); фактический удельный расход топлива на единицу вырабатываемой энергии, (т.у.т./Гкал). Таким образом, чтобы оценить энергоэффективность котла, необходимо иметь соответствующие данные о расходе топлива и выработке тепловой энергии, которые определяются по показаниям счётчика газа и теплосчётчиков. Теоретическую оценку влияния допустимой погрешности измерительных приборов ТЭР на показатель энергоэффективности котлоагрегата, рассмотрим на примере одного из действующих водогрейных котлов теплоснабжающего предприятия. При паспортном значении к.п.д. котла 92 %, номинальный удельный расход топлива составит  $b_k = 155,3$  кг у.т./Гкал. Согласно П.5.4 О'zdst\_8.031-2008 «Топливо и энергия. Оснащение приборами учета и их эксплуатация» допускается применение теплосчётчиков с пределами относительной погрешности [3]:

±3,5 % при разности температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 20 °С для закрытых систем теплоснабжения;

±5,0 % при разности температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 20 °С для открытых систем теплоснабжения.

Для счётчиков газа они не должны выходить из диапазона ±1,5 %, а для счётчиков воды ±2,5 %.

Пределы относительной погрешности измерений удельного расхода топлива (как и КПД) равны сумме соответствующих пределов относительной погрешности применяемых теплосчётчиков и счётчиков газа:  $\delta_{b_k} = \pm 3,5 + 1,5 = \pm 4,0$  %. Для рассматриваемого примера это означает, что если фактический (действительный) удельный расход условного топлива котла равен 155,3 кг у.т./Гкал, то результат его определения по приборам учёта может находиться с равной вероятностью в диапазоне от 149,1 до 161,5 кг у.т./Гкал. Это также означает, что при фактическом КПД котла равному 92 %, рассчитанный по показаниям измерительных приборов КПД может находиться в пределах от 88 % до 96 %.

Точность серийных приборов учёта регламентирована действующими стандартами. При существующем технологическом уровне и широком применении новых экспериментальных подходов можно создать теплосчётчики с реальными пределами относительной погрешности ±0,2 % при измерении тепловой энергии. Но стоит они будут в десятки раз дороже применяемых в настоящее время. Сегодня наилучшими по точности по экономически целесообразной стоимости являются:

- ❖ счётчики газа с пределами относительной погрешности ±1,0 %;
- ❖ теплосчётчики класса 1 по ЕН 1434-2011 с пределами

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

относительной погрешности, которые определяются по формуле:

$$\delta_Q = \pm \left( 2 + 3 \times \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_i} + 0,01 \frac{G_{\max}}{G_i} \right), \% ; \quad (1)$$

где  $\Delta t_{\min}$  и  $\Delta t_i$  — минимальная и текущая разности температур, измеряемые теплосчётчиком, °С;

$G_{\max}$  и  $G_i$  — максимальное и текущее значения расхода, измеряемого теплосчётчиком, т/ч.

Чтобы вместо формулы (1) получить некое представительное численное значение, определим относительную погрешность системы измерения состоящего из наиболее распространённых приборов учёта при средних условиях их эксплуатации.

Примем  $\Delta t_{\min} = 2,5$  °С (у теплосчётчиков СВТУ). Средняя температура наружного воздуха отопительного сезона для Ташкента равна 1,5 °С. Расчётная разность температур теплоносителя при утверждённом температурном графике отопления —  $\Delta t \approx 25$  °С.

Принято, что расход теплоносителя через котёл находится в зоне 50 % диапазона измерений (фактический график работы подавляющего большинства теплоисточников, то есть:  $G_{\max}/G_i = 2$ ).

Подставим принятые значения в формулу (1) и получим:

$$\delta_Q = \pm \left( 2 + 3 \times \frac{2,5}{25} + 0,01 \times 2 \right) = \pm 2,32\%.$$

С учётом погрешности счётчика газа результирующая величина пределов относительной погрешности измерений удельного расхода топлива составит:

$$\delta_{b_k} = \pm 1 + 2,32 = \pm 3,32\%.$$

Для рассматриваемого примера это означает, что при фактическом удельном расходе условного топлива 155,3 кг у.т./Гкал, расчетное значение, по показаниям измерительных приборов учёта, может находиться в диапазоне 150,1÷160,5 кг у.т./Гкал. Соответственно, при действительном к.п.д. котла 92 %, расчетное значение может быть с равной вероятностью определён в пределах от 89 до 95 % по результатам измерений подобными приборами учёта.

**Влияние погрешности измерения приборов учёта тепловой энергии на достоверность определения потерь в тепловых сетях.** Не меньше проблем с точностью приборов учёта тепловой энергии возникает при определении потерь в тепловых сетях. Их фактическую величину рассчитывают как разность между показаниями теплосчётчика на источнике тепловой энергии и суммы показаний параллельно присоединённых к этому источнику теплосчётчиков потребителей.

При определении количества отпущенной теплоты по показаниям аналоговых вторичных приборов, регистрирующих температуры и расход, погрешность учёта в целом по источнику с несколькими магистралями

составляет  $\pm(4-5)\%$ , а по отдельной магистрали даже при закрытой системе теплоснабжения достигает  $\pm(5-10)\%$  и более [4].

подавляющее большинство потребителей локальных котельных ГУП «TOSHISSIQQUVVATI», имеют тепловую нагрузку до 14 ГДж/ч (3,22 Гкал/ч). В соответствии с требованиями O'zdst\_8.031-2008 на узлах учёта локальных котельных с открытой системы теплоснабжения допускается установка тепло-счётчиков с пределами относительной погрешности  $\delta_{Q-и} \leq |\pm 5,0| \%$ .

Пределы относительной погрешности при измерении потерь в тепловых сетях по результатам измерений теплосчётчиков следует определять по формуле:

$$\delta_{\Delta Q-TC} = \pm \left| \frac{\delta_{Q-и} + (1 - A_{TC})\delta_{Q-п.э}}{A_{TC}} \right|_{max}; \quad (2)$$

где  $A_{TC}$  — расчётная доля тепловых потерь в общем балансе тепловой энергии (например, если расчётные потери в тепловых сетях равны 5 %, то  $A_{TC} = 0,05$ );

$\delta_{Q-и}$  — пределы относительной погрешности результатов измерений отпущенной в сеть тепловой энергии на узле учёта поставщика, %;

$\delta_{Q-п.э}$  — результирующие пределы относительной погрешности суммы результатов измерений теплосчётчиков на узлах учёта потребителей, %.

На сегодняшний день нет регламентирующих документов, которые определяют методику расчёта суммы результатов измерений теплосчётчиков на узлах учёта потребителей ( $\delta_{Q-п.э}$ ). Условно примем, что  $\delta_{Q-п.э} = \delta_{Q-п}$ . Это действительно так, если у потребителей стоят теплосчётчики одинакового класса точности, и доказать это в строгой математической форме не составляет труда.

В указанном случае пределы относительной погрешности при определении потерь в тепловых сетях составят:

$$\delta_{\Delta Q-TC} = \pm \left| \frac{5 + (1 - 0,05) \times 5}{0,05} \right|_{max} = 195 \%$$

Таким образом, потери тепловой энергии, составляющие в реальности 5,0 %, по результатам измерений подобными приборами учёта могут приобретать значения от  $-4,8 \%$  до  $+14,8 \%$ . Это значит, что даже при хорошем состоянии изоляции теплотрасс результат оценки потерь в них, то есть их уровень энергоэффективности, по показаниям приборов учёта может быть как очень плохим, так и неправдоподобно хорошим.

Поскольку строгий математический вывод формулы (2) требует определённой подготовки, проверим её правильность методом упрощенного математического моделирования.

Допустим, что в реальных условиях работы теплоисточника:

- котельная отпустила за расчётный период 300 Гкал тепловой

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

---

энергии;

- потребители использовали 285 Гкал;
- тепловые потери составили 15 Гкал, или 5 % от объёма отпущенной тепловой энергии.

Определяем граничные пределы относительной погрешности системы замера, т.е. максимальные значения наилучших допустимых вариантов работы теплосчётчиков.

Вариант «верхний предел»: показания теплосчётчика на узле учёта теплоисточника в сторону «больше» (на + 5,0 %), т.е. отпущено в сеть  $300 \times 1,05 = 315$  Гкал. При этом показание теплосчётчика потребителя отклонилось максимально в сторону «меньше» (– 5,0 %), т.е. полученная тепловая энергия определится как  $285 \times 0,95 = 270,8$  Гкал. В таком случае, тепловые потери будут равны:  $315 - 270,8 = 44,2$  Гкал, что составляет 14,8 % действительного объёма отпущенной тепловой энергии (300 Гкал). Погрешность в показаниях тепловых потерь (44,2 Гкал) составит 195 % по отношению к действительному значению (15 Гкал) потерь в тепловых сетях.

Рассмотрим вариант «нижний предел»: теплосчётчик теплоисточника занизит результаты измерений на допустимую величину (– 5,0 %), а теплосчётчики потребителей завьсят их в пределах допуска (+ 5,0 %). В таком случае получается, что по показаниям подобного «объективного» контроля, потребитель на 4,8 % получил больше тепловой энергии, чем отпущено теплоисточником и при этом отсутствуют тепловые потери — что явно противоречит всем законам физики. В то же время, в практической деятельности, поставщикам тепловой энергии нередко приходится сталкиваться с различными вариантами таких ситуаций.

**Выводы.** Для определения допустимого предела погрешности замеров в технических системах, в которых установлены множество приборов и измеряются несколько параметров, необходимо рассчитывать суммарную погрешность системы технического измерения.

При определении допустимого предела погрешности измерительной системы, необходимо составить линейную схему измерения, в которой указываются зависимость параметров измерения и факторы влияющие на погрешность измерения, с учётом которого определяется суммарная допустимая погрешность измерения.

Выход показаний измерительной системы за пределы суммарной допустимой погрешности свидетельствует о неисправности системы измерения.

### Литература

1. Рябинкин В.Н. О проблемах учёта тепловой энергии и

теплоносителей в котельных, РТС и ТЭС // Энергобезопасность в документах и фактах № 5 (11), 2006.- С. 24-31.

2. Седнин В.А. Опыт внедрения и эксплуатации теплосчётчиков в системах теплоснабжения // Энергия и Менеджмент № 4-5 (73–74), 2013. - С. 22-26.

3. Ozdst\_8.031-2008 Государственная система обеспечения единства измерений Республики Узбекистан. Топливо и энергия. Оснащение приборами учёта и их эксплуатация.

4. Цванг П.С., Косарев В.А., Иванова Г.М. Проблемы учёта теплоты, отпущенной источниками // Энергосбережение № 5, 2002.

5. Миликовский Ю., Егоренкова Л. Точность измерений – гарантия эффективности // Вечерний Минск, № 8 (12615), 2015.

6. Курзаева Л. В. Регрессионный анализ в электронных таблицах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований № 12, 2016. - С. 1234-1238.

7. Малафеев В. А. Что продаётся в системах теплоснабжения и как правильно это измерить // Энергосбережение №5, 2003.

8. Методология по определению параметров энергоэффективности технологического оборудования с учётом критериев передового международного опыта / Приказ № 491 агентства «Узстандарт», 2015.

9. Кузник И.В., Тиунов М.Ю., Брюханов В.А. Метрологические проблемы измерений тепловой энергии в открытых системах водяного теплоснабжения // Законодательная и прикладная метрология № 5, 2000.

10. Милейковский Ю. С. Инновационные подходы как наиболее эффективный механизм для существенного снижения затрат в коммунальном хозяйстве // ЭиМ № 3 (90), 2016. - С. 15-21.

11. Милейковский Ю. С. Метрологические проблемы при оценке показателей энергоэффективности // ЭиМ № 4–5 (73–74) 2013. - С. 14-18.

12. Никитин Е. Е. Кузменко Ю. В., Зайцева Е. А. и др. Определение тепловых потерь в тепловых сетях по показаниям приборов учёта тепловой энергии // Энерготехнологии и ресурсосбережение, №1, 2013. - С. 13-19.

13. Никитин Е.Е., Дутка А.В. Тариовский М.В. Анализ структуры и эффективности функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов // Энерготехнологии и ресурсосбережение, № 3, 2012. - С. 30-42.

14. Кулик М.М., Куц Г.О., Билодид В.Д. Анализ стану розвитку систем теплопостачання в Україні // Проблеми загальної енергетики, № 15, 2007. - С. 13-25.

*Представлено Ташкентским государственным техническим университетом и УП «ARMSU» АО «Sredazsvetmetenergo»*

УДК 621.313.3.045

### ҚУТБЛАР СОНИ ҰЗГАРУВЧАН ИККИ ТЕЗЛИКЛИ ЭЛЕКТР МОТОРЛАРНИНГ ДИНАМИК ИШ РЕЖИМЛАРИНИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Ж.Б.Тошов, Д.А.Рисмухамедов, Ф.Н.Тўйчиев, А.Л.Ҳақбердиев

*Ушбу мақолада шахта ўзиюрар вагонининг юриш қисми электр юритмаларининг асинхрон электр моторларида бўладиган ўткинчи жараёнларнинг пайдо бўлишини сабаблари кўрсатилган. Қутблар сони ўзгарувчан икки тезликли асинхрон моторни қўлланилиши соҳалари келтирилган. Ҳозирги вақтда ишлаб чиқаришининг кўпгина соҳаларида қўлланилиб келинаётган икки тезликли асинхрон электр моторнинг динамик иш режими тадқиқ қилинган. Тадқиқот объекти сифатида шахта ўзиюрар вагонининг юриш қисми электр юритмасидаги АВТМ – 6/12 икки тезликли асинхрон моторини валида 600 Нм юклама бўлган ҳолат учун ишга туширганда ва иккинчи тезликка ўтгандаги иш режимилари ўрганилган.*

*В данной статье приведены причины возникновения переходных процессов в асинхронных электродвигателях в приводах шахтного самоходного вагона. Приведены области применения двухскоростных асинхронных двигателей с полюс переключаемыми обмотками. В настоящее время в используемых двухскоростных двигателях не исследованы динамические режимы. В качестве объекта исследования был принят двухскоростной асинхронный двигатель марки АВТМ – 6/12 на приводе шахтного самоходного вагона в рабочих режимах при отсутствии нагрузки на валу и при пуске с нагрузкой 600 Нм и переключением на вторую скорость.*

*This article shows the reasons for transients in asynchronous motors on drives. The application areas of two-speed asynchronous motors with pole-switched windings are given. Currently, dynamic modes have not been investigated in the used two-speed engines. As the object of the study, a two-speed asynchronous motor of the AVTM - 6/12 brand of the ShPSW drive was adopted in operating modes with no load on the shaft and when starting with a load of 600 Nm and switching to a second speed.*

**Кириш.** Ҳозирги вақтда шахта ўзиюрар вагонлари руда, калий ва кўмир конларида фойдали қазилмани магистрал транспорт воситаларигача ёки руда туширгичгача бўлган масофада етгазиб бериш

учун кенг қўлланилади. Шахта ўзиюар вагонлари газ (метан) ва кўмир чанги хавфли, атроф-муҳит ҳарорати 35 С гача, нисбий намлик 98% гача бўлган шароитларда фойдали қазилмани ташиш учун мўлжалланган бўлиб, бункер-кузов остки қисмига сидирғичли конвейер ўрнатилган шассидан ташкил топган. Шахта ўзиюар вагонининг юриш қисми электр юритмадан, рул ва тормозни бошқарув тизимидан иборат. Базавий моделнинг юрғизиш юритмаси иккита уч тезликли мотор билан жиҳозланган бўлиб, барча ғилдирақлар юритувчи ва бошқариладиган [1].

Мурақаб кон техник шароитга эга бўлган ер ости конларида камерали қазиб олиш тизимида фойдали қазилма жойлашган қатламнинг ётиш қиялигини тез-тез ўзгариб туриши қазиб олиш лаҳимидаги йўлнинг ҳолатини намунали йўлдан тубдан фарқ қилиши сабабли АВТМ15-4/6/12 русумли уч тезликли электр моторни фақат иккита, яъни 1000/500 айл/мин тезлигида ишлатишга мажбур бўлинмоқда. Бунда ўз-ўзидан кўриниб турибдики электр моторнинг доимо юклама билан ишлаши статор чўлғамларини муддатидан олдин ишдан чиқишига олиб келмоқда [2,3,4].

Шунга кўра мурақаб кон-техник шароитли конларда ишлатилаётган ШСВ ларини ишлатувчилар талабадан келиб чиқиб, юриш қисми электр юритмасидаги АВТМ15-4/6/12 русумли уч тезликли электр моторининг базасида икки тезликли 6/12 нисбатли, электромагнит кўрсаткичлари юқори бўлган қутблар сони ўзгарувчан статор чулғами яратилди [5].

Ушбу яратилган қутблар сони ўзгарувчан статор чулғами асосида икки тезликли АВТМ15-6/12 маркали электр моторнинг такомиллаштирилган тури ишлаб чиқилди.

**Асосий қисм.** Электр юритмадаги электр моторлар ишга тушганда, тўхтаганда, реверсда, тезлик ўзгарганда ёки бошқа бошқарув таъсирларда, шунингдек моторнинг валига механик юклама берилганда (ёки олинганда) электр моторнинг токи, моменти, тезлиги ва бошқа параметрлари ўзгаради. Бунда электр юритма бир ўрнатилган иш режимидан бошқасига ўзгаради. Лекин ушбу ўзгариш жуда тез амалга ошмайди, чунки электр моторнинг токи занжирнинг электромагнит инерцияси туфайли ва моторнинг тезлиги эса электр юритманинг ҳаракатланувчи массасининг механик инерцияси туфайли жуда тез ўзгариши мумкин эмас. Электр юритмаларда ўткинчи жараён (ўткинчи режим) деб, вақт бўйича бир ўрнатилган иш режимдан (ёки ўчирилган ҳолатдан) бошқа бир ўрнатилган ҳолатга ўтиш жараёнига айтилади.

Ўткинчи жараёнларни пайдо бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

- бошқарувчи таъсирдан (электр юритмани қўшганда, ўчирганда, электр юритманинг тезлиги ўзгарганда ва ҳ.к.);

- кўзгатувчи таъсирдан, яъни моторнинг валидаги юкламанинг ўзгариши ҳисобланади.

Моторнинг токи, моменти ва тезлиги ўзгарганда электр юритмада бир вақтнинг ўзида электромагнит ва механик ўткинчи жараёнлар бўлади. Ўткинчи жараённинг характери ушбу жараёнда иштирокчиларининг инерциясини сонига боғлиқ [6].

Ҳозирги вақтда шахта ўзиюлар вагонларида энг кўп тарқалган электр юритмалардан бири электр моторнинг чулғам қутблар сонини ўзгартириб айланиш частотасини поғонали ростлаш ҳисобланади. Бунда электромеханик ўзгартиргич сифатида қисқа туташган роторли кўп тезликли асинхрон мотор ишлатилади. Кўпинча қутблар сони  $p_1:p_2$  нисбатли бўлган тезлиги икки поғонали (икки тезликли) бўлган электр моторлар ишлатилади. Қутблар сони ўзгарувчан электр моторларининг асосий афзаллиги тезликнинг пастки поғонасида электр моторининг номинал қувватини сақланиши ва бошқарув қурилмасининг (чулғамларни ўзгартириш) нисбатан соддалиги ҳисобланади [7].

Битта уч фазали статор чулғами учун қутблар сони 1:2 нисбатда бўлган икки тезликли электр моторлар Деландер схемаси бўйича серияли ишлаб чиқарилади [8, 9]. Қутблар нисбати 1:2, 2:3, 3:4, 4:5 ва ҳ.к бўлган чулғамлар учун қутб амплитуда модуляцияси ва амплитуда-фаза модуляция методлари бўйича қурилган чулғам кўп ишлатилади [10,11,12].

Қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини яратишнинг яна бир метод бу - дискрет берилган фазовий функция усули деб номланади [13]. Ушбу усул орқали қутблари нисбати турлича бўлган чулғам схемалари олинган [14, 15].

Қисқа туташган роторли икки тезликли асинхрон моторнинг умумий камчилиги ишга тушириш ва бир айланиш частотасидан бошқасига ўтганда узатмаларда катта механик кучланиш ва зарбани вужудга келтирувчи қўшимча зарбавий момент ҳисобланади [16].

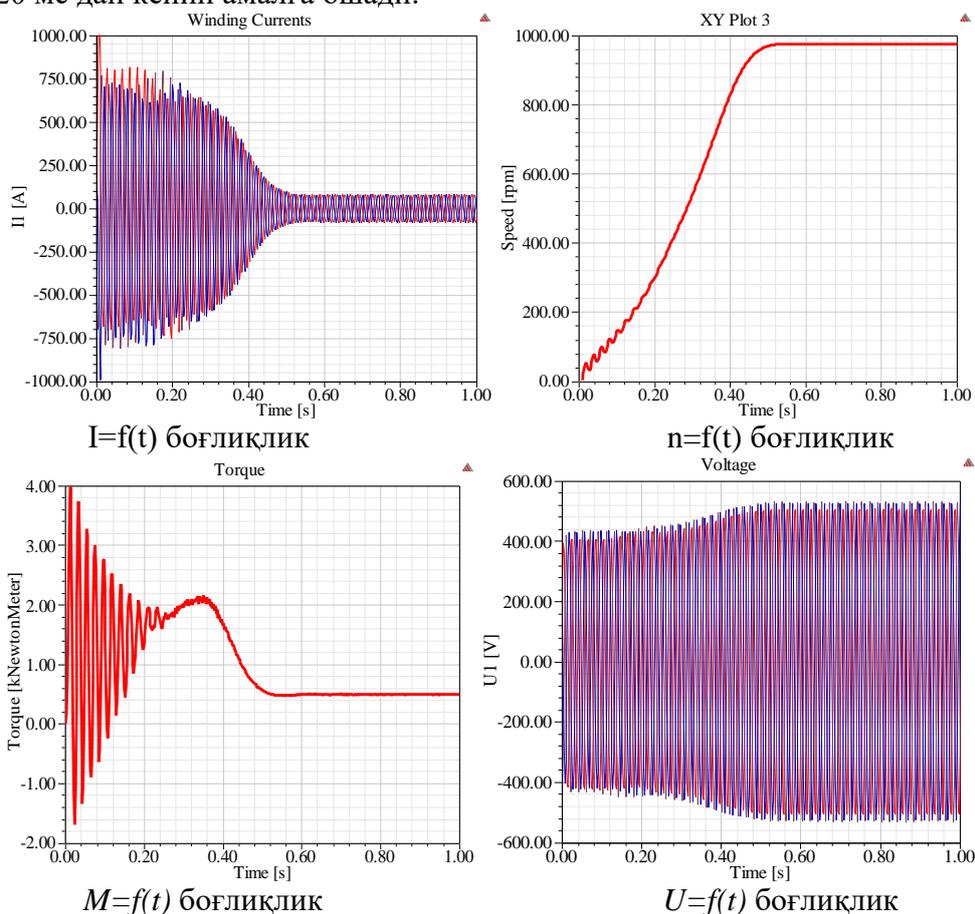
Шахта ўзиюлар вагони учун янги яратилган электр мотор билан жихозланган электр юритмани қутблари ўзгартирилган режимдаги ишини ўрганиш мақсадида экспериментал синов ишлари ўтказилди ва икки тезликли шахта ўзиюлар вагони моторининг валида 600 Нм юклама берилганда статор токи, тезлиги, моменти ва кучланиш ўзгаришининг вақтга боғлиқлик эгри чизиғи олинди [17].

Тадқиқот объекти сифатида шахта ўзиюлар вагони юриш қисмининг электр юритмаларидаги АВТМ – 6/12 икки тезликли асинхрон моторини ишга тушириш ва иккинчи тезликка ўзгартиришдаги иш режимлари ўрганилди.

Дастлаб ўткинчи жараёнлар ўрганилди ва тинч ҳолатдан 6 ва 12 қутб томондан ишга тушгандаги статор токи, тезлиги, моменти ва

кучланишни ўзгаришини вақтга боғлиқлик эгри чизиғи олинди. 1- ва 2-расмда юқорида айтилган параметрларнинг ( $I=f(t)$ ,  $n=f(t)$ ,  $M=f(t)$ ,  $U=f(t)$ ) ўзгариш эгри чизиғи кўрсатилган.

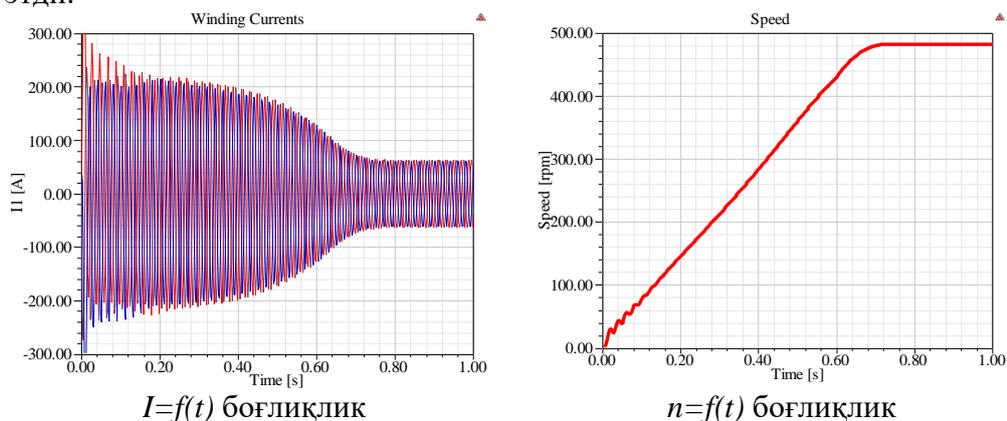
Ушбу эгри чизиқлардан шуни қайд этиш лозимки, моторнинг турғун иш режими жуда тез, яъни  $p=6$  учун 320 мс дан кейин,  $p=12$  учун 420 мс дан кейин амалга ошади.



1-расм. АВТМ – 6/12 моторни  $p=3$  қутб орқали ишга тушириш

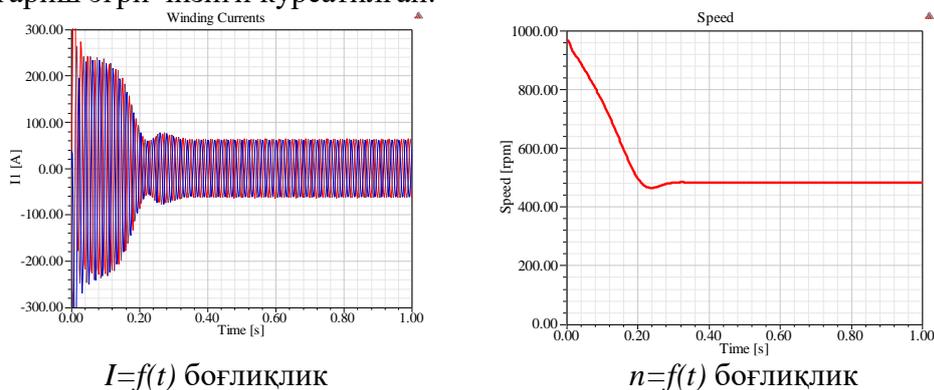
1-расмдаги эгри чизиқдан кўриниб турибдики, моторни ишга тушириш токининг амплитуда қиймати 650 А бўлиб, моторнинг турғун ишлашининг бошланиши 0.5 с дан кейин содир бўлади ва турғун токининг амплитуда қиймати 85 А га тенг. Моторнинг номинал айланиш тезлиги 974 айл/мин, моторни номинал моменти 450 Нм ҳамда максимал моменти эса 2 кНм ни ташкил этади. Моторнинг ишга тушириш жараёнида тармоқ фаза кучланишининг амплитуда қиймати 440 В, турғун режимдаги фаза кучланишининг амплитуда қиймати 530 В ни ташкил этди.

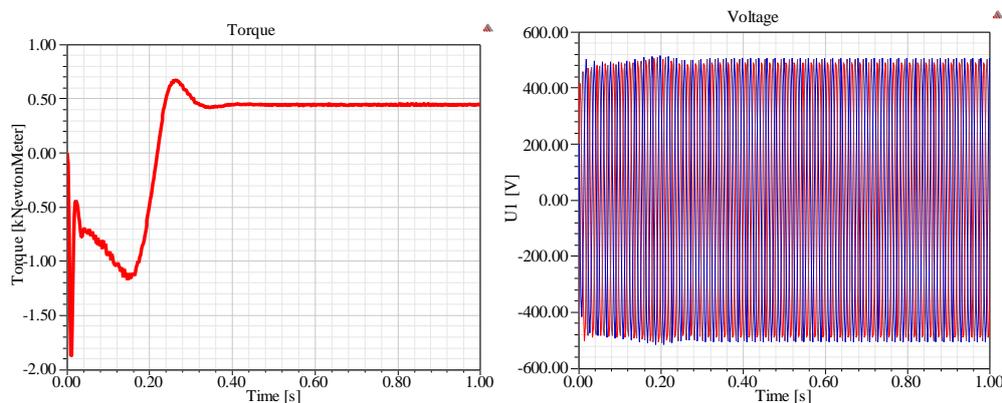
2-расмдаги эгри чизикдан кўриниб турибдики, моторни ишга тушириш токининг амплитуда қиймати 210 А бўлиб, моторнинг турғун ишлашининг бошланиши 0.75 с дан кейин содир бўлади ва турғун токининг амплитуда қиймати 60 А га тенг. Моторнинг номинал айланиш тезлиги 480 айл/мин, моторни номинал моменти 500 Нм ҳамда максимал моменти эса 1 кНм ни ташкил этади. Моторнинг ишга тушириш жараёнида тармоқ фаза кучланишининг амплитуда қиймати 470 В, турғун режимдаги фаза кучланишининг амплитуда қиймати 510 В ни ташкил этди.



2-расм. АВТМ – 6/12 моторни  $p=6$  қутб орқали ишга тушириш

Қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон моторнинг катта тезлигини кичик тезликка ўзгартирган ҳолатда, яъни шахта ўзиюлар вогони ер ости лаҳимидаги асосий юк ташиш йўлини 1000 айл/мин тезликда ҳаракатланиб, юк юклаш ёки юк бўшатиш жойларида тезлигини 500 айл/мин ўтказганда электр моторнинг токи ( $I=f(t)$ ), тезлиги ( $n=f(t)$ ), моменти ( $M=f(t)$ ) ва қувват исрофининг ( $U=f(t)$ ) вақт бўйча ўзгариш эгри чизиғи кўрсатилган.





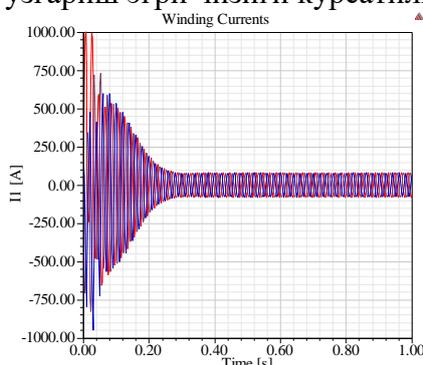
$M=f(t)$  боғлиқлик

$U=f(t)$  боғлиқлик

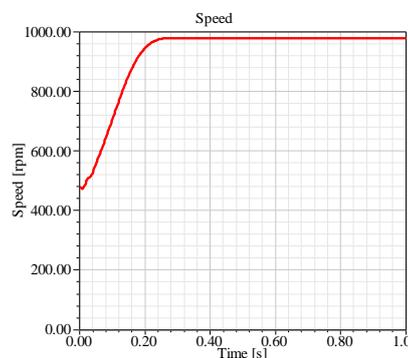
3-расм. АВТМ – 6/12 моторни юкламаси 450 Нм бўлганда кутбларини  $p=3$  дан  $p=6$  га ўзгартириш

3-расмдаги эгри чизикдан кўриниб турибдики, моторни ишга тушириш токининг амплитуда қиймати 230 А бўлиб, моторнинг турғун ишлашининг бошланиши 0,3 с дан кейин содир бўлади ва турғун токининг амплитуда қиймати 62 А га тенг. Моторнинг номинал айланиш тезлиги 970 айл/мин тезликдан 480 айл/мин тезликга камаяди. Мотор тормозлаш режимида ишлайди, тормозловчи максимал момент 1,15 кН, сўнгра максимал моменти эса 0,66 кНм га тенг, номинал моменти 450 Нм ни ташкил этади. Моторнинг ишга тушириш жараёнида тармоқ фаза кучланишининг амплитуда қиймати 485 В, турғун режимдаги фаза кучланишининг амплитуда қиймати 505 В ни ташкил этди.

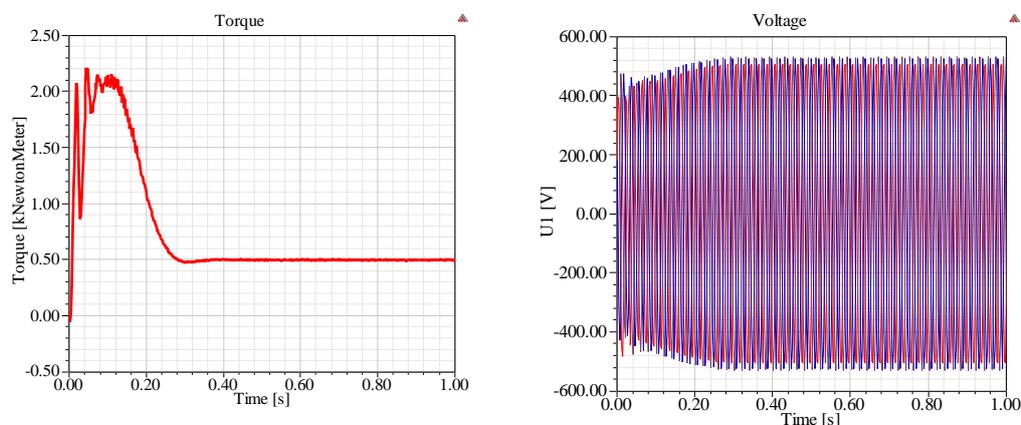
Қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон моторнинг кичик тезлигини катта тезликка ўзгартирган ҳолатда, яъни шахта ўзиюрар вогони юк юклаш ёки юк бўшатиш жойларида 500 айл/мин тезликда ҳаракатланиб, асосий юк ташиш йўлида тезлигини 1000 айл/мин тезликда ўтказганда электр моторнинг токи ( $I=f(t)$ ), тезлиги ( $n=f(t)$ ), моменти ( $M=f(t)$ ) ва кучланиш ўзгаришининг ( $U=f(t)$ ) вақт бўйича ўзгариш эгри чизиғи кўрсатилган.



$I=f(t)$  боғлиқлик



$n=f(t)$  боғлиқлик



$M=f(t)$  боғлиқлик

$U=f(t)$  боғлиқлик

4-расм. АВТМ – 6/12 моторни юкласи 450 Нм бўлганда кутбларини  $p=6$  дан  $p=3$  га ўзгартириш

4-расмдаги эгри чизикдан кўриниб турибдики, моторни ишга тушириш токининг амплитуда қиймати 500 А бўлиб, моторнинг турғун ишлашининг бошланиши 0,3 с дан кейин содир бўлади ва турғун токининг амплитуда қиймати 80 А га тенг. Моторнинг номинал айланиш тезлиги 480 айл/мин тезликдан 970 айл/мин тезликга ошди. Моторни номинал моменти 500 Нм ҳамда максимал моменти эса 2 кНм ни ташкил этади. Моторнинг ишга тушириш жараёнида тармоқ фаза кучланишининг амплитуда қиймати 480 В, турғун режимдаги фаза кучланишининг амплитуда қиймати 530 В ни ташкил этди.

**Хулоса.** АВТМ15-6/12 моторли электр юритмани динамик иш режимининг барча тадқиқот натижаларидан хулоса қилиш мумкинки, ишга тушириш жараёнининг ўтиш вақти, бир тезликдан иккинчи тезликка ўтиш жараёни рухсат этилган оралиқда бўлди. Бу шуни билдирадики, кутблари ўзгарувчан чулғамли янги асинхрон мотор асосидаги электр юритмаларни ҳақиқатан ҳам яратиш ва ер ости конларида қўлланилаётган шахта ўзиюар вагонлари учун тадбиқ этиш мумкин, бунинг натижада электр энергиясидан ва табиий ресурслардан рационал фойдаланиш таъминланади.

Шундай қилиб, оғир кон техник шароитдаги калий конида ишлатилаётган шахта ўзиюар вагонининг ишлаб турган жойида ўтказилган тажриба шуни кўрсатдики, кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон мотор асосидаги шахта ўзиюар вагони юриш қисмининг электр юритмалари унга қўйилган барча асосий талабларни қаноатлантиради.

Адабиёт

1. Бритарев В.А., Замышляев В.Ф. Горные машины и комплексы. – М.: Недра – 1984. – 288 с.
2. Хакбердиев А.Л. Причины выхода из строя подземных самоходных вагонов и меры их устранения // Горный вестник Узбекистана – 2015. №2. – С. 77-79.
3. Haqberdiyev A.L., Toshov J.B. Analysis of the control system of electric motors of the running gear of self-propelled mine cars used in complex mining and technological conditions. Международная конференция Руденко // Методологические проблемы исследования надежности крупных энергетических систем – 2020. Vol. 216. – P.1–4.
4. Raximov A.V., Temirov K.T., Haqberdiyev A.L. Reliable electric drive of mine water displacement plants to increase the safety and economical efficiency of mining enterprises // International Scientific and Scientific-Practical Online Conference on the topic “Ensuring Security Life Activity in the Sectors of the Economy: Perspectives - Problems of Social and Technical Systems” Novateur Publications, Pune, Maharashtra, India JournalNX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal – 2021. – P.403-410.
5. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Хакбердиев А.Л. Разработка обмоток с изменяющимся числом полюсов для электропривода шахтных самоходных вагонов //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Специальный выпуск – 2021. – С. 194-201.
6. Онищенко Г.Б. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М.: РАСХН – 2001. – 520 с.
7. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. /Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. – Т.: Fan va texnologiya, 2011. – 192 с.
8. Ванурин В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2016. - 224 с.: ил. ISBN 978-5-8114-1769-8.
9. Попов Д.А., Попов С.Д. Трехфазная полюсопереключаемая обмотка с отношением чисел пар полюсов  $p_1:p_2= 1:2$ . Патент РФ №2012981, 15.05.1994.
10. A.R.W.Broadway, K.S.Ismail. Phase modulated 3-phase pole changing windings. IEE Proceedings B - Electric Power Applications vol. 133, pp. 61- 70, 1986. DOI: 10.1049/ip-b.1986.0011.
11. L.M.Melcescu, M.V.Cistelecan, O.Craiu and B.Cosan. A new 4/6 pole-changing double layer winding for three phase electrical machines. The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, pp. 1-6, 2010 DOI: 10.1109/ICELMACH.2010.5608041.
12. J.H.H.Alwash; K.S.Ismail; J.F.Eastham. A novel 16/6 phase modulated winding. IEEE Transactions on Energy Conversion (Vol. 15, Iss.2, Jun 2000), pp 188 – 190. DOI: 10.1109/60.866998.

13. Каримов. Х.Г., Тупогуз Ю.А. Метод построения электрически совмещенных обмоток переменного тока // Электричество. – Москва, 1987. - №9 – С. 29-38.
14. M.Bobojanov, D.Rismuxamedov, F.Tuychiev, Kh.Shamsutdinov, Kh.Magdiev. Pole-changing motor for lift installation. E3S Web of Conferences 216, 01164 (2020), doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164.
15. D.Rismuhamedov, F.Tuychiev, S.Rismuhamedov. Pole-changing windings for turbomechanism engines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012140. Doi: 10.1088/1757-899X/883/1/012140.
16. D.Rismukhamedov, M.Bobojanov, F.Tuychiev, Kh.Shamsutdinov. Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio. E3S Web of Conferences 264, 03057 (2021) CONMECHYDRO – 2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403057>.
17. Тошов Ж.Б., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Хакбердиев А.Л. Экспериментальное исследование динамических режимов работы электрических моторов ходовой части шахтных самоходных вагонов. Universum: технические науки: научный журнал. – № 3(96). Часть 6. М., Изд. «МЦНО», 2022. – 68 с. DOI - 10.32743/UniTech.2022.96.3.13289.

*Тошкент давлат техника университети  
томонидан тақдим этилади*

UDC 621.317.714

**ERROR OF FERROMAGNETIC CONTACTLESS HIGH CURRENT CONVERTERS OF MONITORING AND CONTROL SYSTEMS AGAINST EXTERNAL INFLUENCES**

**A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Y.A. Meliboev, O.Ch. Doniyorov,  
J.K. Ibragimov, X.I. Murodov**

*Maqolada yuqori to'g'ridan-to'g'ri oqimlarning ferromagnit kontaktsiz konvertorlarini qurish xususiyatlari, ularga qo'yiladigan asosiy talablar va kuchli ob'ektlarga qo'llaniladigan monitoring va boshqaruv tizimlarining ishlab chiqilgan keng diapazonli magnitomodulyatsiya kontaktsiz konvertorlarini ishlab chiqish natijalari keltirilgan. U boshqariladigan oqimlarning keng assortimenti, aniqligi va sezgirligi, shuningdek, dizaynning ishlab chiqarilishi va past og'irlik va o'lchamlari bilan past material sarfi va narxi bilan ajralib turadi. Qo'shni avtobusning oqim bilan ta'siridan ishlab chiqilgan konvertorning xatoliklari ko'rib chiqiladi.*

*В статье приведены особенности построения ферромагнитных бесконтактных преобразователей больших постоянных токов, главные требования к ним и результаты разработки одного из разработанных широкодиапазонных магнитомодуляционных бесконтактных преобразователей систем контроля и управления. Его отличает широкий диапазон контролируемых токов, повышенные точность и чувствительность, малые масса и габариты при низких материалоемкости и стоимости. Рассмотрены погрешности разработанного преобразователя от влияния соседней шины с током.*

*The article presents the features of the construction of ferromagnetic contactless converters of large direct currents, the main requirements for them and the results of the development of one of the developed wide-range magnetomodulation contactless converters of monitoring and control systems as applied to powerful objects. It is distinguished by a wide range of controlled currents, increased accuracy and sensitivity, as well as low weight and dimensions with low material consumption and cost. The errors of the developed converter from the influence of the adjacent bus with current are considered.*

**Introduction.** In modern times, electric power systems and electrotechnological installations in the electric power industry, including in agriculture, can be conditionally considered as an organic unity of powerful high-current and high-voltage power equipment, united by the concept of the "primary system".

Currently, the possibilities for further development of primary systems in an extensive way – by increasing the mass and size of equipment, as well as creating reserves in it – are almost exhausted [1,2,8]. In ensuring the economic, reliable and high-quality operation of primary systems, the so-called secondary systems of the electric power industry – measurement, control, management, regulation and relay protection in the electric power industry, in land reclamation, irrigation, and in irrigated agriculture zones – are becoming increasingly important [3,10].

It should be noted that, being relatively inexpensive, they allow one not only to avoid the significant costs necessary to create reserves in the main expensive equipment of primary systems, but also to solve many qualitatively new problems of efficient use of energy resources and electrical devices [8].

The primary and secondary systems are interconnected by paths of receiving, processing and transmitting information, built on the basis of measuring converters of electrical quantities, in particular, large direct currents (LDC), as well as alternating currents [2]. The need to convert high currents in various sectors of the national economy, in land reclamation, irrigation and in general in agriculture arises when monitoring and controlling the operating modes of powerful electric motors, substations and different consumers, where various LDC measuring converters are used [6].

At the same time, the need to break the current circuit for temporary switching on of electrical measuring devices, the presence of large power losses in current measuring transformers, the undesirability or impossibility of breaking the circuit under the conditions of the technological process, as well as safety requirements, led to the use of contactless converters (CC) and LDC meters in circuits without breaking them, i.e. without destroying the integrity of the conductive bus [5].

The study of the issues of converting large alternating currents in electric power systems and electrotechnological installations has shown that one of the reasons for their low efficiency is the unsatisfactory technical characteristics of their secondary systems - control systems and monitoring the operating modes of electric power systems and electrotechnological installations, in particular, the CC used in them [4,9-11].

It is established that CC used in secondary systems of electric power systems and electrotechnological installations should have an adjustable wide conversion range, the best dynamic properties in transient operating modes of electric power systems, and the stability of their characteristics under extreme operating conditions.

When analyzing the places of non-destructive contactless control of the LDC, the main requirements for the CC were identified. These include high accuracy, reliability, sensitivity, low weight, dimensions, material consumption

and cost, adaptability of design, no errors from the influence of external magnetic fields, reverse bus with current from the center of the integrating circuit, ferromagnetic masses, no galvanic connection between the measured AC current and the measuring circuit. This also involves and the availability in some cases of the possibility of both fixed control of the sensitivity of the PSU in a wide range of converted large DC currents and the flexibility of the integrating circuit, and the design of the PSU as portable, and stationary [6].

In this regard, it is very important to develop and study such CC that would have an extended range of converted CC with small dimensions and weight and increased accuracy, a simplified and technologically advanced design with low material consumption and cost.

Therefore, the problem of improving the efficiency of non-destructive contactless ferromagnetic converters with distributed magnetic parameters for control and control systems is relevant and promising. This is because the creation of new non-destructive contactless converters that meet the complex of basic requirements for them from the systems will eventually contribute to the acceleration of scientific and technological progress and increase the efficiency of production.

The solution of this problem can be facilitated by the development of contactless converters with an extended controlled range (CCR) for control and control systems in the electric power industry).

It should be noted that one of the most effective ways to expand the linearity range of the CCR and reduce the sensitivity threshold is to increase the length of the split magnetic core of the CCR and its cross-sectional area to the maximum permissible dimensions with the inclusion of longitudinal and transverse gaps [6].

**Materials and methods.** We have developed a number of CCR, in which the tasks set are solved by using special designs of split-closed magnetic cores in converters with transversely and longitudinally distributed magnetic parameters and an increased path length of the working magnetic flux on steel [2].

One of the variants of the developed CCR with basic dimensions is partially shown in Fig. 1. The developed converter is a magnetomodulating CCR with longitudinal modulation. It is developed on the basis of the PSU [7] and is a CC with transversely and longitudinally distributed magnetic parameters.

The converter is characterized by increased sensitivity and an extended range of converted currents. The CCR contains a detachable closed magnetic circuit 1 of two identical halves 2 and 3, each of which in turn consists of separate ferromagnetic elements made in the form of trapezoids with the same gaps between them.

Each ferromagnetic element has two through holes, through each of which a modulation winding is wound, consisting of sections 4 and 6. Sections 4 and 6 are connected in series and according to each other. On top of the modulation

winding, a measuring winding 5 is wound between the through holes. All measuring windings are connected to each other in series and are closed to the measuring device (not shown in Fig. 1). The modulation windings are also connected in series and connected to a stable AC source (not shown in Figure 1). For the free girth of the bus 7 with a controlled current, the closed magnetic circuit 1 is made detachable. In this case, the serial connection between the sections of the modulation windings 4 and 6 of the modulation winding in the presence of alternating current in them and the location of the measuring windings 5 in the gaps between the through holes in the ferromagnetic elements allow for longitudinal modulation of the magnetic resistance of the magnetic circuit in the path of the working magnetic flux created by a controlled direct current. And this will induce EMF in the measuring windings 5, depending on the converted direct current. The developed CCR can also control alternating current. Then there should be no alternating current in sections 4 and 6 of the modulation winding.

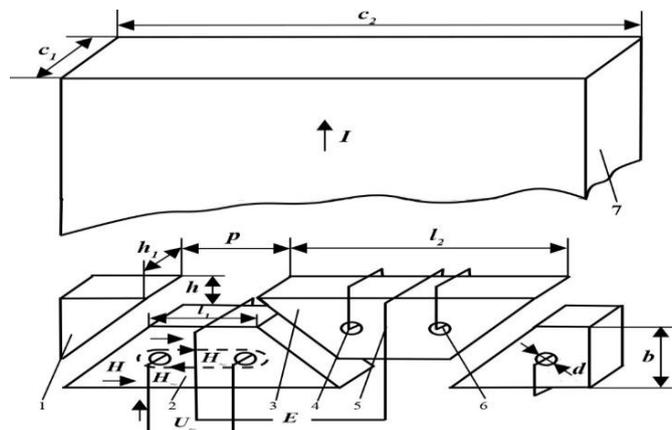


Fig. 1. Part of a non-contact transducer with an extended controlled range control and management systems

The extension of the upper limit of the controlled direct current in the developed design of the CCR is carried out by increasing the length of the working magnetic flux through the steel of the magnetic circuit elements and including transverse and longitudinal air gaps in its path. That is the implementation of a detachable magnetic circuit with transversely and longitudinally distributed magnetic parameters.

To control the LDC with a detachable magnetic core, the CCR covers the bus 7. Due to the modulation amperwitches, the detachable magnetic core is in a saturated state during each half-period of the supply voltage. At the same time, the permeability of the magnetic circuit for the longitudinal field created by the controlled current decreases sharply. At the moment when the modulation cur-

rent passes through the zero value, the permeability of the magnetic core increases to the initial value. Thus, with the stability of the modulation amperes in the measuring winding, an EMF of twice the frequency will be induced, depending on the controlled current.

With the mutual movement of the halves 2 and 3 of the split magnetic circuit CCR, the size of the gaps between the trapezoids changes, leading to a change in the overall magnetic resistance of the magnetic circuit in the path of the working magnetic flux created by a controlled direct current.

**Results and discussion.** To determine the error from the influence of the neighboring bus with current I1, we assume that each section of the measuring winding is centered at a point, and use the expression of the error from the influence of neighboring buses with currents I1 and I2 in the form:

$$\Delta_{\Sigma_{\text{сш}}} = \frac{0.53}{m} \sum_{i=1}^m \{ 2 \arctg[H_{x1} \sin(v_{id1} \pm K_I v_{id2})] - \arctg[H_{x1} (v_{id1} \pm K_I v_{id2}) - 1.65] - \arctg[H_{x1} (v_{id1} \pm K_I v_{id2}) + 1.65] \} \quad (1)$$

The following function notations are used here:

$$v_{id1} = \frac{K_{d1} \sin \frac{2\pi}{m} - 1}{1 + K_{d1}^2 - 2K_{d1} \sin \frac{2\pi}{m}}, \quad (2)$$

$$v_{id2} = \frac{K_{d2} \sin \frac{2\pi}{m} + 1}{1 + K_{d2}^2 + 2K_{d2} \sin \frac{2\pi}{m}}, \quad (3)$$

where

$$K_{d1} = \frac{d_1}{R_{av}}; \quad K_{d2} = \frac{d_2}{R_{cp}}; \quad K_I = \frac{I_2}{I_1},$$

where in turn

$R_{av}$  - radius of the middle circle of the split magnetic core of the CCR;

$d_1$  - distance from the center of the split magnetic circuit of the CCR to the first bus with current  $I_1$ ;

$d_2$  - distance from the center of the split magnetic circuit of the CCR to the second bus with current  $I_2$ ;

$m$  - number of sections of the measuring winding.

Taking in (1)  $K_I = 0$ , we get the error from the influence of the neighboring bus with the current  $I_1$  in the form:

$$\Delta_{\Sigma_{\text{сш}1}} = \frac{0.53}{m} \sum_{i=1}^m [ 2 \arctg(H_{x1} \sin v_{id1}) - \arctg(H_{x1} v_{id1} - 1.65) -$$

$$-\arctg(H_{x1}v_{id1} + 1.65)]. \quad (4)$$

Fig. 2 and 3 show some results of calculating the errors according to the formula (4) for different values of  $m$  and  $K_{d1}$  in the form of graphs. On the same graphs, the dashed lines show the experimental curves.

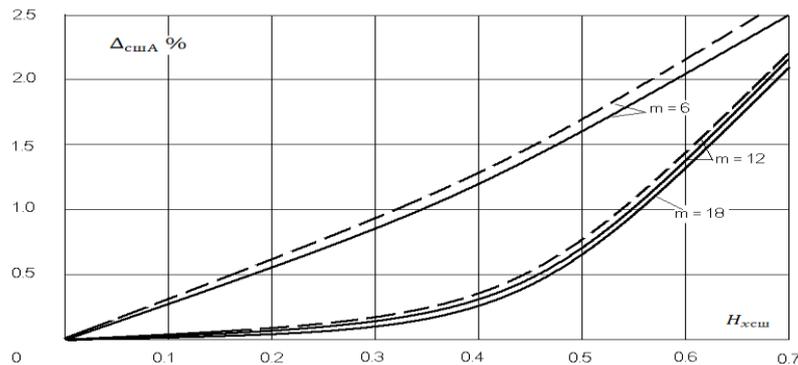


Fig. 2. The reduced error of the CCR against the influence of the neighboring bus with the current at  $K_{d1} = 2.0$

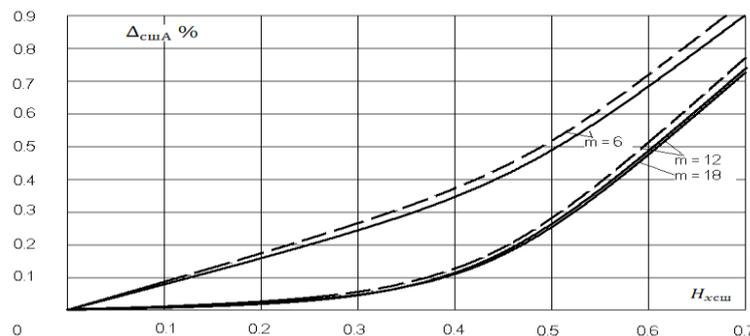


Fig. 3. The reduced error of the CCR against the influence of the neighboring bus with the current at  $K_{d1} = 2.5$

The analysis of the obtained curves shows that the nature of the dependence of the error of the CCR on the values of the voltages of the adjacent bus with the current changes slightly when  $m$  changes, if the number of voltage measurement points in the integrating circuit of the CCR exceeds 12.

**Conclusion.** The error of the developed converter from the magnitude of the voltages of the adjacent bus located next to the current when changing the number of sections of the measuring winding  $m$  changes slightly if the number of voltage measurement points in the integrating circuit exceeds twelve.

The developed CCR can monitor DC and AC currents without contact with an error of 1.5 % in modern control systems in land reclamation, irrigation, solar

and laser technology, renewable energy sources, industry, agriculture, as well as when checking electric meters at the place of their installation.

### References

1. Kazakov M.K. Methods and means for measuring high voltages and high currents in electric power engineering: Author's abstract. Dis. doc. those sciences. - Ulyanovsk, 1998. - 32 p.
2. Plakhtiev A.M. Effective informational contactless converters for modern monitoring and control systems in the agro-industrial complex // International Scientific and Practical Conference. "Agricultural science for agriculture" // Collection of scientific articles. Barnaul, 2017. p. 37-39.
3. Semenko N. G., Gamazov Yu. A. Measuring transducers of large electric currents and their metrological support. - M.: Publishing house of standards, 1984. - 132 p.
4. Andreev V.A. Relay protection and automation of power supply systems. - M.: Higher school, 1991. - 496 p.
5. Spektor S.A., Measurement of large constant currents. Leningrad: Energy, 1988, 136 p.
6. Danilov A., Modern industrial current sensors, Modern electronics, No. 10, pp. 38 - 43, 2004.
7. Bolotin O., Portnoy G., Razumovsky K., Modern sensors for measuring current and voltage, ISUP, No. 1 (61), pp. 18 - 25, 2016.
8. A. s. 792152, IPC G01R 19/00. Meter of large constant currents / A. M. Plakhtiev, G. P. Petrov, H. S. Minikeev. Stated 03/11/1979; Publ. 12/30/1980, Bul. 48.
9. Uljaev E., Ubaydullaev U.M. and Narzullaev Sh.N. (2020). Optimization of the sizes of the cylindrical measuring transducer. Chemical Technology, Control and Management, No. 5-6 (95-96). - pp. 29-33. journal homepage: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2020/iss5/5/>.
10. Denmukhammadiev, A., Pardaev, A., Begmatov, M., Mustafoqulov, A., Valikhonova, H. Physical and electronic model of studying infrared radiator for drying wending insulation IOP Conference Series: Mat. Sc. and Eng., 2021, 1030 (1), 012174.
11. Reich, Ernö, Elektricky měřicí přístroj, Czech Patent No. 2145015, MKI 21e3601 dated 15.04.2018.

*Presented by Tashkent Institute of Engineers of  
Agriculture Irrigation and Mechanization*

UDC 620.9:621.3

**ABOUT NON-INTRUSIVE ENERGY AUDIT OF ELECTRICAL NETWORKS AND INSTALLATIONS OF INDUSTRIAL PLANTS****O.V. Radionova**

*Maqolada 0,4 - 10 kV iste'molchilarning elektr tarmoqlarini energiya auditi paytida nointrusiv monitoring (NILM) tasvirlangan. NILM usuli sizga elektr tarmoqlari va iste'molchilarning (sanoat, kommunal, qishloq xo'jaligi va boshqalar) qurilmalarining individual parametrlarini masofadan aniqlash imkonini beradi. O'lchovlar alohida o'rnatishlarga kirishni talab qilmaydi, bu har bir o'rnatishda hisoblagichlar yoki sensorlarni joylashtirish bilan solishtirganda parametr ma'lumotlarini to'plashning qulay usulini ta'minlaydi. Hamma narsa "qora quti" usuliga o'xshash tarzda sodir bo'ladi va tahlil mavzusi korxonaning kirishidagi elektr energiyasining umumiy parametrlari hisoblanadi. Klassik "qora quti" usulidan farqli o'laroq, bu erda korxonaning tuzilishi va ichki elektr davri, pasport ma'lumotlari va jihozlar va elektr tarmoqlarining mumkin bo'lgan ish rejimlari ma'lum.*

*В работе описывается неинтрузивный мониторинг (NILM) при проведении энергоаудитов электрических сетей 0,4 – 10 кВ потребителей. Метод NILM позволяет дистанционно определять индивидуальные параметры электрических сетей и установок потребителей (промышленных, коммунальных, сельскохозяйственных и др.). Измерения не требуют доступа к отдельным установкам, что обеспечивает удобный способ сбора данных о параметрах по сравнению со способом размещения счетчиков или датчиков на каждой установке. Все происходит аналогично методу «черного ящика», а предметом анализа являются совокупные параметры электроэнергии на входе предприятия. В отличие от метода классического «черного ящика» здесь известны структура и внутренняя электрическая схема предприятия, паспортные данные и возможные режимы работы оборудования и электрических сетей.*

*The paper describes non-intrusive monitoring (NILM) during energy audits of electrical networks of 0.4 - 10 kV consumers. The NILM method allows you to remotely determine the individual parameters of electrical networks and installations of consumers (industrial, municipal, agricultural, etc.). Measurements do not require access to individual installations, which provides a convenient way to collect parameter data compared to placing meters or sensors on each installation. Everything happens similar-*

*ly to the "black box" method, and the subject of analysis is the total parameters of electricity at the input of the enterprise. Unlike the classic "black box", the structure and internal electrical circuit of the enterprise, passport data and possible operating modes of equipment and electrical networks are known here.*

**Introduction.** Total automation, digitalization and the development of artificial intelligence (AI) systems are radically transforming the traditional technological and organizational structures in the electric power industry. The growth of requirements and the complexity of management tasks determines the use of fundamentally new methods and systems during operation, including during energy audits (energy examinations) [1-4]. This most often concerns consumers of electricity with a voltage of 0.4 - 10 kV, due to their large number and the requirements for the regularity of energy audits.

The purpose of this work is to analyze the possibilities of improving the efficiency of energy audits of 0.4 – 10 kV electric networks through the use of non-intrusive monitoring of their parameters, as well as conclusions from the use of such technology.

**About non-intrusive monitoring technology.** Non-intrusive monitoring is a fairly new concept used in various fields, including in the electric power industry. The use of non-intrusive load monitoring (NILM) allows you to remotely determine the load modes of consumers (industrial, municipal, agricultural, etc.), significantly increasing the information about the operating parameters of equipment and electrical networks of consumers.

The concept of NILM was first proposed by George William Hart of the Massachusetts Institute of Technology in the early 1980s, and in 1989 he patented a technological process. The author characterized his technology as follows: "NILM is designed for monitoring an electrical circuit containing several independent devices. With the help of a specific analysis of current and voltage signals, the number and type of individual loads, their individual energy consumption and other relevant statistical data are estimated. To install sensors and perform measurements, access to individual devices is not required, which provides a very convenient and efficient way to collect load data compared to the way sensors are placed on each of the devices. The data obtained on the final consumption of electricity is extremely important for consumers, energy supply companies, management bodies and manufacturers of devices."

Any industrial enterprise has a fleet of various electrical equipment (switching equipment, transformers, synchronous, asynchronous motors, frequency-controlled drives, excitation systems of powerful motors, rectifiers, welding machines and apparatuses, arc furnaces, etc.), which creates an appro-

prate information and energy series in the power supply network of the enterprise, which is investigated when conducting energy audits:

- flows of active and reactive energy;
  - network losses;
  - throws and voltage dips;
  - the flow of currents of higher harmonics;
  - skew and phase asymmetry;
  - change in the power factor;
- etc.

The work of various types of technological equipment and power supply networks of industrial enterprises is characterized by graphs of their loads for active and reactive capacities, graphs of voltage changes that are tied to various moments of their work. Determining and differentiating the parameters of these graphs with high accuracy, under various conditions, is an urgent task of continuous monitoring (monitoring and targeting - M&T) with non-intrusive energy audit.

The paper proposes the use of NILM technology for conducting energy audits, the implementation of which according to the old methods takes a lot of time and requires additional material and financial resources. Improving the efficiency of energy audits of networks is of significant interest both for electric power systems (EPS) as electricity suppliers and for consumers [2,4].

NILM is able to work effectively in changing conditions, and the energy audit cycle: "data acquisition - differentiation and processing - development of energy-saving measures – commissioning" can give effective results in real time. At the same time, it is necessary to use appropriate algorithms and programs for processing measurement and calculation data.

Energy audits, the main tasks, stages and procedures for their implementation. The conducted energy audits of electrical networks and their modes are the core of all types of energy efficiency and energy saving improvement, reliability analysis, stability, etc.. Based on the modern requirements of the development and operation of electric networks, accurate determination of the state of the network for optimal control, it is necessary to use innovative methods of operational energy audit [2,3,4], especially for electric networks with a voltage of 0.4 - 10 kV (networks of higher voltage 35 -500 kV, as a rule, have sufficient measurement and information support).

The main purpose of the energy audit is to assess the efficiency of the use of fuel and energy resources and to develop measures to improve energy efficiency and reduce consumer costs. This goal can be achieved by solving a number of tasks that can be divided into three groups: basic (necessary), formal (according to regulatory norms) and additional (at the request of the consumer).

The main tasks of energy audits:

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

---

- assessment of the share of energy costs, places of energy losses and the possibility of reducing the costs of the enterprise for each of the types and directions of energy use;
- identification of priority areas of energy saving;
- assessment of the energy saving potential by types and directions.
- examination of the energy efficiency of innovations carried out or planned at the enterprise;
- development of effective measures to implement the identified energy saving potential;
- development of proposals for the organization of an energy management system at the enterprise;
- drawing up an energy saving program.

Formal tasks:

- the regularity of energy audits based on the relevant rules;
- justification of various, including specific norms: fuel consumption per unit of production, fuel reserves, technological losses of heat and electric energy in distribution networks, etc.;
- preparation of a report and development of an energy passport of the consumer.

Additional tasks [7] (due to the requirements and desires of the customer for the composition of energy audit work) that may not relate directly to energy conservation:

- to make calculations of the electrical modes of the enterprise network;
- make calculations of possible transients;
- make a conclusion on the technical condition of the equipment;
- to give an environmental assessment of emissions from energy use; and others.

As a rule, the energy audit includes the following stages:

- informational (consists in collecting initial information and measurements);
- analytical (consists in processing and examination of the received information);
- evaluation (evaluation is carried out according to the main criteria of energy efficiency of the enterprise as a whole and for individual installations, as well as its production unit and energy complex);
- methodological, consists in substantiating recommendations to increase the energy efficiency of the use of TER (fuel and energy resources), as well as specific instructions on the implementation of such proposals.

To collect the initial information during the energy audit, the following methods are also used:

- visual inspection of power equipment and networks;
- instrumental examination (measurements);

- questionnaires and interviews with operational personnel;
- analysis of technical and project documentation, including from subscribers (acts of admission to operation, projects, contracts, permits, schemes, documents with indicators of repairs carried out, etc.);
- accounting documents (for example, invoices, statements, censuses, etc.).

**Conceptual structure of non-intrusive energy audit.** We have developed a conceptual structure for conducting a non-intrusive energy audit, which includes the main necessary components: financial, regulatory, technical, informational, organizational, methodological, metrological, software, qualified technical personnel. Solutions of tasks and qualitative results of non-intrusive audit depend on the presence of these components and their coordination [8].

The least developed is the software, which can be divided into two parts: for measurements and for disaggregation.

Measurement programs are ordinary smart measurement programs for various input parameters with modern electronic meters, and the disaggregating software is an expert system that uses input parameters and their properties to disaggregate by specific types of equipment of the surveyed electrical network. At the same time, the appropriate blocks are used: database, disaggregation knowledge base to determine individual parameters, verify correctness and output results. Algorithms and programs of disaggregation by the NILM method are based on statistical, multifactorial, multi-criteria, transdisciplinary methods of recognition, laws of electrical engineering, methods of differentiation, identification and verification of energy audit parameters.

**Disaggregation of input data by testing using the "black box" method.** The solution of the problems by the NILM method is somewhat similar to the solution by the "black box" method [9], when testing is carried out, and the subject of analysis is an aggregated set of parameters of electrical energy at the entrance of the enterprise. In contrast to the classic "black box" problem, in this case, the structure and internal electrical diagram of the enterprise, passport data, as well as possible modes and schedules of equipment and electrical networks are known. However, it is possible to use some of the "black box" testing techniques used [10]:

1. Equivalent partitioning.
2. Analysis of boundary values.
3. Analysis of cause-and-effect relationships.
4. Assumptions about errors.

Let's briefly consider each of these techniques:

*Equivalent partitioning.* The basis of testing by this method consists of two provisions:

1. The initial data must be divided into a finite number of equivalence classes. One equivalence class contains such tests that if one test from the

equivalence class detects some error, then any other test from this equivalence class must detect the same error.

2. Each test should include, if possible, the maximum number of equivalence classes in order to minimize the total number of tests.

The development of tests by this method is carried out in two stages: the allocation of equivalence classes and the construction of the test. Equivalence classes are distinguished by selecting each of the input conditions that are taken using the terms of reference or specification. Then they are divided into groups, represented in the form of special tables (matrices). The tables highlight the input conditions and equivalence classes (which are divided into correct and incorrect).

The allocation of equivalence classes can be attributed to heuristic methods, however, there are a number of rules that allow formalizing this procedure in the form of ordinary logical algorithms. The basic idea is that, along with the correct classes, the wrong classes are considered, and then appropriate conclusions are drawn by comparison.

*Analysis of boundary values.* Boundary conditions are situations that arise at the higher and lower bounds of the input equivalence classes. The analysis of boundary values differs from the equivalent one in the following:

1. The selection of any element in the equivalence class is carried out in such a way as to test every boundary of this class.

2. When developing tests, both input values (the input space) and the output values obtained (the output space) are considered.

The method requires a certain degree of creativity and specialization in the task under consideration. At the same time, it is necessary to adhere to some rules described in [ ]:

The analysis of boundary values, if applied correctly, makes it possible to detect a large number of errors.

*Analysis of cause-and-effect relationships.* They are related to the stages of building the test:

1. The input specification is divided into working sections.

2. The specification defines a variety of causes and effects. The reason is understood as a separate input condition or equivalence class. The consequence is an output condition or transformation of the system. Here, each cause and effect is assigned a number.

3. Based on the analysis of the semantic (semantic) content of the specification, a table of truth is constructed, in which all possible combinations of causes are sequentially sorted out and the consequences for each combination of causes are determined.

The table is provided with notes specifying restrictions and describing combinations that are impossible.

*Assumption of an error.* An experienced tester (in the form of a decision maker) can identify errors, but at the same time he uses the method of error assumption. This method is largely based on experience and intuition. The main idea of the method is to make a list that lists possible errors and situations in which these errors could manifest themselves. Then testing is performed on the basis of the list.

The above-mentioned techniques of testing technology using the "black box" method are quite easily algorithmized and programmed. They are included in the knowledge base of the relevant expert system when using NILM.

**Harmonic distortion of sinusoidal voltage as a source of information in non-intrusive energy audits.** Any appliances and equipment with non-linear characteristics are sources of harmonics in their network. In a non-intrusive energy audit, such harmonics are sources of information about the composition of electrical network equipment. There are many different sources of harmonic currents. These sources can be grouped into three main types:

*Power electronic equipment:* AC frequency drives, DC drives, UPS uninterruptible power supplies, rectifiers, converters, thyristor systems, diode bridges, high frequency melting furnaces.

*Welding, arc equipment:* arc smelting furnaces, welding machines, lighting (DRL mercury lamps, fluorescent lamps).

*Saturated devices:* transformers, motors, generators, etc. Harmonic amplitudes on such devices appear or increase in modes with magnetic flux saturation.

Harmonics are sine waves summed with a fundamental frequency of 50 Hz (i.e. 1st harmonic = 50 Hz, 5th harmonic = 250 Hz). Any complex sinusoidal waveform can be decomposed into its frequency components, so a complex sinusoid is the sum of a number of even or odd harmonics with smaller or larger magnitudes (fig. 1).

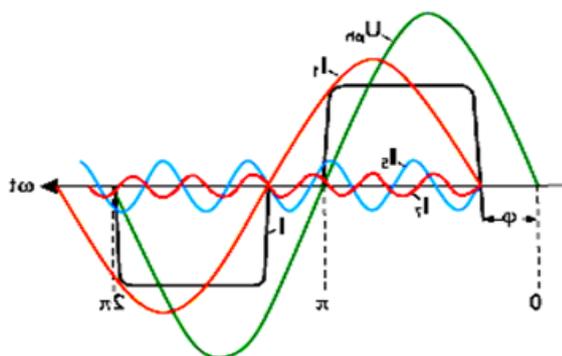


Fig. 1. Harmonic content of a sinusoid depending on the composition of consumers

Harmonics are harmful components in electrical networks, but they always exist within the standards and allowable norms [11]. And in non-intrusive energy audit the composition of harmonics is a specific indicator of the composition of energy consuming installations, contributing to the disaggregation of the total value of the electrical measurement.

**Conclusion.** The NILM concept is actively developing and expanding its application in the electric power industry. NILM methods have enormous potential and are able to change each aspect of electric power industry, help solve critical problems, surpass modern distributed systems according to criteria such as performance, accuracy, safety, reliability, economy, ease of use, etc. It is necessary to continue research on the use of NILM for an energy survey of industrial and other enterprises with electric networks of various voltages.

Further development of the use of NILM for energy audit involves the refinement of the relevant software of the electronic meter; The introduction of missing algorithms and analysis programs of electric networks and types of equipment, which will allow energy audit quickly without large material and time costs, including in real time.

### References

1. Nasirov T.Kh., Sitdikov R.A. Energy survey of the enterprises of the energy industry of Uzbekistan. -Tashkent: Fan va Technology. 2014. -280 p.
2. Vorotnitsky V.E. Energy saving and energy efficiency improvement in electrical networks: Reference and methodological publication / edited by A.G. Vakulko. -M.: Intekhenergo Publishing house, "Heat power engineering". 2016. - 336 p.
3. Nasirov T.Kh., Gayibov T.Sh., Sitdikov R.A., Vasiliev V.G. Methods for improving the efficiency of modes of electrical networks of energy systems. -T.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2020. -276 p.
4. Osika L.K. Calculation methods of intelligent measurements (Smart Metering) in the problems of accounting and saving electricity. Practical guide.-M.:MPEI. 2013.-312 p.
5. Devlin M., Hayes B. (2018). Nonintrusive load monitoring using electricity smart meter data: a deep learning approach. Researchgate.net. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29463.42402>.
6. Hart G.W. (1992). Nonintrusive appliance load monitoring. //Proceedings of the IEEE, 80, pp. 1870–1891.
7. Radionova O.V. About the use of non-intrusive monitoring for calculating the modes of electrical networks with a voltage of 0.4 - 10 kV. // Problems of energy and sources saving. -Tashkent. 2021. -№4. – pp. 61-65.

- 
8. Kuzmin P.S.(2019). Non-intrusive load monitoring: Implementation effects and distribution prospects. *Strategic Decisions and Risk Management*, 10(4), 306–319. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-4-306-319
  9. Ashby W.R. *An Introduction to Cybernetics*. – London: Chapman & Hall, 1956. -432 p.
  10. Boris Beizer *Black-Box Testing: Techniques for Functional Testing of Software and Systems*. -London: Wiley. ISBN:0471120944. 1995. -320 p.
  11. Allaev K.R. *Modern energy and prospects for its development*. -Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2021. -952 p.

*Presented by Tashkent State  
Technical University*

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТКРЫТЫХ ПАССИВНЫХ  
БАССЕЙНОВ

А.У. Вохидов, З.Дж. Арзиев

Илмий мақоладаги тақикотлар келтирилган қарорларнинг бандларига мос келади. Мазкур мақола юқорида келтирилган ҳужжатларни амалга ошириш бўйича вазифаларни бажариш асосида тайёрланган бўлиб, мавсумий очиқ бассейнларни қуёш энергияси ёрдамида иситишни ўрганиш натижаларига бағишланган ва бу ўз навбатида тизимда юқори энергия тежалишига олиб келади. Шуни таъкидлаш керакки, ҳозирги вақтда қаралаётган секторда конструктив ечимига кўра икки турга бўлинувчи: очиқ ва ёпиқ бассейнларни лойиҳалаштириш ва амалга ошириш учун илмий тадқиқотлар олиб бориш катта аҳамиятга эга. Ушбу илмий мақолада одатда йилнинг иссиқ мавсумида фойдаланишга мўлжалланган очиқ турдаги пассив бассейнлар ўрганилган. Дастлабки ҳисоб китобларга кўра Республиканинг иқлим шароитидан келиб чиқиб, қаралаётган бассейнларни қуёш нури билан иситганда, табиий иссиқлик алмашинуви жараёнлари натижасида, етарли миқдорда иссиқлик энергияси жамланиши кўрилди ва ундан “муқобил” пассив қуёшлий иситиш тизими сифатида фойдаланиш мумкин эканлиги аниқланди. Ушбу мақолада очиқ пассив бассейн учун энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланиб иссиқлик баланс тенламаси келтирилди, ҳамда унда атроф-муҳитнинг таъсири натижасида содир бўладиган энергия йўқотишлари: иссиқлик ўтказувчанлик, бугланиш, конвекцион ва нурланиш энергия йўқотишлари, шунингдек бассейннинг иссиқлик самарадорлигини аниқлаш масаласи ўрганилди. Тажрибавий тадқиқотлар Тошкент шаҳрида ўлчами  $2 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$  бўлган очиқ пассив бассейн юзасида ҳосил бўладиган иссиқлик энергияси миқдорини аниқлаш учун ўтказилди ва бунда иссиқлик йўқотишлари ҳисобга олинди. Олинган назарий ва ҳисобий тадқиқот натижалари меъёрий ҳужжатлардаги мавжуд маълумотлар билан қиёсий таққосланди.

*Представленное сообщение подготовлено на основе выполнения задач в свете реализации вышеуказанных руководящих документов и посвящена результатам исследования подогрева сезонных открытых бассейнов с помощью солнечной энергии, которые в свою очередь приводит к высокой экономии электроэнергии в системе. Отметим, что в настоящее время в рассматриваемом секторе большое значение имеет проведение научных исследований для развития масштабов*

проектирования и внедрения данного типа бассейнов, по конструктивным решениям, которые делятся на два типа: закрытые и открытые бассейны. В данной научной статье рассматриваются так называемые пассивные бассейны открытого типа, которые используются обычно в теплое время года. Первичные расчеты показывают возможность использования в системе обогрева рассматриваемых бассейнов тепловой энергии на основе естественных процессов теплообмена при климатических условиях республики, происходящих в результате нагревания их солнечным излучением, так называемой «альтернативное» системой пассивного солнечного обогрева. В статье представлено уравнение теплового баланса с использованием закона сохранения энергии для открытого пассивного бассейна, оценены потери энергии, возникающие в результате воздействий окружающей среды: теплопроводности, испарения, конвекции и радиационных потерь энергии, а также вопросы определения тепловой эффективности бассейна. Экспериментальные исследования проведенные в условиях г.Ташкента на объекте открытого пассивного бассейна размерами  $2 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$ , по определению количество тепловой энергии, выделяемой на поверхности бассейна с учетом тепловых потерь, были сопоставлены с расчетными данными указанных в нормативных документах.

*This report has been prepared on the basis of the fulfillment of tasks in the light of the implementation of the above guidance documents and is dedicated to the results of a study on the heating of seasonal outdoor pools using solar energy, which in turn leads to high energy savings in the system. It should be noted that at present, in the sector under consideration, it is of great importance to conduct scientific research to develop the scale of design and implementation of this type of pools, according to design solutions, which are divided into two types: indoor and outdoor pools. In this scientific article is discussed the so-called open-type passive pools, which are usually used in the warm season. Primary calculations show the possibility of using thermal energy in the heating system of the pools under consideration based on natural heat exchange processes under the climatic conditions of the republic, occurring as a result of their heating by solar radiation, the so-called "alternative" system of passive solar heating. The article presents the heat balance equation with the use of the law of energy conservation for an open passive pool, estimates the energy losses resulting from environmental influences: heat conduction, evaporation, convection and radiation energy losses, as well as the issues of determining the thermal efficiency of the pool. Experimental studies carried out in the conditions of Tashkent on the object of an open passive pool with dimensions of  $2 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$ , by definition, the amount of thermal energy released*

*on the surface of the pool, taking into account heat losses, were compared with the calculated data specified in the regulatory documents.*

**Введение.** Подогрев открытых бассейнов с использованием солнечной энергии (СЭ) является одним из перспективных способов применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В рассматриваемых бассейнах в течении дня накапливается необходимое количество энергии при правильном выборе весо-габаритных объемов и расположении рассматриваемых бассейнов [1]. Во многих случаях эксплуатация вышеуказанных бассейнов являются конкурентоспособной на сравнение с традиционными, с учетом темпа роста стоимости энергоресурсов.

За последние годы в Узбекистане принят ряд нормативно – правовых документов устанавливающих приоритет применению энергоэффективных и энергосберегающих технологий, которые содействует плавному переходу на зеленую энергетику, в основе которой лежит использования возобновляемых источников энергии. Инвестиции в зеленые технологии окупаются в течении 6-8 лет, и применяются для систем тепло-электроснабжения зданий и сооружений, а также других бытовых нужд населения [2-3].

В связи с этим представляет научный и практический интерес исследование плавательных бассейнов на возможность подогрева их на основе энергии солнечного излучения и определение значений тепловых потерь с целью повышения эффективности теплового преобразования СЭ на поверхности рассматриваемых бассейнов.

Отметим, что существует два типа бассейнов, открытый и закрытый. В данной работе рассмотрены открытые бассейны. Они обычно используются в летний сезон, когда температура наружного воздуха выше, чем 22-24°C и имеет высокое значение показателя среднесуточной солнечной радиации в зависимости от региона страны [4]. В данных условиях использование энергии солнечного излучения для компенсации тепловых потерь в бассейне и поддержания температуры воды в бассейне на фиксированном диапазоне (~24 – 32 °C) [5] является весьма актуальной и востребованной в свете Указа Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также постановлений Президента Республики Узбекистан № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции, путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» от 10 июля 2020 года и № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, в котором утвер-

ждены долгосрочные целевые параметры развития ВИЭ и план организационно-практических мер дальнейшего развития ВИЭ в республике.

**Методика расчета.** На рис.1, представлена принципиальная схема открытого пассивного бассейна с указанием тепловых потерь с её поверхности.

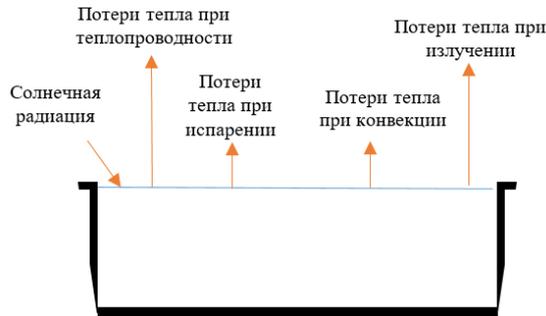


Рис. 1 Принципиальная схема открытого пассивного бассейна

Из рис.1, следует, что для оптимального планирования и проектирования бассейнов с солнечной системой обогрева, необходимо изучить принцип тепловых потерь на их поверхностях.

Выражение суточной потери энергии  $Q$  (Дж) в бассейне равно [6]:

$$Q = Q_{\text{тп}} + Q_{\text{ис}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{из}}; \quad (1)$$

где  $Q_{\text{тп}} = U_{\text{тп}} A_{\text{пб}} (T_{\text{в}} - T_{\text{з}})$  (2)

– потери тепла за счет теплопроводности через боковые и нижние поверхности плавательных бассейнов (Дж);  $U_{\text{тп}}$  – общий коэффициент теплоотдачи стенки бассейна ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ );  $A_{\text{пб}}$  – общая площадь стенки и дна бассейна ( $\text{м}^2$ );  $T_{\text{в}}$  и  $T_{\text{з}}$  – температура воды в бассейне и температура земли соответственно ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $Q_{\text{ис}} = A_{\text{пб}} h_{\text{ис}} (T_{\text{в}} - T_{\text{з}})$  (3)

– теплопотери при испарении воды (Ж), где  $h_{\text{ис}} = a + b \cdot v^n$  – коэффициент теплопередачи испарения;  $v$  – скорость ветра ( $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ) и  $a$  ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{Па}}$ ),  $b$  ( $\frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{\text{м}^2\text{Па}}$ ) – константы, которые приведены в [7];

$$Q_{\text{к}} = h_{\text{к}} A_{\text{пб}} (T_{\text{в}} - T_{\text{воз}}) \quad (4)$$

– теплопотери на конвекцию на поверхности бассейна (Дж);  $h_{\text{к}}$  – коэффициент конвективной теплопередачи ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$ ),  $T_{\text{воз}}$  – температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ );

$$Q_{\text{из}} = A_{\text{пб}} \epsilon_{\text{из}} \sigma (T_{\text{в}}^4 - T_{\text{тс}}^4) \quad (5)$$

– теплопотери на излучением; где  $T_{\text{тс}}$  – температура стен ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$ ).

Следует учесть, что в рассматриваемых открытых пассивных бассейнах около 50 % тепловой энергии теряется при испарении с их поверхности. Показатель конвективных тепловых потерь составляет примерно 18 % [8]. Вышеуказанные тепловые потери также могут достигать

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

66 – 69 % при скорости ветра 3 – 5 м/с [9]. Согласно результатам предварительных расчетов [10], суммарные удельные тепловые потери за световой день, за счет испарения, составляет 0,5÷0,6 части дневной суммы солнечного излучения, падающего на их лучевоспринимающую поверхность.

Отметим, что по существующим СанПиН и стандартам [5] микроклимат в бассейне должен быть комфортным для плавания, в котором необходимо, чтобы температура воздуха на несколько градусов (лучше на 2-3°C) превышала температуры воды. Если указанное значение меньше, то при выходе из бассейна человек начинает ощущать существенный дискомфорт.

На табл.1 представлены различные виды бассейнов, в зависимости от их назначения, а также оптимальный температурный режим бассейнов, в зависимости от их назначения и весогабаритных показателей.

Таблица 1

Виды бассейнов и санитарно-гигиенические требования к их устройству

Виды бассейнов (назначение)	Площадь, (м <sup>2</sup> )	Температура, Воды, (°С)	Площадь воды на 1 человека, (м <sup>2</sup> )	Время полного водообмена, (час)
Спортивные	до 1000 более 1000	24-28	8,0 10,0	8,0
Оздоровительные	до 400 более 400	26-29	5,0 8,0	6,0
Детские учебные: - дети до 7 лет; - дети старше 7 лет	до 60 до 100	30-32 29-30	3,0 4,0	3,0 4,0

В большинстве стран мира разработаны стандарты, учитывающие температуру и размеры бассейна с учетом климатических и природных условий [11-12]. Учитывая вышесказанное, следует отметить, что при температуре ниже 25 °С дыхание пловца начинает ухудшаться. Плавание в воде с падением температуры с 21 °С до 16 °С считается опасным [11]. Поддерживать температуру воды в пределах от 25 – 32 °С считается оптимальным для обеспечения теплового комфорта для пловцов бассейна и предотвращения размножения микроорганизмов [12].

Для выполнения условий по [12], необходимо обеспечить определенное количество энергии для поддержания, заданной нормами температуры в бассейнах. При этом использование солнечной энергии в определенный период года (май-сентябрь) для обогрева открытых плавательных бассейнов на основе принципов пассивных систем солнечного отопления, является весьма выполнимой, так как технический потенциал солнечной энергии по всей территории республики колеблется [13] и имеется воз-

возможность сэкономить большую часть планируемого расхода энергии для их обогрева. Отметим, что обобщение опыта по эксплуатации закрытых бассейнов с использованием солнечных водонагревательных коллекторов, при прочих равных условиях, с использованием природного газа и электричества в рассматриваемых бассейнах приведет к снижению расхода на 40 – 50 %. [14].

Предварительные расчетные исследования по использованию пассивной системы солнечного обогрева для открытых бассейнов, показывают возможность в световой день экономить более 50% энергии в климатических условиях республики.

Далее приводится упрощенный практический расчет по определению количества сэкономленной энергии для открытого пассивного бассейна размером  $2 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$ . В Узбекистане интенсивность солнечного излучения ( $I$ ) достигает до  $750 \div 980 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  летом и  $300 \div 500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  зимой [15]. Солнечная интенсивность за определенный промежуток времени определяется по следующему выражению:

$$I(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{dP}{dS} dt; \quad (6)$$

где,  $I$  – интенсивность солнечного излучения ( $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ),  $T$  – период (с),  $dP$  – мощность солнечного излучения (Вт),  $dS$  – единичная поверхность ( $\text{м}^2$ ),  $t$  – время (с).

Решая уравнение (6) для открытых бассейнов с размерами  $2 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$  с формой прямоугольной поверхности, получаем мощность  $dP = IS$  падающего солнечного излучения на поверхность бассейна.

Количество тепла, переданного бассейну по закону сохранения энергии, имеет следующий вид:

$$\partial Q = mC d\theta = dPt \quad (7)$$

где,  $m$  – масса воды (кг) в бассейне,  $C$  – удельная теплоемкость воды ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ),  $d\theta$  – изменение температуры (К),  $t$  – единица времени (с). Согласно (6) запишем (7) в виде  $mc\Delta\theta = Ist$  и получим:

$$\Delta\theta = \frac{Ist}{mc}. \quad (8)$$

**Результаты.** Результаты расчетных данных по (8) с учетом климатических показателей г. Ташкента ( $41^\circ 18'$  с. ш.  $69^\circ 15'$  в. д.), для 18 июня 2021 года приведены в табл. 2. В этот день скорость ветра составила 3 м/с, а средняя температура воздуха –  $33^\circ\text{C}$ .

Согласно проведенным расчетным исследованиям (табл. 2) для бассейна с площадью поверхности  $2 \text{ м}^2$  и глубиной  $1 \text{ м}$  солнечное излучение, падающее на поверхность бассейна, увеличивает энергию воды в бассейне на  $\Sigma Q \approx 66,49 \text{ МДж}$  и температура воды в открытом бассейне в течение суток повысилась на  $+71^\circ\text{C}$ , при прочих равных условиях с использованием электрической энергии в течение суток потребовалась бы энергия равная  $18,48 \text{ кВт}\cdot\text{час}$ .

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Отметим, при нормальных погодных условиях ( $v=1-3$  м/с, средняя температура воздуха  $\sim 25-33^{\circ}\text{C}$ ) [16,17] для повышения температуры бассейна в течение одного часа объемом  $2 \text{ м}^3$  до  $0,78^{\circ}\text{C}$ , требуется  $1,82$  кВт час энергии.

Таблица 2

Изменение температуры воды в бассейне за счет использования передаваемой лучистой энергии солнечным излучением в течении суток

$t$ (час)	$I$ (Вт/м <sup>2</sup> )	$Q$ (МДж)	$\Delta\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
8 <sup>00</sup>	910	6,56	0,78
9 <sup>00</sup>	940	6,77	0,81
10 <sup>00</sup>	950	6,84	0,81
11 <sup>00</sup>	970	6,98	0,83
12 <sup>00</sup>	970	6,98	0,83
13 <sup>00</sup>	970	6,98	0,83
14 <sup>00</sup>	970	6,98	0,83
15 <sup>00</sup>	940	6,77	0,81
16 <sup>00</sup>	850	6,14	0,73
17 <sup>00</sup>	760	5,49	0,65

**Вывод.** Таким образом, при повышении температуры воды в открытом пассивном бассейне на  $7,1^{\circ}\text{C}$  за счет солнечного излучения в течение суток с учетом тепловых потерь которые составляют  $66\%$  при скорости ветра  $3$  м/с можно сэкономить количество энергии равной  $6,28$  кВт час, в зависимости от объема поверхности бассейна.

### Литература

1. Julian David Hunt, BehnamZakeri, and others. Swimming pool thermal energy storage, an alternative for distributed cooling energy storage // Energy Conversion and Management Volume 230, 15 February 2021. pp. 1-12.
2. О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан. Постановление Президента Республики Узбекистан г. Ташкент, 9 апреля 2021 г., № ПП-5063.
3. О мерах по развитию плавательного спорта. Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №333 от 3 мая 2018 года.
4. Matteo Dongellini, Stefania Falcioni, Andrea Martelli, Gian Luca Morini. Dynamic simulation of outdoor swimming pool solar heating // ScienceDirect, Energy Procedia 81 ( 2015 ) pp. 1 – 10.
5. Санитарные нормы и правила по проектированию, устройству и эксплуатации плавательных бассейнов. СанПиН РУз N 0221-07.

6. T.T. Chow, Y.Bai, K.F. Fong, Z. Lin. Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool water and space heating // Applied Energy 100 (2012) pp. 309–317.
7. Elisa Ruiz, Pedro J. Martinez. Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model // Solar Energy 84 (2010) pp. 116–123.
8. Charles C. Smith, George Lof, and Randy Jones. Measurement and analysis of evaporation from an inactive outdoor swimming pool // Solar Energy, Vol. 53. No. 1. pp. 3-7. 1994.
9. Ali H. Tarrad. Heating Mechanism and Energy Analyses for Over-Ground Outdoor Swimming Pool Technology // Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST) Volume 1, Issue 6, Pages 08-22, July 2017.
10. Аvezов Р.Р., Касимов Ф.Ш.. Тепловые потери емких лотковых солнечных коллекторов с открытой поверхностью испарения // Гелиотехника. 2008. № 4. –С. 36-42.
11. ANSI/ASHRAE 146-2020: Testing and Rating Pool Heaters. <https://blog.ansi.org/2020/06/ansi-ashrae-146-2020-testing-pool-heaters/#gref>
12. Бассейны для плавания Общие технические условия // Национальный стандарт Российской Федерации. Москва Стандартинформ 2019.
13. Avezov R.R., Avezova N.R., Matchanov N.A., Suleimanov Sh.I., Abdukadirova R.D.. History and State of Solar Engineering in Uzbekistan // Applied Solar Energy, 2012, Vol. 48, No. 1, pp. 14–19.
14. E. Hahne and R. Kubler. Monitoring and simulation of the thermal performance of solar heated outdoor swimming pools // Solar Energy, Vol. 53, No. 1, pp. 9-19, 1994.
15. Р.Р. Аvezов, Н.Р. Аvezова, Э.Ю. Рахимов. Учёт ориентации отапливаемых помещений при расчете инсоляционных пассивных систем отопления // Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» 13-14 июня 2017г. -С. 5-10.
16. Временная методика расчета тепловых нагрузок и норм расхода топлива электроэнергии и воды на выработку тепловой энергии отопительными котельными // Приказ генерального директора узбекского агентства «Узкоммунхизмат», 26 декабря 2006 г., № 20-15269/11.
17. Calculation of power and energy needs for heating of buildings Guidelines 2012 // D5 National building code of Finland ministry of the environment, Department of the Built Environment.

*Представлено Физико-техническим институтом  
Академии наук Республики Узбекистан*

УДК 620.9

**O‘ZGARMAS TOKDA ISHLAYDIGAN QUYOSH FOTOMODULIDAN  
QUVVATLANUVCHI KOMPRESSORNING ISHCHI  
PARAMETRLARINI ANIQLASH**

**N.A. Abdullaev, A.Sh. Shaislamov, R.R. Jo‘rayev**

*Quyosh fotomodulidan to‘g‘ridan – to‘g‘ri quvvatlanadigan quyosh sovutgich qurilmasida foydalanadigan BD -35F kompressorining ishchi ko‘rsatgichlarini amaliy va nazariy o‘rganish bo‘yicha ilmiy ish bajarildi. Bajarilgan amaliy ishning natijasiga asosanib, kompressorning ishlash jarayonidagi o‘zgaruvchi qiymatlarni ifodalovchi regression tenglamalar ishlab chiqildi. Regression tenglamalarning natijalarining qiymatlari, o‘lchov ishlari orqali qo‘lga kiritilgan qiymatlar bilan taqqoslanib, regression tenglamalar muhandislik hisoblarida foydalaish mumkinligi aniqlandi.*

*Представлены результаты научно-исследовательской работы по теоретическому и практическому изучению рабочих параметров компрессора BD-35F, используемого в солнечных холодильниках, который непосредственно подключается к солнечным фотомодулям. Были получены регрессионные уравнения описывающие переменные величины в процессе работы компрессора на основе полученных экспериментальных результатов. Результаты расчетов регрессионных уравнений сверены с результатами экспериментальных измерений и было установлено, что полученные регрессионные уравнения могут быть применены в инженерных расчетах.*

*The scientific research work has been carried out on the theoretical and practical study of the operating parameters of the BD-35F compressor used in solar refrigerators, which is directly connected to solar photo modules. Regression equations were developed to describe the variables in the process of compressor operation based on the experimental results. The results of the regression equations are compared with the results of experimental measurements and it was found that the regression equations can be applied in engineering calculations.*

**Kirish.** So‘ngi o‘n yillikda quyosh fotomodullaring bozor narxi nisabatan tushib borayotgani, ho‘jalikda quyosh sovutgichlaridan keng foydalanish imkoniyatini yaratmoqda [1-2]. Olib borilgan adabiyot tahlilidan shu ma‘lum bo‘ldiki, so‘ngi yillarda quyosh sovutgich qurilmalari ustida ilmiy izlanishlar soni ortib borgan bo‘lib, ularning asosiy maqsadi, quyosh sovutgich qurilmalarini ishlash jarayonini optimallashtirish va konstruksiyasida maqbul

yechimarni o'rganishdir. Olimlar [3-7] quyosh sovutgichlarining ishchi ko'rsatichlarini aniqlashda, samaradorlikni oshirishda, foydalanish ko'lamini kengaytirishda ko'plab ilmiy shlar olib borishgan. Ko'plarining hulosasiga ko'ra, garchi quyosh sovutgich qurilmasi hozirgi kunda bozorlarda mavjud bo'lsada, ularning yuqori narxi, ularning keng targ'ib bo'lishida asosiy to'siq bo'lib turibti.

Ba'zi olimlar [8-9] an'anaviy bo'lgan ho'jalik sovutgichlarini kompressorlarini quyosh energiyasidan quvvatlanadigan o'zgarmas to'kda ishlaydigan kompressor bilan almashtirib ham tajribalar olib borishgan. Bunday ilmiy ishlarda olimlar tamonidan qurilmaning iqtisodiy jihatiga urg'u berilib, tizimni nazariy jihatidan o'rganish kuzatilmagan. Shu boisdan, mualliflar sovutgich qurilmasing asosiy qismi bo'lgan kompressorini ishchi ko'rsatgichlarini ham amaliy ham nazariy o'rganish maqsadida ilmiy ish olib borishdi.

Kichik hajmli, quyosh fotomoduli orqali energiya bilan quvvatlanadigan sovutgich qurilmalarida keng qo'llaniladigan o'zgarmas to'kda ishlaydigan Donfoss kompaniyasining BD-35F kompressorining ishchi ko'rsatgichlarini aniqlash maqsadida tajriba ishlari olib borildi.

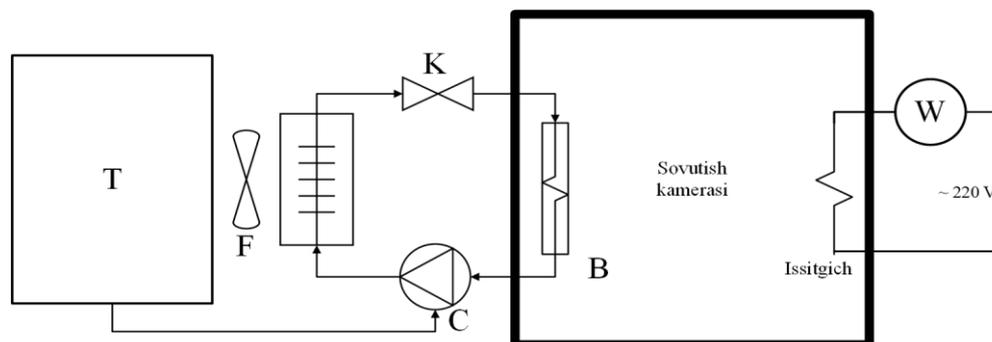
Kompressorlarning ishlash jarayondagi ishchi ko'rsatkichlar doimiy o'zgaruvchan bo'lib, ular asosan quyosh fotomodulidan ishlab chiqarilgan elektr quvvatiga bog'liqdir. Shuni etiborga olgan holda, kompressorning elektr quvvat istemoli  $P_{el}$  hamda sovutish quvvatini  $P_{cool}$ , shu kompressorning aylanish chastotasi (RPM), energiya tashuvchining (freoning) bug'lanish  $t_{ev}$  va kondensatsiyalanish haroratiga  $t_{con}$  bog'liqlik koeffitsientlarini aniqlash mumkin.

**Qurilmaning tasnifi.** Tajriba laboratoriya sharoitida olib borilgan bo'lib, tajriba qurilmasining sxemasi rasm 1 da ko'rsatilingan. Tajriba ostidagi kompressorga elektr energiyasi laboratoriya transformatori T orqali berildi. O'z navbatida kompressor issiqlik tashuvchini siqib, bug'-kompressor jarayoni sodir bo'lishini taminlaydi. Energiya tashuvchi, bug'lantirgichda sovutish kamerasi ichidagi issiqlikni yutib bug'lanadi, so'ngra kompressorda siqilib, yuqoriroq bosim va harorat bilan kondensatorga, F, tushadi. U yerda kondensatlangan energiya tashuvchi, kengaytirish klapani, K, dan o'tib, past bosim bilan yana bug'lantirgichga kelib tushadi.

Sovutish kamerasi ichidagi haroratni doimiy bo'lishini ta'minlash uchun, kamera ichiga termostat bilan ta'minlangan elektr isitgich o'rnatilingan. Elektr isitgichning elektr istemoli vattmeter yordamida qayt etib boriladi.

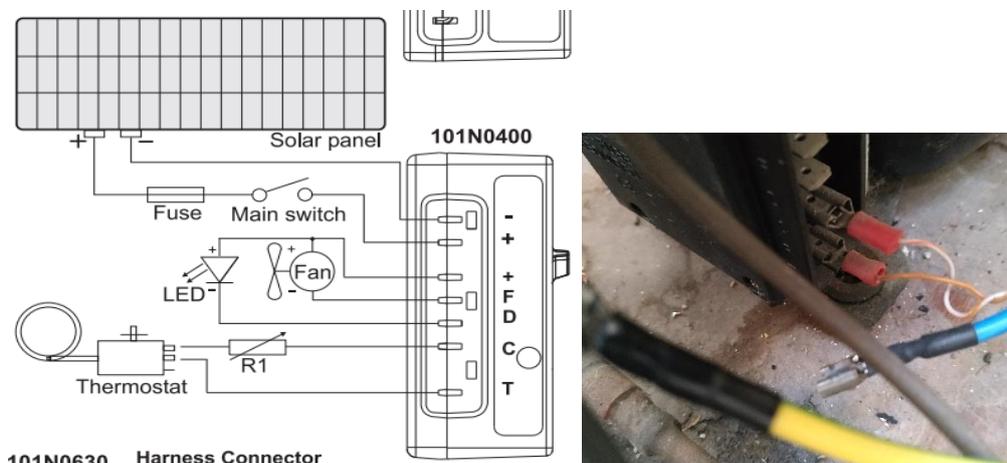
O'zgarmas tokda ishlaydigan BD-35F kompressorini quyosh fotomoduli bilan birgalikda ishlatish maqsadida, ishlab chiqaruvchi tomonidan mahsus elektron boshqaruv bloki bilan jihozlangan bo'lib, bu elektron blok kompressorini to'g'ridan to'g'ri quyosh fotomodulida ishlab chiqarilgan elektr energiyasiga ulash imkoniyatini beradi. Bu blokda mahsus ajratilgan klemmalar bo'lib, ular yordamida kompressorning ishlashini boshqarish mumkin.

1-rasmda tajriba qurilmasining prinsipial sxemasi keltirilgan.



1-rasm. Tajriba qurilmasi. T – laboratoriya transformatori, F – kondensator, K – kengaytirish klapani, C – kompressor, B – bug’lantirgich, W – vattmeter

**Tajriba.** Bajarilgan tajriba ishida kompressorning sovuqlik ishlab chiqarish quvvatini aniqlash uchun issiqlik balansi metodian foydalanildi. Buning uchun laboratoriya sharoitida quydagi tajriba ishlari olib borildi. Kompressorning elektron boshqaruv blokidagi C va T klemmalar orasiga potensiomter ulanib, kompressor valining aylanish chastotasi (RPM) ma’lum o’zgarma qiymatga sozlandi. 2-rasmda kompressor valining aylanish chastotasini maromlash sxemasi keltirilgan.



2-rasm Kompressor valining aylanish chastotasini maromlash sxemasi

Kompressorning  $P_{ei}$  hamda isitgichning  $P_{is}$  elektr quvvati is’temoli o’lchandi.

Sovutish kamerasida joylashgan elektr issitgichdan ajralgan issiqlik miqdori, uning elektr energiyasi istemolini o’lchash orqali hisoblab topildi.

$$E_{issitgich} = P_{is} \times \tau$$

Sovutish kamerasida issiqlik yo'qilish quvvati,  $q_{loss}$ , o'lchandi.



3-rasm. Sovutish kamerasining atrof muhitga issiqlik uzatishini o'lchash

Sovutish kamerasi uchun issiqlik balansi tuzilib, bug'lantirgichda yutilgan issiqlik energiyasi hisoblab topildi.

$$Q_{bug'} = E_{issitgich} + Q_{loss} [J];$$

$$E_{issitgich} = \int_0^t P d\tau [J]$$

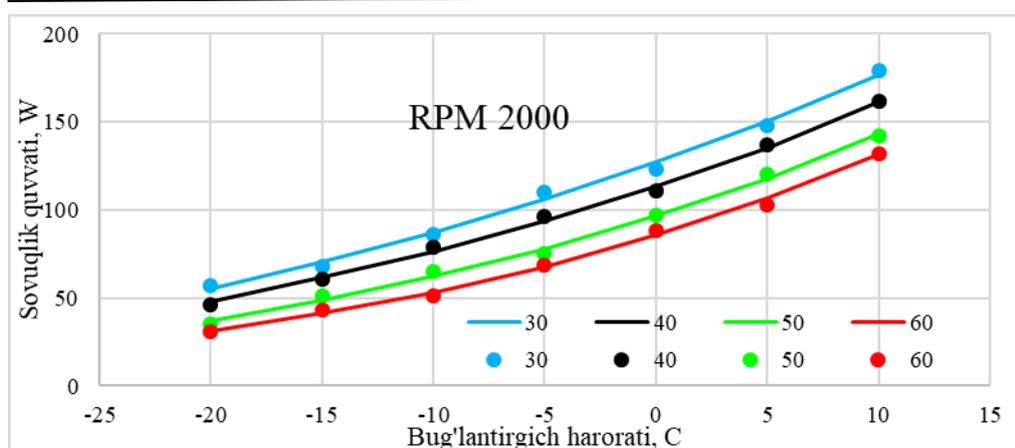
$$Q_{loss} = \int_0^t q_{loss} d\tau [J]$$

$q_{loss}$  – sovutish kamerasing atrof muhitga issiqlik yo'qotish quvvati.

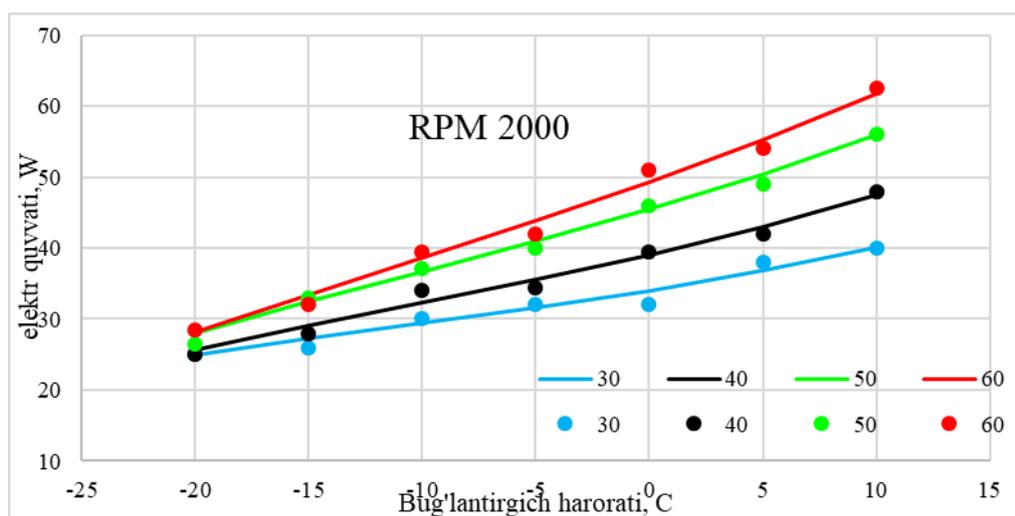
$$P_{cool} = \frac{Q_{bug'}}{\tau} [W]$$

So'ngra huddi shunday ketma-ket vazifalar kompressor valining aylanish chastotasini boshqa qiymatlari uchun ham bajarildi.

**Natijalar.** Quyida keltirilgan 4 rasmda tajriba orqali olingan sovutish quvvati va 5 rasmda kompressorning elektr is'temoli va shu ma'lumotlar asosida qolga kiritilgan regression liniyalari 2000 RPM lar uchun ko'rsatilgan.



4-rasm. Kompessor valining aylanish chastotasi turlicha bo'lgan qiymatlarida, sovuqlik ishlab chiqarish quvvatining bug'lanish va kondensatsiya haroratlari-ga bog'liklik diagrammasi



5-rasm. Kompessor valining aylanish chastotasi turlicha bo'lgan qiymatlarida, elektr istemoli quvvatining bug'lanish va kondensatsiya haroratlari-ga bog'liqlik diagrammasi

Qo'lga kiritilgan regression tenglamalar quydagicha ko'rinishga ega:

$$P_{el} = b_0 + b_1 t_{ev} + b_2 t_{con} + b_3 t_{ev}^2 + b_4 t_{ev} t_{con} + b_5 t_{con}^2 + b_6 t_{ev}^3 + b_7 t_{con} t_{ev}^2 + b_8 t_{ev} t_{con}^2 + b_9 t_{con}^3$$

;

$$P_{cool} = a_0 + a_1 t_{ev} + a_2 t_{con} + a_3 t_{ev}^2 + a_4 t_{ev} t_{con} + a_5 t_{con}^2 + a_6 t_{ev}^3 + a_7 t_{con} t_{ev}^2 + a_8 t_{ev} t_{con}^2 + a_9 t_{con}^3$$

;

$b_0, b_1, \dots, b_9$  va  $a_0, a_1, \dots, a_9$  koeffitsientlar.

Jadaval 1

Sovuqlik ishlab chiqarish quvvatini aniqlashdagi regression tenglamalardagi koeffitsientlar:

RPM	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$
2000	62.88911	5.305148	6.500489	0.033413	-0.03679	-0.189	0.000576	0.000589	0.000211	0.001449
2500	181.6656	6.771911	1.001258	0.051986	-0.05093	-0.07511	0.000616	0.000497	0.000305	0.000618
3000	223.5544	8.906673	0.597748	0.04316	-0.09118	-0.07563	0.000281	0.000736	0.000676	0.000633
3500	180.9837	10.29065	5.964952	0.040103	-0.10089	-0.20434	-0.00019	0.000761	0.000712	0.001582

Jadval 2

Kompressorning elektr quvvatini aniqlashdagi regression tenglamalardagi koeffitsientlar:

RPM	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$
2000	69.2484	-0.23552	-3.26342	0.007449	0.027076	0.090334	0.000265	2.24E-05	-7.3E-05	-0.00069
2500	132.865	-0.3019	-7.11211	0.015115	0.036652	0.181779	0.000293	-0.00014	-0.00015	-0.00138
3000	-12.323	0.119399	3.419397	-0.0056	0.024432	-0.05348	-0.00032	-2.5E-05	3.47E-05	0.000363
3500	86.610	0.087928	-2.90917	-0.01	0.027663	0.092645	-0.00032	0.000132	0.000113	-0.00071

**Tahlil.** Yuqoridagi 4-5 rasmlardan ko'rinib turibiki, tajriba orqali qo'lga kiritilgan sovutish va elektr is'temoli qiymatlari (diagrammada nuqtalarda berilgan) hamda regression tenglamalar orqali hisoblangan qiymatlar (diagrammada liniya berilgan) deyarli teng. Sovuqlik ishlab chiqarishdagi eng katta hatolik (4 rasm) kompressor valining aylanish chastotasi 2000, bug'lanish harorati -5 C va kondensatsiya harorati 30 C bo'lganda, o'lchovdagi sovuqlik ishlab chiqarish qiymati 110,5 W bo'lsa, regression tenglamda ayni shu nuqta uchun mazkur qiymat 106,17 W tashkil etdi.

Kompressorning elektr energiyasi istemolining tajribaviy hamda hisobiy qiymatlari orasidagi eng katta hatolik (5 rasm) kompressor valining aylanish chastotasi 2000, bug'lanish harorati 0 °C va kondensatsiya harorati 30 °C bo'lganda kuzatildi. Bunda, tajribaviy qiymati 32 W bo'lsa, regression tenglamda ayni shu nuqta uchun mazkur qiymat 35,3 W tashkil etdi.

**Hulosa.** Bajarilgan ilmiy izlanishning natijalari shuni ko'rsatdiki, olib borilgan tajriba ishlaridan qo'lga kiritilgan qiymatlar hamda ishlab chiqilgan regression tenglamalar qiymatlari orasidagi hatolik kichik bo'lib, regression tenglamalarni muhandislik ishlarida foydalanish mumkindir.

**Adabiyot**

1. Kumar Sahu, B., 2015. A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43, 621–634. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.058>.
2. Ondraczek, J., Komendantova, N., Patt, A., 2015. WACC the dog: the effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power. *Renew. Energy* 75, 888–898. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.053>.
3. Kim, D.S., Infante Ferreira, C.A., 2008. Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. *Int. J. Refrigeration* 31, 3–15. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.07.011>.
4. Ekren, O., Yilanci, A., Cetin, E., Ozturk, H.K., 2011. Experimental performance evaluation of a PV-powered refrigeration system. *Electron. Electr. Eng.* 114.
5. McCarney, S., Robertson, J., Arnaud, J., Lorensen, K., Lloyd, J., 2013. Using solar-powered refrigeration for vaccine storage where other sources of reliable electricity are inadequate or costly. *Vaccine* 31, 6050–6057. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.07.076>.
6. Otanicar, T., Robert, A.T., Phelan, P.E., 2012. Prospects for solar cooling – an economic and environmental assessment. *Sol. Energy* 1287–1299
7. Sarbu, I., Sebarchievici, C., 2013. Review of solar refrigeration and cooling systems. *Energy Build.* 67, 286–297.
8. Kaplanis, S., Papanastasiou, N., 2006. The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered one. *Renew. Energy* 31, 771–780. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.012>.
9. Modi, A., Chaudhuri, A., Vijay, B., Mathur, J., 2009. Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator. *Appl. Energy* 86, 2583–2591. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.037>.
10. Jiang D., Binjian N., 2020. Cooling performance of a thermal energy storage-based portable box. *Journal of Energy Storage* 28.
11. Enibe SO. Solar refrigeration for rural applications. *Renewable Energy*. 1997 Oct 1;12(2):157–67.
12. Tina GM, Grasso AD. Remote monitoring system for stand-alone photovoltaic power plants: The case study of a PV-powered outdoor refrigerator. *Energy Conversion and Management*. 2014;78.
13. Riaz F, Tan KH, Farooq M, Imran M, Lee PS. Energy analysis of a novel ejector-compressor cooling cycle driven by electricity and heat (waste heat or solar energy). *Sustainability (Switzerland)*. 2020;12(19).
14. Ekren O, Celik S, Noble B, Krauss R. Performance evaluation of a variable speed DC compressor. *International Journal of Refrigeration*. 2013 May 1;36(3):745–57.

15. Sakellariou E, Axaopoulos P. Simulation and experimental performance analysis of a modified PV panel to a PVT collector. *Solar Energy*. 2017;155.
16. Infante Ferreira C, Kim DS. Techno-economic review of solar cooling technologies based on location-specific data. *International Journal of Refrigeration*. 2014 Mar 1;39:23–37.
17. Opoku R, Anane S, Edwin IA, Adaramola MS, Seidu R. Comparative techno-economic assessment of a converted DC refrigerator and a conventional AC refrigerator both powered by solar PV. *International Journal of Refrigeration*. 2016;72.
18. Aich S, Nayak J. Design and fabrication of a solar portable refrigerator. In: *Materials Today: Proceedings*. 2019.
19. Kasera S, Nayak R, Chandra Bhaduri S. Performance analysis of solar milk refrigerator using energy efficient R290. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021;24.
20. John A. William B. 2013. *Solar engineering of thermal processes*. Fourth ed. John Wiley & Sons. Ney Jersey. USA.

*Toshkent davlat texnika universiteti  
tomonidan taqdim etilgan*

УДК 621.47

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ВЫХОДНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА RS-485 И ИНТЕРНЕТ  
ВЕЩЕЙ НА ОБЛАЧНЫЙ СЕРВЕР**

**Х.Х. Кулматов**

Сўнги йилларда Ўзбекистон Республикаси иқтисод тармоқларида қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш самараси ва кўламини оширишга қаратилган қонун, фармон ва қарорлар қабул қилинмоқда. Жумладан, Қонунчилик палатаси томонидан 2019 йил 16 апрелда қабул қилинган “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш” тўғрисидаги қонуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг № ПФ-5063-сонли “Ўзбекистон Республикасида қайта тикланадиган ва водород энергетикасини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарори, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2020 йил 23 июлдаги 452-сонли “Қайта тикланувчи энергия манбалари қурилмаларининг ва улардан ишлаб чиқариладиган энергиянинг давлат ҳисобини юритиш чора-тадбирлари” тўғрисида, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2022 йилдаги 24 мартдаги 127-сонли “Энергетика вазирлиги ҳузуридаги қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти фаолиятини ташиқил этиш чора-тадбирлари” тўғрисидаги қарор. Илмий мақоладаги тақиқотлар келтирилган қарорининг бандларига мос келади. Қайта тикланувчан энергия манбалари асосида қурилган ва эксплуатация қилинаётган онгрід станция ва тизимларни самарадорлигини ошириш ҳамда энергия тармоқларига хавфсиз интеграция қилишда он-лайн ёки масофада мониторинг ўтказиш имкониятларини ва ишончилигини ошириш каби масалаларни ечимига қаратилган изланишларни олиб бориш соҳа ривожланиши учун катта аҳамиятга эга. Олинган натижалар асосида тизимларни интеграция қилишдаги муаммоларни ўрганиш орқали мазкур энергиядан фойдаланишнинг салоҳиётини баишоратлашни, хавфсиз ва ишончли тизимни лойихалаштиришини имкониятлари яратилади. Шу сабабли соҳада янги инновацион технологияларни қўллаш ҳисобига, яъни Республика худудида Қайта тикланувчан энергия манбалари асосида қурилган ва эксплуатация қилинаётган онгрід станция ва тизимларни мониторингини амалга ошириш учун, булутли технологиялар асосланган мониторинг тизимини яратиш, жорий қилиш ҳамда унинг ишончилигини оширишга йўналтирилган тадқиқотлар олиб бориш долзарб ва зарур масалалардан биридир. Ушбу тадқиқот ишида Ўзбекистонда жойлашган қўйи фотоэлектр станцияларининг чиқиши

кучланиши, ток кучи, қуввати ва бошқа параметрларини ўлчаши натижаларини Modbus RS-485 протоколи асосида булутли серверга узатилиши имкониятлари ўрганилди. Масофага маълумотларни узатишида инверторларни мониторинг тизимига интеграция қилиши имконияти хисобга олинган холда хулосалар берилди.

В последние годы в Республике Узбекистан приняты указы и постановления по развитию и использованию возобновляемых источников энергии в отраслях экономики страны; в частности Законодательной палатой 16 апреля 2019 года принят Закон Республики Узбекистан об “Использовании возобновляемых источников энергии”. Приняты: Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан, от 2020 год 7 июля № 452 “О мерах по ведению государственного учета установок возобновляемых источников энергии и вырабатываемой ими энергии”, Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан, от 2022 год 24 марта № 127 “О мерах по организации деятельности национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики, Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» (ПП-5063). Настоящая работа выполнена в свете решения задач, поставленных в вышеуказанных руководящих документах. Повышение эффективности сетевых станций и систем, построенных и эксплуатируемых на основе возобновляемых источников энергии, а также оценка их возможностей и надежной эксплуатации, требуют выполнения исследований направленных на разработку систем для мониторинга с целью безопасной интеграции последних в энергетические сети, Данные исследования имеют большое значение для развития отрасли, так как на основе полученных результатов и изучения проблем системной интеграции появляется возможность прогнозировать технический потенциал возобновляемых источников энергии, спроектировать безопасную и надежную энергетическую систему. В связи с этим создание и внедрение облачных систем мониторинга внутрисетевых станций и систем на базе возобновляемых источников энергии в стране за счет использования новых инновационных технологий является актуальной и востребованной задачей отрасли. В данной работе показаны возможности передачи результатов измерений выходного напряжения, тока, мощности и других параметров солнечных фотоэлектрических установок Узбекистана на облачный сервер протоколом Modbus RS-485. Выводы сделаны с учетом возможности интеграции инверторов в систему мониторинга для удаленной передачи данных.

*In recent years, the Republic of Uzbekistan has adopted many decrees and resolutions in terms on the use of renewable energy sources development in the country's economy sectors: Legislative Chamber on April 16, 2019 the law of the Republic of Uzbekistan on "Use of renewable energy sources", Decree of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, from July 7, 2020 No. 452 "On measures to maintain state records of installations of renewable energy sources and the energy they generate", Decree of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, from March 24, 2022 No. 127 "On measures to organize the activities of the National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy, Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On measures to develop renewable and hydrogen energy in the Republic of Uzbekistan" PP- 5063. This research work was carried out in the light of the fulfillment of the tasks set in the above resolutions. Improving the efficiency of network stations and systems built and operated on the basis of renewable energy sources, as well as assessment their capabilities and reliable operation, requires research aimed at developing systems for their online or remote monitoring in order to safely integrate the latter into energy grids. These studies are of great importance for the development of the industry, since based on the results obtained by studying the problems of system integration, it is possible to predict the technical potential of the energy used, to design a safe and reliable system. In this regard, the creation and implementation of highly reliable cloud monitoring systems for monitoring on-grid plants and systems based on renewable energy sources in the country through the use of new innovative technologies is an urgent and demanded task for the industry. This paper shows the possibility of transferring the results of measuring the output voltage, current, power and other parameters of solar photovoltaic installations in Uzbekistan to a cloud server based on the Modbus RS-485 protocol. The conclusions are made taking into account the possibility of integrating inverters into a monitoring system for remote data transmission.*

**Введение.** Практическое использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с каждым днем расширяется в больших масштабах, и согласно отчету Global Electricity Review, «...ветровая и солнечная энергетика впервые достигли 10% в мировом производстве электроэнергии» [1].

Узбекистан имеет огромный потенциал одного из видов ВИЭ, т.е. солнца - в стране более 320 солнечных дней, что даёт возможность создать реальные условия для использования солнечной энергии (СЭ) в течение практически всего года, что в свою очередь, способствует получению чистой энергии в объеме больше 182 млн.т. нефтяного эквивалента в год [2].

Для достижения вышеуказанных целей в стране создана законодательно-нормативная, институциональная и производственная инфраструктура. Приняты Законы Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» и «О государственно-частном партнерстве», которые создают нормативно-правовую основу для ускорения реализации проектов в области широкомасштабного использования ВИЭ.

Постановлением Кабинета Министров от 22.07.2019г. №610 утвержден Регламент подключения к единой электроэнергетической системе субъектов предпринимательства, производящих электрическую энергию, в том числе от ВИЭ, определяющий основные технические аспекты интеграции объектов ВИЭ в ЕЭС Узбекистана.

Вместе с тем, в соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 23.10.2018г. №ПП-3981 «О мерах по ускоренному развитию и обеспечению финансовой устойчивости электроэнергетической отрасли» поручено:

разработать современные схемы организации производства электрической энергии, предусмотрев при этом широкое привлечение частных, включая иностранных, прямых инвестиций в предприятия по производству электрической энергии, в том числе на условиях государственно-частного партнерства (ГЧП) и проработать с потенциальными инвесторами проектов в сфере электроэнергетики на условиях ГЧП, исходя из имеющейся ресурсной базы, современных технологических тенденций и использования альтернативных источников электроэнергии.

Вышеупомянутые нормативно-законодательные базы ускоряют процесс широкого применения ВИЭ в Узбекистане и их интеграцию в сеть.

**Анализ существующих подходов.** Основной проблемой процесса интеграции энергосистем и установок на основе ВИЭ в сеть является идентификация их производственных мощностей и, на ее основе, идентификация пользователей сети посредством учета сетевой нагрузки. Причина в том, что среди видов ВИЭ в основном широко используются энергия ветра и солнца, природа данных источников энергии нестабильна, что в свою очередь, диктует необходимость проведения мониторинга работ энергоустановок и систем на основе ВИЭ и необходимость корректировать нагрузку, подаваемую в сеть.

Имеется мало доступной литературы по применению облачных технологий для мониторинга солнечных станций. В [3] авторами сделана попытка мониторинга фотоэлектрической станции, программа которой записана в инвертор рассматриваемой станции. При этом программа подключена к устройству через USB порт. Отметим, что данная

технология не позволяет выполнить удаленный мониторинг станции. не раскрывает всех возможностей инвертора.

В настоящей работе, авторами сделана попытка разработки системы передачи выходных параметров фотоэлектрической станции (ФЭС) на облачный сервер с использованием протокола RS-485 и интернета вещей в целях проведения непрерывного мониторинга ФЭС.

При создании системы мониторинга работы ФЭС использование современных технологий способствуют повышению качества и надежности системы. Среди технологий возможности Интернет вещей (IoT) сегодня становятся все более распространенными, благодаря широко масштабности и простоте применения. Возможность этой технологии восполнять перебои в передаче данных очень важна при мониторинге работы объекта [4].

В промышленности IoT технологии применяются для оптимизации оперативных расходов, увеличения срока эксплуатации продуктов и улучшения благосостояния людей.

Промышленный интернет вещей (Industrial IoT, IIoT) – это один из наиболее крупных и быстро развивающихся сегментов IoT с точки зрения количества подключенных устройств и степени полезности этих сервисов для производства и автоматизации предприятий. Этот сегмент традиционно служит операционно-технологической базой [4]. Сюда входят аппаратные и программные средства мониторинга физических устройств. Традиционные задачи информационных технологий решаются иначе, чем операционно-технологические задачи. Операционные технологии (OT) сосредоточены на оценке производительности, времени безотказной работы, сборе данных и ответной реакции в режиме реального времени, а также безопасности систем. Информационные технологии направлены на безопасность, группирование, сервисы и предоставление данных. Поскольку IoT начинает занимать важное место в сфере производства и промышленности, миры ИТ и ОТ объединятся, особенно в области диагностического обслуживания тысяч производственных машин и станков, и смогут обеспечивать беспрецедентным объемом данных частные и публичные облачные инфраструктуры [5].

**Метод получения информации.** Одним из аспектов сквозных цифровых технологий, позволяющих реализовать информационно-измерительные комплексы (ИИК) типа «сервер-клиент», является технология индустриального (промышленного) Интернета вещей. Интернет вещей считается современной производственной концепцией в рамках Индустрии 4.0 и использует последние достижения, как передовая инфраструктура ИТ для сбора и обмена данными, которая значительно влияет на производительность производственной системы [6].

**Рекомендация, реализация и результаты.** Применительно к рассматриваемой задаче ПоТ раскрывается как отраслевая система объединенных сетей и подключенных к ним ИИК со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного мониторинга в автоматизированном режиме [7].

IoT удобно интегрировать с датчиками или устройствами, которые не принадлежат к их семейству. Данная технология поддерживает все по-протоколу, которой используется для интеграции IoT с другими устройствами.

Устройства и датчики, применяемые в ФЭС, в основном используют RS-485 или TCP / IP протокол для передачи результатов измерений.

В настоящее время в Узбекистане, используются гибридные инверторы мощностью до 10 кВт в ФЭС для обеспечения населения энергией, до 10-70 кВт для водяных насосов, до 100 кВт для производственных зон и другие [7].

Эти инверторы имеют возможность измерять несколько параметров самой станции, в частности, входное и выходное напряжение, мощность и силу тока. Также, имеется возможность интегрировать инвертор в систему мониторинга, которая поддерживает протокол Modbus RS-485 (рис. 1).

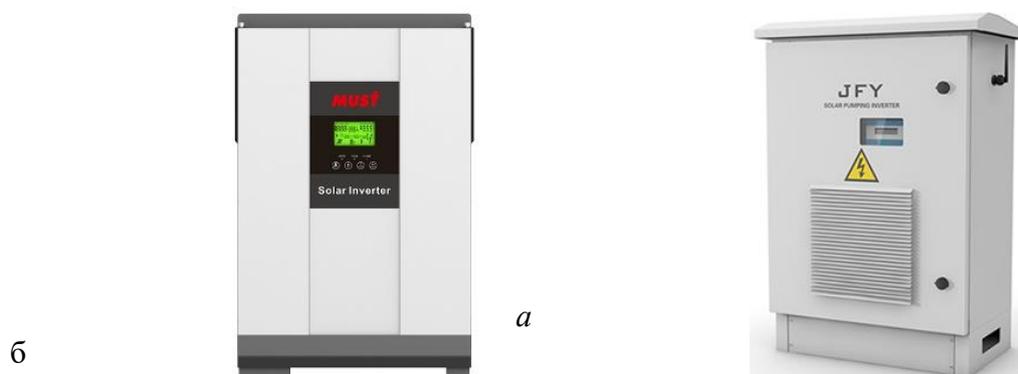


Рис.1. Модели инверторов: а) модель PV18-4018, мощностью 4 кВт  
б) модель JFY-W2-A, мощностью 37 кВт

Эти инверторы используются для электроснабжения систем отбора воды и ее фильтрации. Есть возможность подключить инверторы к системе мониторинга и получать необходимую информацию из них [8].

В нашем проекте использовался модем CWT-L0040S M2M, который имеет ряд функций и протоколов. Для получения удаленных рабочих параметров и управления процессом, CWT-L0040S IOT M2M Gateway помогает машине получить доступ к Интернету через GPRS / 4G и

установить TCP /IP-соединение с сервером. CWT-L1120S может широко использоваться в промышленном автоматическом управлении, мониторинге базовой станции / компьютерной комнаты, мониторинге окружающей среды, проектах по охране водных ресурсов, энергетике, сельском хозяйстве и т.д. Модем имеет 4 аналоговых входа и поддержку RS-485 протокола Modbus MQTT [9].

Modbus – это последовательный протокол обмена данными, который появился в 1979 году и стал стандартом де-факто для организации связи между промышленными устройствами. MQTT появился на 20 лет позже. Однако, несмотря на разницу в возрасте, совместное использование этих двух протоколов позволяет дать узкоспециализированным интегрированным устройствам все возможности, которые доступны при подключении к интернету [9].

Регистры и функции Modbus. Так как Modbus предназначен для работы с промышленной автоматикой, обмен данными с Modbus-устройствами происходит через регистры, которые делятся на входы и выходы. Входы можно только читать, а выходы – читать и писать. Бывают 1-битовые регистры Modbus для описания дискретных входов/выходов (Discrete Inputs и Coils) и 16-битовые регистры для аналоговых входов/выходов (Input Registers и Holding Registers) [9].

Доступ к регистрам осуществляется с помощью 16-битового адреса. Первому элементу в каждой группе регистров соответствует адрес 0. То есть адрес любого регистра может принимать значения из диапазона 0-65535 (0x0000-0xFFFF в HEX-формате). При этом спецификация протокола не определяет, что физически из себя представляют адресные пространства и по каким внутренним адресам устройства должны быть доступны регистры. В общем случае значения регистров с одинаковым адресом, но разными типами отличаются друг от друга [10].

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – это простой открытый протокол, разработанный специально для IoT и применяемый для обмена данными между устройствами. MQTT-сеть включает в себя MQTT-брокера, который служит посредником во взаимодействии MQTT-агентов – издателей и подписчиков. Издатели публикуют информацию, предназначенную для подписчиков. Это семейство продуктов позволяет налаживать безопасные подключения между датчиками, IoT-устройствами и облачными службами. Шлюзы тщательно протестированы и готовы к установке на них программного обеспечения, необходимого для функционирования конкретного проекта. Они отличаются отличной управляемостью, высоким уровнем безопасности и широким набором поддерживаемых способов связи с внешним миром. Среди этих способов, помимо традиционного проводного Ethernet и беспроводного Wi-Fi, можно найти и ZigBee, и поддержку сотовых сетей, и USB, и, конечно, MQTT

и Modbus [11]. На рис.2 приведена архитектура Client-Server (ранее Master-Slave), лежащая в основе протокола Modbus.

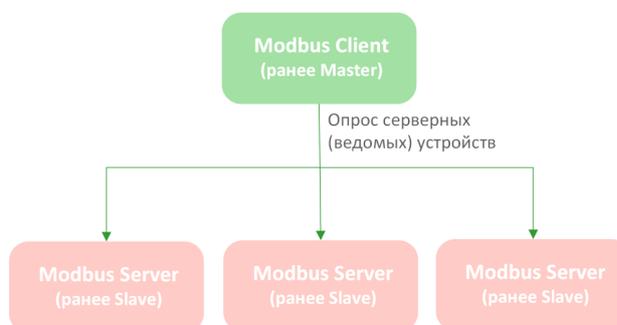


Рис.2. Архитектура Client-Server (ранее Master-Slave), лежащая в основе протокола Modbus

На рис.3 представлен алгоритм передачи и записи информации на облачной сервер с помощью интернет вещей.

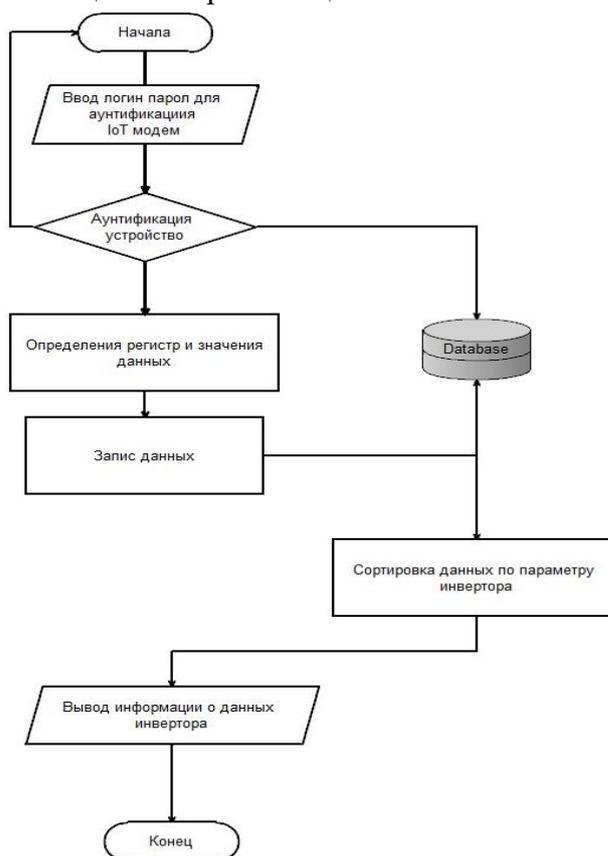


Рис.3. Алгоритм передачи и записи информация на облачной сервер с помощью интернет вещей

**Вывод.** Предлагаемая нами система передачи выходных параметров солнечных фотоэлектрических станций на основе протокола RS-485 и интернет вещей, который применяется во всех типах инверторов и многих других устройствах, с помощью которого, можно получить от устройства и передать в сервер до 3 тысяч единиц информации на основе регистра.

Необходимо отметить, что при использовании протокола RS-485 количество обрывов информации составляет 1%, тогда как в применении радиомодульных технологий (Wi-Fi, Bluetooth и др.) данное количество достигает 30%. Также использование протокола RS-485 обеспечивает целостность и сохранность информации во время ее передачи к IoT. Кроме того, использование протокола RS-485 даёт возможность передать информацию до расстояния, 1200 м что является преимущественным для применения в системах мониторинга работы ФЭС больших мощностей.

### Литература

1. Доклад Global Electricity Review 2022. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>.
2. Rahimov E.Yu., Frid S.E., Boliev B.B. Actinometric Data for Flat Receivers Solar Energy Units Performance Estimation// Applied Solar Energy. 2019. Volume 55, Issue 1, pp. 78–82.
3. Джумаев А.Я. Фотоэлектрическая солнечная станция с системой мониторинга // Международный научно-исследовательский журнал № 9 (51) ▪ 2016 Часть 2 ▪ Сентябрь ст.30-34.
4. Маркеева А.В. Интернет вещей (IoT): возможности и угрозы для современных организаций. <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-iot-vozmozhnosti-i-ugrozy-dlya-sovremennyh-organizatsiy>.
5. Перри Ли, Архитектура интернета вещей Москва, 2019.
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130>
7. Ray Y. Zhong, Xun Xu, Eberhard Klotz, Stephen T. Newman. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0 // A Review. Engineering. 2017. Vol. 3. P. 616–630.
8. Mirzabaev A., Isakov O. Sytdykov, T.Makhkamov, D.Kodirov. 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 Energetics, Civil and Agricultural Engineering 14-16 October 2020, Tashkent, Uzbekistan. – 7 pages.
9. Гайнуллина А. А., Байтимиров А. Д. Особенности организации передачи данных между программируемыми логическими контроллерами по протоколу Modbus. Вестник Казанского технологического университета. 2013. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii->

---

peredachi-dannyh-mezhdu-programmiruemymi-logicheskimi-kontrollerami-ro-protokolu-modbus.

10. Титаев. А.А. Промышленные сети. Учебное пособие. Екатеринбург, 2020. Электронный ресурс: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/80673/1/978-5-7996-2963-2\\_2020.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/80673/1/978-5-7996-2963-2_2020.pdf). – текст.

11. MQTT и Modbus: сравнение протоколов, используемых в шлюзах для IoT. <https://itnan.ru/post.php?c=1&p=304228>.

*Представлено Физико-техническим институтом  
Академии наук Республики Узбекистан*

**КОНЦЕНТРАТОРЫ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ: ПРАКТИКА  
СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ****Ю.Б. Собиров, Х.Ш. Ходжаев, С.Ш. Махмудов, Д.С. Гафуров**

*Ушбу мақолада Қуёш энергиясининг Ердаги асосий табиий энергия манбаи сифатидаги роли кўрсатилган. Қуёш барча энергия турларининг асосчиси бўлиб, атом энергияси ва Ер ости энергиясигина бундан мустаснодир. Ер юзасига тушадиган ёруғлик нур энергиясининг атиги 0,5% гина фойдаланилса, шунинг ўзи жаҳон энергетика муаммосини ҳал қилиш учун етарли бўлади. Қуёшдан келаётган нурлар оқимини мужассамлаштирувчи концентраторларининг турлари, ишлаш тамойиллари ва таснифи келтирилган. Таҳлил илмий синов ва саноат амалиётида нурланиш энергиясини мужассамлаштирувчи концентраторларга бўлган талабни кўрсатди. Булар юқори ҳароратли қуёш печлари ва энергия ва технологик мақсадлар учун сунъий нурланиш манбаларидан иборат бўлган қурилмалардир. Франция ва Ўзбекистонда Ф.Тромб ва академик С.А. Азимовлар тамонидан қурилган ноёб меговатт қувватли қуёш қурилмалари тақдим қилинган. Мақолада Ўзбекистонда Катта Қуёш Печини яратишда фаол иштирок этган ва ушбу ноёб қурилмани ишлатаётган олимлар рўйхати келтирилган. Линзали концентраторларга нисбатан кўзгули мужассамлаштирувчи тизимларининг афзалликлари кўрсатилган. Концентраторлар фокусида юқори нурланиш оқими зичлигини олишга қаратилган кўзгули мужассамлаштирувчи тизимларнинг фокус майдонидаги энергия тақсимотини ҳисоблаш назарияси ва усуллари яратиш ва ривожлантириш босқичлари келтирилган. Мақолада академик Р.А. Зоҳидов бошчилигида яратилган космик техникаларни синовдан ўтказувчи марказлар учун қуёш нурларини имитация қиладиган босим камералари келтирилган. Турли объектларни атом бомбаси портлаши таъсирида синовдан ўтказиш учун кўзгу концентратцияловчи қурилмалар, импульс кўринишидаги мужассамлаштирилган нурланиш оқими таъсирида синов материаллари, шунингдек, ўсимликчиликда тадқиқот учун нурлантирувчи концентраторлар қизиқиш уйғотади. Табиатда нуқтавий манбалар ва параллел нурлар йўқлиги сабабли, ҳар қандай кўзгули мужассамлаштирувчи тизимларларнинг қабул қилгичларидаги нурланиш оқими зичлигининг тақсимоти абберацияларга эга эканлиги таъкидланади.*

*В данной работе указана роль солнечной энергии как основного природного источника энергии на Земле. Солнце является основоположником всех видов энергии, кроме атомной энергии и энергии подземных*

недр. Освоение мизерной части – всего 0,5% энергии, падающей на поверхность Земли достаточно для решения мировой энергетической проблемы. Приведены виды, принципы действия и классификация концентраторов лучевого потока солнечного излучения. Анализ показал востребованность концентраторов лучевой энергии в научно-испытательной и производственной практике. Это высокотемпературные солнечные печи и установки с искусственными источниками излучения энергетического и технологического назначения. Представлены, уникальные крупногабаритные солнечные печи мегаваттной мощности, сооруженные во Франции и Узбекистане под руководством Ф. Тромба и академика С.А. Азимова. В работе перечислены ученые, активно участвовавшие в создании Большой Солнечной печи в Узбекистане и занимающиеся эксплуатацией этой уникальной установки. Указаны преимущества зеркально концентрирующих систем относительно линзовых концентраторов. Показаны этапы создания и развития теории и методов расчета зеркально концентрирующих систем, которые были направлены на получение высоких плотностей лучевого потока фокусе концентраторов. В статье приведены созданные под руководством академика Р. А. Захидова имитаторы солнечного излучения для барокамер испытательных центров космической техники. Интерес представляют зеркально-концентрирующие установки для испытания различных объектов при воздействии атомного взрыва, испытание материалов под воздействием концентрированного лучевого потока в виде импульса, а также облучатели для исследования в растениеводстве. Утверждается, что вследствие отсутствия в природе точечных источников и параллельных лучей, любые зеркально-концентрирующие системы имеют аберрацию, которая определяет характер распределения облучения приемника.

*This paper indicates the role of solar energy as the main natural source of energy on Earth. The sun is the founder of all types of energy except atomic energy and energy of the underground. The development of a scanty part - only 0.5% falling on the surface of the Earth, is enough to solve the world energy problem. The types, principles of operation and classification of concentrators of the radiant flux of solar radiation are given. The analysis showed the demand for radiant energy concentrators in scientific testing and industrial practice. These are high-temperature solar ovens and installations with artificial sources of radiation for energy and technological purposes. Presented are unique large-sized solar furnaces of megawatt power built in France and Uzbekistan under the leadership of F. Tromb and academician S.A. Azimov. The work lists scientists who are actively involved in the creation of the Large Solar Furnace in Uzbekistan and are involved in the operation of this unique installation. The advantages of specular concentrating systems relative to lens*

*concentrators are indicated. The stages of creation and development of the theory and methods of calculating specularly concentrating systems, which were aimed at obtaining high radiant flux densities at the focus of concentrators, are shown. The article presents simulators of solar radiation for pressure chambers of test centers of space technology created under the leadership of Academician R.A.Zakhidov. Of interest are mirror-concentrating installations for testing various objects to the effect of an atomic explosion, testing materials under the influence of a concentrated radiant flux in the form of a pulse, as well as irradiators for research in crop production. It is argued that due to the absence of point sources and parallel rays in nature, any mirror-concentrating systems have aberrations that determine the nature of the irradiance distribution on the receiver.*

Осуществление любых процессов на Земле возможно только при потреблении энергии. Единственным природным источником энергии на Земле и в близком космосе является Солнце. Действительно, все ископаемое топливо - это аккумулированная солнечная энергия. Гидро- ветро-энергетика тоже результат ряда трансформаций солнечной энергии.

Энергия распространяется Солнцем в виде лучистых потоков. Для её использования необходимо тем или иным способом преобразовать её в тепловую или электрическую. Потенциал солнечной энергии поступающей на Землю чрезвычайно велик. Освоение только 0,5% этой энергии достаточен для покрытия мировых потребностей с учетом столетней перспективы [1]. Вся проблема в рассеянности или низкой плотности солнечной энергии на Земле. Для масштабного использования солнечной энергии необходимы коллекторы - концентраторы. Солнечная энергетика относится к наиболее материалоёмким и трудозатратным видам производства энергии. Так топливная электростанция тратит 300-500 человеко-ресурсов на производство 1 МВт электроэнергии, а солнечной станции требуется от 400 до 1000.

Известны два типа концентраторов солнечной энергии: плоские и фокусирующие. Плоские так называемые горячий ящик функционируют на принципах тепло - массообмена собирая лучистую энергию и непосредственно превращая ее в тепловую. Фокусирующие концентраторы подразделяются на линзовые и зеркальные. Действуют они на законах преломления и отражения [2].

Линзовые системы в гелиотехнике практически не применяются ввиду большого поглощения в стекле и соответственно нагрева. Исключение плоские линзы Френеля [3]. Поэтому в дальнейшем речь пойдет о зеркальных концентрирующих системах (ЗКС).

Создание и развитие теории и методов расчета ЗКС было вызвано интересом к ним с точки зрения достижения температур более 150-200 градусов, путем концентрации солнечного излучения. Одной из первых

работ были выполнены в начале 50 годов исследования В.Б. Вейнберга [4]. В Узбекистане под руководством член-корреспондента Академии Наук Г.Я. Умарова был сооружен ряд ЗКС, которые разрабатывались на основе расчетов, согласно законам геометрической оптики [5]. В Москве ЭНИНе Д.И. Тепляков и Р.Р. Апариси ввели в расчетные модели энергетические параметры и разработали идеальную модель [6]. В.И. Чиколев предложил метод элементарных конических пучков [7]. Все эти методы не учитывали неточности отражающей поверхности ЗКС. Р.Р. Апариси ввел понятие параметра точности  $-h$  [8]. Он предложил учесть неровности зеркала введением эффективного пучка, в котором яркость распределена по нормальному закону. Детальный анализ этих и подобных моделей выполнили академик Р.А.Захидов и А.А.Вайнер в монографии «Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем» [9].

В 70 годах прошлого столетия начался бурный рост космонавтики. Создавались долговременные крупные космические аппараты, требующие энергообеспечения. Химические батареи исчерпали себя, Солнце единственный источник энергии в космосе, поэтому начали применяться солнечные фотоэлектрические преобразователи. Однако, при простоте эксплуатации, надежности и большом сроке службы их КПД был низок и составлял порядка 12%. Внимание разработчиков привлекли динамические преобразователи, работающие по циклу Ренкина, Стирлинга, Брайтона. Верхние рабочие температуры этих преобразователей от 400 до 800 градусов Цельсия, при этом их КПД в пределах 35% [10]. Отметим, что термоэлектрические высоковольтные фотоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи с высоким КПД работают на уровне 2000 °С. [11]. Однако разработки показали, что в космических условиях невозможно применение динамических преобразователей с концентраторами. Высоковольтные фотоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи требуют высокоточных концентраторов солнечной энергии и точного слежения за видимым перемещением Солнца.



Рис. 1. Большая Солнечная Печь в Одейо (Франция)



Рис. 2. Большая Солнечная Печь в Паркенте (Узбекистан)

В эти же годы разразился мировой энергетический кризис, вызванный эмбарго ближневосточных стран на поставку нефти в Европу и США. Это вызвало бурный рост исследований по освоению возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, солнечной энергии. Простота конструкции и технологичность производства солнечных систем горячего водоснабжения и отопления обусловили их массовое внедрение во многих странах мира. Энергетические установки с концентраторами солнечной энергии оказались не конкурентноспособными с традиционными топливными электростанциями даже атомными станциями. Все они остались на стадии опытных экземпляров. Концентраторы лучевой энергии нашли применение в научно исследовательской практике как высокотемпературные солнечные печи. В Одейо (Франция) и позже в Паркенте (Узбекистан) были сооружены солнечные печи мощностью 1000 кВт [12-13]. Во Франции сооружение печей осуществлено профессором Ф. Тромбом, а в Узбекистане эти работы возглавили академики С.А. Азимов и Т.Т. Рискиев [14].

Развитие нового направления - высокотемпературного материаловедения потребовало переквалификацию физиков и химиков. Здесь нужно отметить С.Х. Сулейманова, И.И. Пирматова, Г.Т. Адылова, Р.Х. Рахимова, Д.Дж. Гуламовой и других. Кроме того, при окончательной доводке ЗКС Большой Солнечной Печи (БСП), существенный вклад в юстировку внес д.т.н. А. А. Абдурахманов. Подготовленные им совместно с д.т.н. Ш.И. Клычевым кадры - Ю.Б. Собиров, Ж.З. Ахатов, Ш.Р. Нурматов обеспечивают функционирование БСП и реализацию крупных научных проектов.

Концентраторы лучевой энергии с искусственными излучателями вошли в практику как имитаторы солнечного света в испытательных стендах космической техники, облучателях (для моделирования светового и теплового воздействия атомного взрыва и прохождения плотных слоев атмосферы объектами космической и ракетной техники). В электронной промышленности применяются различные виды облучателей для пайки и сварки изделий [15].

В Узбекистане, в ЦПКТБ НП Академии наук академиком Р.А. Захидовым была организована разработка и производство установок с ЗКС с искусственными излучателями различного назначения.

Представленный на рис. 3 ЗКС имитатор барокамеры формирует поток параллельного светового излучения диаметром 1440 мм с глубиной рабочей зоны до 1000 мм, плотность лучевых потоков на искусственных объектах 0,45 – 1,4 кВт/м<sup>2</sup>, при неравномерности распределения плотности лучистых потоков не более 12%. Наиболее крупный из созданных имитаторов имеет диаметр параллельного светового излучения равный 3000 мм.

Технологические установки с ЗКС применяются в микроэлектронной промышленности, а также в биологии, растениеводстве и т.д. В этом направлении был создан ряд технологических установок с трубчатыми ксеноновыми лампами мощностью до 50 кВт. ЗКС этих установок основана на эллипсоцилиндрических и параболоцилиндрических зеркалах. Зеркала изготовлены из металла, имеют полости для охлаждения.

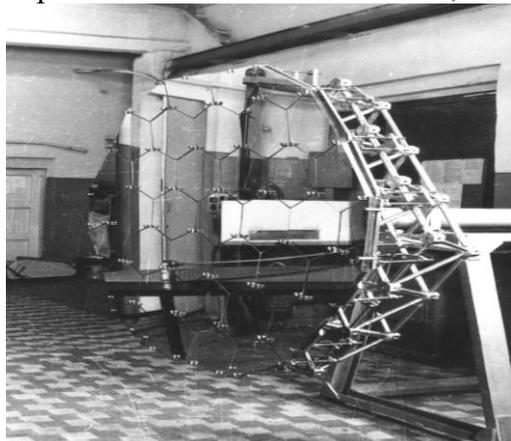


Рис. 3. Общий вид зеркала имитатор солнечного излучения (ИСИ) термобарокамеры (ТБК)

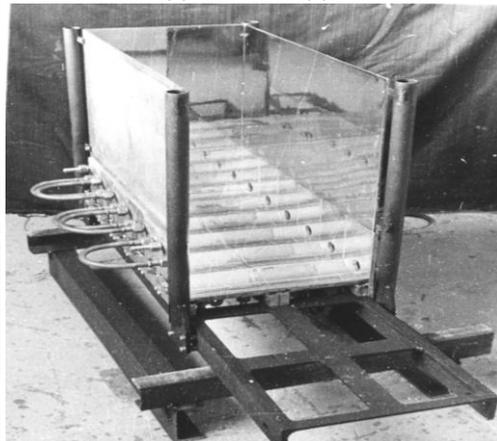


Рис. 4. Общий вид многомодульного облучателя

К созданным испытательным стандам относятся моделирующие установки с ЗКС, выполненные по схеме «бипараболоид» с плазменным источником излучения мощностью 500 кВт (рис.5) [16].

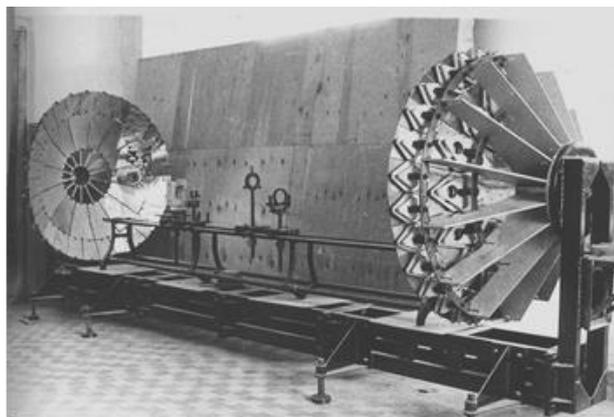


Рис.5. Общий вид моделирующей бипараболоидной установки «Бипараболоид»

Каждое зеркало диаметром 1500 мм составлено из 42 металлических фацет, изготовленных механической обработкой (шлифование, полирова-

ние). Стенд обеспечивает плотность лучевого потока в виде импульса  $5,5 \times 10^4$  кВт/м<sup>2</sup> на испытуемых объектах.

Облучатель создан на основе параболоцилиндрических металлических водоохлаждаемых зеркал и дополнительных боковых плоских отражателей, источники излучения - ксеноновые лампы.

Анализ моделей расчета ЗКС, разработанных Р.А. Захидовым, В.А. Грилехесом и И.В. Баумом [17] показал, что нет необходимости вводить в модели расчета неточности зеркал - действительный характер отражения света зависит от качества обработки и материала [8,11]. Отражение света делится на 3 вида: ЗЕРКАЛЬНОЕ - угол отражения равен углу падения; НАПРАВЛЕННО-РАССЕЯННОЕ - при котором максимум силы света совпадает с направлением зеркального отражения и ДИФФУЗНОЕ, которое дают матовые поверхности [12]. Отсюда вывод: если на зеркале есть в какой-то зоне неровности, то эта зона не работает. Кроме того, методы расчета ЗКС заимствованы из геометрической оптики, которая для упрощения расчетов принимает угловой размер источников равным нулю и имеют возможность параллельности лучей, что является нарушением второго начала термодинамики.

ЗКС, как любой оптический прибор, создает изображение источника излучения и так как нет параллельности лучей, то не может быть и безабберационных зеркал или линз. Искажения создаваемого изображения абберациями, вместе с распределением яркости излучателя, определяют распределение энергии на теплоприемнике.

Связи с развитием легких пластиковых, полиэтиленовых материалов эксплуатируемых на открытом воздухе, под солнечными лучами, возникает необходимость их испытания на срок службы. Поэтому, имитаторы солнечного излучения обладают большой актуальностью. В настоящее время в Институте Материаловедения АН РУз в рамках проекта ФА-Атех-2018-(420+85) "Разработка комплекса научно-технической документации по созданию лаборатории для проведения сертификационных ускоренных испытаний на лучевую стойкость материалов, узлов и изделий новой техники" создана испытательная установка. Искусственная имитационная оптическая система для проведения испытаний и определения срока службы материалов и изделий новой техники под воздействием лучистых потоков Солнца в особенности в её ультрафиолетовые часты. Эллиптический концентратор - имитатор солнечного лучистого потока размером 2,5х3,5м с фокусным расстоянием 5 м. Его отдельные facets размером 0,4х0,4м изготовлены способом холодной деформации. В процессе разработки и изготовления доказана возможность холодной деформации facet указанного размера до фокусного расстояния 5 м. стрела прогиба составила величину 2,5 мм (см. рис.6 и 7).

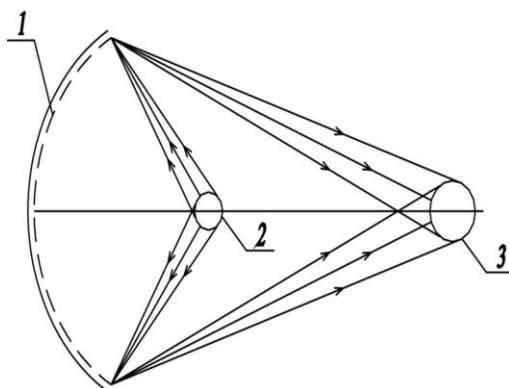


Рис.6. Общая схема установки. 1- эллиптическое фасетное составное зеркало; 2-ксеноновая лампа 5 кВт мощности; 3-изображение ксеноновой лампы во втором фокусе эллиптического зеркала

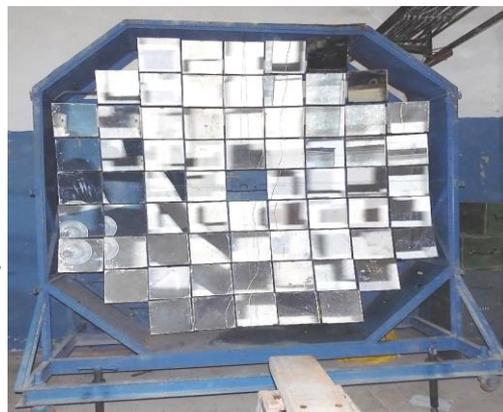


Рис.7. Эллиптическое зеркало с фасетами наружного напыления для осуществления влияния ультрафиолетовой части спектра Солнца на испытуемые образцы

Вывод: Концентраторы лучистой энергии применяются для энергетических и для технологических целей. В первом случае энергия концентрированного лучистого потока солнца преобразуется в электрическую энергию. Во втором случае применяются для получения тепла, для синтеза и плавких тугоплавких материалов, применяются для получения водорода термоллизом воды, а также для преобразования концентрированного лучистого потока солнца на лазерные излучения.

### Литература

1. Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие для студентов теплоэнергетических специальностей ВУЗов. –Тамбов: Издательство ТГТУ. 2003.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов: М-Л: Машиностроение. 19645.
3. Вейнберг В.В. Оптика в установках для использования солнечной энергии. Москва: Оборонгиз, 1959, -236 с.
4. Умаров Г.Я., Вопросы концентрации солнечной энергии. // Гелиотехника, 1967, №5, -С.32-51.
5. Тепляков Д.И., Апариси Р.Р., Горшкова Л.В. Гелиотехнические концентраторы на основе параболоида вращения анализ синтез энергетика. /В сб. Преобразование и использование солнечной энергии. Вып. 6, Москва, 1973, -С. 113-129.

6. Чиколев В.Н. Осветительная способность прожекторов электрического света. Часть 1, СПб 1987.
7. Апариси Р.Р. Концентрация солнечной энергии в гелиотехнических сооружениях. Автореф канд. дисс. Москва, 1955.
8. Захидов Р.А., Умаров Г.Я., Вайнер А.А. Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем. ФАН УзССР, 1977, -143 С.
9. Грилихес В.А., Гришутин М.М., Евсеев С. Паротурбинные установки с органическими рабочими телами и перспективы их применения в гелиотехнике. // Гелиотехника, 1978. №4, - С. 1-3.
10. Грилихес В.А., Матвеев В.М., Полуэктов В.П. Солнечные высокотемпературные источники тепла космических аппаратов.-М.: Машиностроение, 1975.
11. Trombe and F., Le Phat A. Thousand kW Solar Furnace, Built by the National Center of Scientific Research in Odello (France). Solar Energy, 1973, Vol. 15. pp. 57-61.
12. Абдурахманов А., Рахимов Р.Х., Маматкосимов М.А. Основные этапы разработки, создания зеркально-концентрирующих систем на примере большой солнечной печи. Computational nanotechnology, Vol. 6, №2, 2019.-С.151-156.
13. Абдурахманов А.А., Акбаров Р.Ю., Гуламов К.Г., Рискиев Т.Т., Юлдашев А.А. Опыт эксплуатации Большой Солнечной Печи мощностью 1000 кВт. // Гелиотехника. 1998. №1, -С. 39-44.
14. Собиров Ю.Б., Махмудов С.Ш., Холов Ш.Р. Энергоресурсосберегающие малые солнечные установки. // Проблемы энергоресурсосбережения. 2019,-№3-4, -С.325-329.
15. Захидов Р.А., Ходжаев А.Ш., Дубровский Л.А. Разработка полигелиостата и стенда для натуральных испытаний. // Гелиотехника, 1982. -№ 1, -С. 32 -35.
16. Алимов А.К., Захидов Р.А., Умаров Г.Я., Аллаутдинов Дж.Н., Ходжаев А.Ш., Фаттахов А., Солитерман М.Н., Клычев Ш.И. Исследование оптико-энергетических характеристик концентратора автономной солнечной энергетической установки АСЭУ-0,5. // Гелиотехника, 1984.-№ 4, -С. 18 – 21.
17. Абдурахманов А.А., Захидов Р.А., Ходжаев А.Ш., Дубровский А.А. Концентраторы высокотемпературных оптических печей. /Теория, технология и юстировка. 2 всесоюз. конф. «Возобновляемые источники энергии», Ереван, 1985.

*Представлено Ташкентским государственным  
техническим университетом*

УДК. 389:338.242

**НЕФТЬ ВА ГАЗ САНОАТИНИ МЕТРОЛИГИК ТАЪМИНОТИДА  
АМАЛГА ОШИРИЛАЁТГАН ИСЛОХОТЛАР****С.Ш. Хабибуллаев Н., С. Амиркулов, Ж.М. Тангиров**

*Мақолада нефть ва газ саноатини метрологик таъминотида амалга оширилаётган ислохотлар. Шунингдек мақолада нефть ва газ корхоналаридаги метрологик назорати турлари очиб берилган. Нефть комплексининг метрологик таъминотини такомиллаштириши, нефть ва нефть маҳсулотларини тижорат ҳисоби аниқлигини оширишни таъминлаш мамлакатга инвестицияларнинг энг самарали йўналишларидан бири бўлиб, нефтни сотиш ҳажмини ошириш ва унинг нархини пасайтириш шаклида даромад келтиради. Нефтни қайта ишлаш ҳажмининг кескин пасайишининг асосий сабабларидан биридир. Масалан бугунги кунда Россия давлатининг нефть қазиб олиш қувватдан фойдаланиш омили 60% га, нефтни қайта ишлашнинг ўртача чуқурлиги эса 67% га тенг. Жаҳон амалиётида нефть ва нефть маҳсулотларининг нархи, қоида тариқасида, лаборатория ўлчовлари натижаларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади. Ҳакамлик судларида маҳсулот сифати бўйича тижорат низолари, шунингдек, халқаро миқёсда тан олинган ISO, ASTM ёки DIN усулларида мувофиқ аккредитацияланган ўлчов лабораториясида амалга ошириладиган ҳакамлик ўлчовлари натижалари асосида ҳал қилинади. Ушбу ўлчов техникаси (MVI) деярли бир хил, таққосланган ва бир-бири билан яхши мувофиқлаштирилган, стандартлаштириш ва намуна олиш шароитларини еҳтиёткорлик билан назорат қилиш ва сифат назорати занжири бўйлаб ўлчов назоратини таъминлашни бўйича маълумотлар бор. Метрологик фаолятнинг асосий йўналишлари: ЎВ қиёслаш, калибрлаш, турини тасдиқлаш мақсадида синаш, синов жиҳозлари ва ўлчашларни бажариш усулиятларини метрологик экспертиза қилиш, аттестатлаш бўйича маълумотлар келтирилган.*

*В статье рассматриваются реформы, проведенные в метрологического обеспечения нефтегазовой отрасли. Описываются виды метрологического контроля на предприятиях нефтегазовой отрасли. Улучшение метрологического обеспечения нефтепродуктами, повышение точности коммерческого учета нефти и нефтепродуктов являются одним из наиболее эффективных направлений инвестирования в стране, которое позволит получать доходы от увеличения объемов реализации нефти и снижения ее себестоимости. Это одна из главных причин резкого снижения объемов переработки нефти. Например,*

сегодня коэффициент добычи нефти российским государством с использованием электроэнергии составляет около 60%, а средняя глубина переработки нефти составляет около 67%. В мировой практике цены на нефть и нефтепродукты определяются, как правило, с учетом результатов лабораторных измерений. Коммерческие споры о качестве продукции в арбитражных судах также разрешаются на основе результатов Арбитражных измерений, проведенных в аккредитованной Измерительной лаборатории в соответствии с международно признанными методами ISO, ASTM или DIN. Этот метод измерения (MVI) практически идентичен, сопоставим и хорошо согласован друг с другом, имеются данные о тщательном контроле за стандартизацией и условиями отбора проб, а также об обеспечении контроля измерений по всей цепочке контроля качества. Основными направлениями метрологической деятельности являются: сравнение ОВ, калибровка, испытания с целью утверждения типа, Метрологическая экспертиза испытательного оборудования и методов выполнения измерений, данные об аттестации.

*In the article, the reforms carried out in the Metrological supply of oil and gas industry. The article also describes the types of Metrological control in oil and gas enterprises. Improving the Metrological supply of petroleum products, increasing the accuracy of the commercial accounting of oil and petroleum products is one of the most effective areas of investment in the country, which will generate income in the form of increasing the volume of oil sales and reducing its cost. This is one of the main reasons for a sharp decrease in the volume of oil refining. For example, today, the factor of the Russian state's oil production using power is about 60%, and the average depth of oil processing is about 67%. In world practice, the price of oil and petroleum products is determined, as a rule, taking into account the results of laboratory measurements. Commercial disputes on the quality of products in arbitration courts are also resolved on the basis of the results of Arbitration measurements carried out in an accredited Measurement Laboratory in accordance with internationally recognized ISO, ASTM or DIN methods. This measurement technique (MVI) is almost identical, comparable and well-coordinated with each other, there are data on the careful control of standardization and sampling conditions and on the provision of measurement control across the quality control chain. The main directions of Metrological activity are: OV comparison, calibration, testing for the purpose of type approval, Metrological examination of test equipment and methods of performance of measurements, data on attestation.*

**Кириш.** Дунёда нефть ва газ саноатининг ривожланиши орқали хар бир давлатнинг иқтисодий кўрсаткичлари ортмоқда. Шу билан

биргаликда мамлакатимиз халқ хўжалигини ривожлантиришда нефть ва газ саноати муҳим ўрин тутди. Нефть комплексининг метрологик таъминотини такомиллаштириш, нефть ва нефть маҳсулотларини тижорат ҳисоби аниқлигини оширишни таъминлаш мамлакатга инвестицияларнинг энг самарали йўналишларидан бири бўлиб, нефтни сотиш ҳажмини ошириш ва унинг нарҳини пасайтириш шаклида даромад келтиради. Шунинг учун бу йўналиш нефть саноатини ривожлантириш концепсияси ва дастурида ўз ўрнини топиши лозим[1].

Нефть ва нефть маҳсулотларининг миқдори ва сифатини метрологик ҳисобга олишнинг асосий муаммоларини таҳлил қилишда, биринчи навбатда, нефть ва нефть маҳсулотларини ишлаб чиқаришда ва уларни чет элга сотишда технологик жараёнларнинг параметрларини назорат қилишнинг замонавий воситаларининг етишмаслигини таъкидлаш керак. Саноатда қўлланилаётган эски ўлчов асбоблари замонавий техник талабларга жавоб бермайди, эскириш даражаси ва техник ҳолати жиҳатидан критик даражага яқинлашмоқда.

Бу нефтни қайта ишлаш ҳажмининг кескин пасайишининг асосий сабабларидан биридир. Масалан бугунги кунда Россия давлатининг нефть қазиб олиш қувватдан фойдаланиш омили 60% га, нефтни қайта ишлашнинг ўртача чуқурлиги эса 67% га тенг (АҚШда 90% га яқин, энг яхши рафинерияларда - 98% гача)[2].

Нефть ва нефть маҳсулотларини метрологик ҳисобга олиш масалаларини тартибга солувчи норматив база асосан 70-80 йилларда шаклланди. Ҳозирги вақтда кўплаб давлатларда саноат тармоқларни метролик таъминлаш бўйича меъёрий ҳужжатлар ишлаб чиқилмоқда. Россия Федерациясида "ўлчовларнинг бир хиллигини таъминлаш тўғрисида" ва "энергия тежаш тўғрисида" ги иккита Қонунини, метрология бўйича йигирма бешта давлат стандартлари ва тавсияларини, шунингдек нефть ва нефть маҳсулотларини ҳисобга олиш, қабул қилиш, етказиб бериш ва ташишни тартибга солувчи бир хил сонли идоравий кўрсатмаларни ўз ичига олади.

Жаҳон амалиётида нефть ва нефть маҳсулотларининг нарҳи, қоида тариқасида, лаборатория ўлчовлари натижаларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади. Ҳакамлик судларида маҳсулот сифати бўйича тижорат низолари, шунингдек, халқаро миқёсда тан олинган ISO, ASTM ёки DIN усулларига мувофиқ аккредитацияланган ўлчов лабораториясида амалга ошириладиган ҳакамлик ўлчовлари натижалари асосида ҳал қилинади. Ушбу ўлчов техникаси (МВИ) деярли бир хил, таққосланган ва бир-бири билан яхши мувофиқлаштирилган, стандартлаштириш ва намуна олиш шароитларини эҳтиёткорлик билан назорат қилиш ва сифат назорати занжири бўйлаб ўлчов назоратини таъминлайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 28 апрелдаги «Ўзбекистон стандартлаштириш, метрология ва сертификатлаштириш агентлиги фаолиятини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-2935-сонли қарорига мувофиқ мавжуд «Миллий эталонлар маркази» давлат муассасаси, «Метрология хизматлари кўрсатиш маркази» давлат корхонаси ва «Стандартлаштириш, метрология ва сертификатлаштириш илмий-тадқиқот институти» давлат муассасасининг метрологик бўлинмалари негизида «Ўзбекистон миллий метрология институти» давлат корхонаси («ЎзММИ» ДК) ташкил этилди. Ушбу қарорига асосан «Ўзбекистон миллий метрология институти» давлат корхонасининг фаолиятининг асосий вазибалари ва йўналишлари белгиланди [1,2].

**Усуллари ва материаллари.**Тараққиёт стратегияси: нефть ва газ соҳасида бозор механизмлари жорий этилади.

Табиий газ таъминоти тизимини ислоҳ қилиш ва рақобат бозорини босқичма-босқич шакллантириш тўғрисида Президент қарори лойиҳаси тайёрланади.

2022–2026 йилларга мўлжалланган Тараққиёт стратегиясида нефть ва газ соҳасида трансформация жараёнларини жадаллаштириш орқали табиий газ таъминотида ижтимоий ҳимоя кафолатлари белгиланган ҳолда бозор механизмларини жорий этиш белгиланган.

2022 йилги давлат дастурига асосан, табиий газ таъминоти тизимини ислоҳ қилиш ва рақобат бозорини босқичма-босқич шакллантириш тўғрисида Президент қарори лойиҳаси тайёрланади.

Лойиҳада қуйидагилар белгиланади:

1. “Ўзтрансгаз” АЖни фақат газни транспортировка қилиш билан шуғулланувчи компанияга айлантириш;

2. “Ўзбекнефтьгаз” АЖнинг ташкилий-ҳуқуқий тузилмасини дунёнинг етакчи нефть ва газ компаниялари стандартларига мувофиқлаштириш, бунда жамият тасарруфидаги корхоналарда кооперация ва аутсорсинг хизматларини жорий этиш;

3. Октябрь ойига қадар “Худудгазтаъминот” АЖ фаолияти йўналишларига хусусий операторларни жалб қилиш бўйича асосий талаблар белгиланади. Бу талаблар, хусусан, суюлтирилган газни аҳолига етказиб бериш ва табиий газни истеъмолчиларга етказиб бериш тизимларига оид бўлади.

Бу тизимни модернизация қилиш жуда долзарб. Чунки юртимиздаги газ қувурларининг ярмидан кўпи – 45 минг километри ўттиз йилдан ортиқ ишлатилмоқда. Оқибатда йўқотишлар миқдори 20 фоиздан ошиб кетаяпти.

Хусусан, бугунги кунда Жиззах шаҳар газ таъминоти тизимида 767 километр қувур, 6 та газ тақсимлаш станцияси, 1 минг 600 дан зиёд газ тақсимлаш пункти бор. Ушбу тизимни халқаро стандартлар асосида ва

тўғридан-тўғри инвестициялар жалб қилиш орқали модернизация қилиш бўйича лойиҳа ишлаб чиқилган.

Техник устувор ечимлардан фойдаланиб амалга ошириладиган лойиҳа доирасида эски газ қувурлари олиб ташланиб, 1 минг 500 километрдан зиёд янги қувурлар тортилиши режалаштирилган. Шунингдек, газ тақсимлаш станциялари сони 6 тадан 2 тагача қисқартирилиб, 3 босқичли тизимдан 2 босқичли тизимга ўтилади. Натижада ҳозирги ҳолатдаги 115 миллион куб метр йўқотишлар бартараф этилади[3].

Ресурслари чекланган нефть ва газ саноати қандай қилиб янги технологик имкониятларни ривожлантириши мумкинлигини тасаввур қилиш қийин, аммо шуни унутмаслигимиз керакки, инновация нафақат технология. Технология фақат пул топиш учун калит эмас, балки воситадир. Масалан, Samsung йилига 8000 дан ортиқ patent аризалари ва 9000 дан ортиқ patent грантлари билан patent аризалари ва грантлари бўйича дунёдаги энг йитакчи ихтирочи global компания ҳисобланади. Интеллектуал мулкка (ИП) аниқ эътибор қаратилганига қарамай, Samsung "очиқ инновация" деб номланган нарсага чуқур содиқдир, унга кўра компания турли хил воситалар, шу жумладан стартаплар ва шерикликларга инвестициялар орқали ташқаридан ғояларни олиб келиш учун ишлайди. Samsung Bosch билан электр транспорт воситалари учун батареялар яратиш учун ҳамкорлик қилмоқда, аммо Самсунгнинг очиқ инновацияларининг аксарияти дастурий таъминот ва хизматлар бўйича тажриба орттиришга қаратилган бўлиб, унга аппаратдаги устун мавқеидан фойдаланишга имкон беради[4].

Масофавий операцияларни бошқариш: sensor технологияси, алоқа ва бошқарув тармоқлари ва IT инфратузилмаси ютуқларидан фойдаланган ҳолда, нефть компаниялари анъанавий жойларда ишлашдан масофадан қўллаб-қувватлашга ўтишлари мумкин.

IT функциялари нуқтаи назаридан нефть ва газ саноати анъанавий равишда нисбатан секин ҳаракат қилади, шунинг учун ушбу соҳадаги компаниялар учун инновацияларни икки баравар ошириш ва уларни амалга ошириш тезлиги жуда зарур. Булутли технологиялар биринчи рақамли инвестиция устувор йўналиши бўлиб, бу рақамли инфратузилма, булутли ҳамкорлик платформалари, ушбу соҳадаги ақли операцияларнинг аҳамиятини кўрсатади.

McKinsey томонидан нефть ва газ саноати учун EBITDA ўсишини башорат \$100 миллиард 2030 туфайли булут технологиялари миграция учун (McKinsey: "булут бир trillion dollar муқофоти салоҳияти"). McKinsey, Boston консалтинг гуруҳи ва бошқа аналитик компаниялар технологияларнинг рақамли етуқлигини ўлчаш усуларини ишлаб чиқдилар ва кейин уларни бизнес кўрсаткичлари билан

## НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

технологияларнинг етуклигини ўзаро боғлаш учун ишлатдилар. Рақамли омил жихатидан юқори баҳоланадиган ташкилотлар, шунингдек, қиймат яратиш нуқтаи назаридан ўз ҳамкасбларидан устун эканлиги ажабланарли эмас[5].

Нефтни қайта тиклашни ошириш учун Роснефть "РН-КИН" дала муҳандислик воситаларининг ноёб тўпламини ишлаб чиқди. Ушбу дастурда барча режалаштирилган геологик ва техник тадбирлар амалга оширилгандан сўнг таҳлил қилинади, шу туфайли мутахассислар компаниянинг барча қудуқлари ва конлари тўғрисидаги геологик ва технологик маълумотларга тезкор кириш имкониятига эга бўлишлари мумкин, бу эса сув омборининг ишлашини оптималлаштириш учун таҳлил ва ҳисоб-китобларни сезиларли даражада тезлаштиради. нефтни қайта тиклаш ошириш.

2-жадвал

2021 йилда газ қазиб чиқарувчи компаниялар рўйхати ва уларнинг ишлаб чиқаришдаги улуши

Компания	Ишлаб чиқариш ҳажми	Улуш
Ўзбекистон бўйлаб жами	53,8 (млрд куб м.)	100%
«Ўзбекнефтьгаз»	34,1	64,3%
Lukoil	13,8	25,7%
Uz-Kor Gas Chemical	2,1	3,9%
Epsilon Development Company	1,4	2,5%
Natural Gas-Stream	1,2	2,2%
New Silk Road Oil and Gas	0,37	0,68%
Jizzakh Petroleum	0,28	0,51%
Gazprom Uzbekistan	0,23	0,42%
Gazli Gas Storage	0,15	0,27%
Gissarneftgaz	0,12	0,23%
Kokdumaloq-gaz	0,026	0,04%

"РН-КИН" сизга гидравлик синаш учун номзод депозитлари реестрини яратишга имкон беради. Ушбу рақамли ривожланиш туфайли ишлов берилмаган захиралар билан туғилган жойни ажратиш ва уларни қазиб олиш учун янги қудуқларни бурғилашни режалаштириш мумкин бўлади.

Россияда рақамли трансформациянинг янги технологиялари ва бизнес жараёнларидаги ўзгаришлар туфайли Gazprom Нефть 7,2 миллиард рубл тежаш ва операцион кўрсаткичларни яхшилади.

Мамлакатимизда ҳам сўнгги 5 йил ичида Устюрт газ-кимё мажмуаси, Қандим газни қайта ишлаш мажмуаси ва бошқа бир қатор саноат объектлари стратегик объектлар фойдаланишга топширилди.

2021 йилда Ўзбекистонда 53,8 млрд куб метр газ қазиб чиқарилди. Ишлаб чиқаришнинг катта қисми «Ўзбекнефтьгаз» корхоналари (64,3%) ҳисобига тўғри келса, қазиб чиқариш бўйича иккинчи ўринда «Лукойл», учинчи ўринда Uz-Kor Gas Chemical компаниялари бўлади.

Ўзбекистонда газ қазиб чиқариш бўйича иккинчи ўринни Россиянинг «Лукойл» компанияси эгаллайди—13,8 млрд куб метр (25,7%), учинчи ўринда эса 2,1 млрд куб метр (3,9%) газ билан Uz-Kor Gas Chemical. Uz-Kor Gas Chemical таъсисчиси «Ўзбекнефтьгаз» (50%) ва Kor-Uz Gas Chemical Investment (50%) компаниялари ҳисобланади. Kor-Uz Gas Chemical Investment компанияси Жанубий Кореянинг Корея газ корпорацияси (KOGAS), Lotte Chemical Corporation ва GSE&R компаниялари консорциуми томонидан тузилган.

Нефть ва газ саноатида қазиб олинаётган хом ашёни баҳолаш учун юқори сифатли метрологик ёрдамсиз ҳар бир технологик бўғин, ишлаб чиқариш самарадорлиги жуда шартли тоифага айланади. Маҳсулотларнинг сифати ва уларнинг миқдори ҳам қатъий тасдиқланган стандартлаштирилган усулларга мувофиқ аниқланиши керак. Шунинг учун мамлакатимиз нефть ва газ саноатининг метрологик таъминотида бир қатор ишлар амалга оширилмоқда[6].

Ҳозирда “Метрологик Хизматлар Кўрсатиш Маркази-МХКМ” ДК – Ўзбекистондаги, асосий вазифаси – саноатда, соғлиқни сақлашда, алоқа тизимларида, савдода, мудофаада, ресурсларни (сув, газ, нефть, электр энергияси) ҳисобга олишда, табиат муҳофазаси ва бошқа хўжалик фаолияти соҳаларида ўлчашлар бирлигини таъминлаш ва сақлаб туриш бўлган энг йирик амалий метрология ташкилотидир.

Метрологик фаолиятнинг асосий йўналишлари: ЎВ қиёслаш, калибрлаш, турини тасдиқлаш мақсадида синаш, синов жиҳозлари ва ўлчашларни бажариш усулиятларини метрологик экспертиза қилиш, аттестатлаш. Ҳар йили “МХКМ” ДК томонидан (100 минг энерготашувчиларни ҳисобга олиш приборлари!) ортик метрологик хизмат кўрсатиш амалга оширилади. Метрологик потенциалнинг изчиллик билан оширилиши мунтазам равишда янги ЎВ қиёслаш, калибрлаш ва синаш турларини ўзлаштиришга имкон беради[7].

Мажбурий давлат қиёсловидан ўтказилиши керак бўлган ўлчаш воситаларининг номланган рўйхатига мувофиқ қиёслашлараро интервал қуйидагиларни ташкил этади:

## НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

---

- аҳолининг газ ҳисоблагичлари учун - 4 йилда 1 марта;
- корхона ва ташкилотларнинг газ ҳисоблагичлари учун - 2 йилда 1 марта.

“Ўзстандарт” агентлиги томонидан, бугунги кунда Республикамизда ягона бўлган, саноат ҳисоблагичлари ва ўлчаш диапазони 2500 м<sup>3</sup>/ч гача бўлган сарф ўлчагичлари учун замонавий қиёслаш ускунаси харид қилинди[5].

Газни ҳисобга олиш приборларини ечиш, қиёслашдан ўтказиш, ўтказиладиган қиёслаш турлари, қиёслашлараро интерваллар, таъмирлаш ва қиёслашдан кейин ўрнатиш тартиби “Ўзстандарт” агентлиги ва Ўздавнефтгазинспекциясининг қўшма Қарори билан тасдиқланган (Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги томонидан 31.07.2014й. 2604 сон билан рўйхатга олинган) Газни ҳисобга олиш приборларини қиёслашдан ўтказиш тартиби тўғрисидаги низомда регламентланган.

Ҳар қандай ишлаб чиқаришни метрологик қўллаб-қувватлаш компания менежерлари, бизнес шериклари ва назорат органларининг диққат марказида бўлади. Барча технологик босқичларни метрологик ҳисобга олиш, ўлчов ускуналарини текшириш ва таърифларнинг сифат даражасини кафолатлаш жараёни қонун билан тартибга солинади[8,9].

**Натижалари.** Хом ашёни баҳолаш учун юқори сифатли метрологик ёрдамисиз ҳар бир технологик бўғин, ишлаб чиқариш самарадорлиги жуда шартли тоифага айланади. Маҳсулотларнинг сифати ва уларнинг миқдори ҳам қатъий тасдиқланган стандартлаштирилган усулларга мувофиқ аниқланиши керак. Ишлаб чиқариш фаолиятининг ҳар бир соҳасининг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда унификация саноат характерига ега.

Қайта тиклаш қийин бўлган захираларни қазиб олишнинг янги технологияларини ишлаб чиқиш ва амалга ошириш учун қуйидагиларга эҳтиёж бор:

- вазиятни давлат томонидан тартибга солиш;
  - илмий-техник дастурларни ишлаб чиқиш асосида кучларни жамлаш;
  - соҳага хос олий таълим муассасалари ва институтлари асосида ихтисослаштирилган илмий-тадқиқот марказларини шакллантириш;
  - давлат дастурлари ва илмий-тадқиқот ишлари асосида ташкилий қўллаб-қувватлаш ва етарли молиялаштириш;
  - нефтни қайта тиклаш тезлигини ошириш йўллари ўрганиш бўйича ихтисослашган компанияларнинг қўшма ишланмалари (МУН);
  - илмий-тадқиқот лойиҳаларини илмий қўллаб-қувватлаш.
- Нефть ва газ саноатида қуйидаги метрологик хизмат кўрсатилади:
- хом ашё сифатини баҳолаш учун намуна олиш босқичи;
  - калибрлаш графикалари билан хом ашё сифатини аниқлашнинг физик-кимёвий усуллари мажмуаси;

- манбалардан олинадиган нефть миқдорини ўлчаш жараёни;
  - нефть ва ундан олинадиган маҳсулотлар миқдори ва сифатини аниқлаш жараёни;
  - нефть ва унинг маҳсулотларини тўлдириш ва туширишни ўлчаш усуллари тўплами;
  - мумкин бўлган ноаниқликни аниқлаш усуллари тўплами;
  - депозит жойларида нефть ҳажмини қайд этиш тизимлари;
- Ўлчаш воситалари метрологик баҳодан ўтказилиши керак:
- даражаси кўрсаткичлари;
  - ёқилғи қисми тарқатиш учун устунлар[10].

Ўзбекистон ва хорижий ишлаб чиқариш нефть ва газни ҳисобга олиш учун мавжуд ўлчов асбоблари бўйича тўпланган ва тизимлаштирилган материаллар.

1. Нефть ва газни ҳисобга олиш учун энг яхши ускуналарни танлашни илмий асослаш учун олинган материални таҳлил қилиш.

2. Табиий нефть ва газ оптимал оқим ўлчагичини танлаш учун ўлчаш натижаларининг мақбуллигини ва ушбу усуллардан фойдаланиш самарадорлигини таққослаш ва текшириш усулларини экспериментал ўрганиш.

3. Тажриба ўтказилади ва олинган натижалар суяқ-газ аралашмасини олдиндан ажратмасдан нефть ва газни ўлчашнинг янги усулларида бири ҳисобланади. Тажриба турли хил миқдордаги оқим тезлигини ўлчайдиган иккита кетма-кет ўрнатилган оқим ўлчагичлари ёрдамида кўп фазали муҳитларнинг оқим тезлигини ўлчаш мумкин деган тахминга асосланган.

4. Тажриба давомида олинган ўлчов натижаларининг хатоси ҳисоблаб чиқилган бўлиб, бу нефть ва газни ҳисобга олиш муаммосини ҳал қилиш учун таклиф қилинган усулнинг истиқболларини тасдиқлайди.

5. Нефть ва газ ўлчаш мосламаларидан маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш тизимини ташкил этишнинг янги йечими нефть ва газ хусусиятларини ўлчашни метрологик таъминлаш ва ишлаб чиқариш жараёнини самарали бошқаришни такомиллаштириш учун ишлаб чиқариш ва иқтисодий асослар нуқтаи назаридан асосланади.

6. Газни ҳисобга олиш учун корхона стандарти ишлаб чиқилди. Ушбу меъёрий ҳужжатнинг метрологик экспертизаси ўтказилди.

7. Газ ҳисоби бўйича маълумотларни тизимлаштирган дастурий таъминот ишлаб чиқилган томонидан текширилди.

Нефть ва нефть маҳсулотларини қазиб олиш, бирламчи қайта ишлаш, ташиш, қайта ишлаш ва сотиш жараёнларидаги ўлчашларни олсак, тижорат ҳисоб-китоблари маҳсулотнинг турли кўрсаткичлари (сарф, ҳажм, оғирлик, зичлик, қовушқоқлик, ҳарорат, суяқлик, минерал тузлар ва механик аралашмалар миқдори ва бошқалар) бўйича ўлчаш

воспиталарининг натижалари асосида амалга оширилади. Ушбу ўлчашлардаги хатолар ялпи маҳсулотнинг салмоқли қисми тижорат ҳисобидан тушиб кетишига олиб келади.

Нефть ва нефть маҳсулотларининг оғирлигини ўлчашда хатолик 0,35-0,5% ни ташкил қилишини тахмин қилсак, нефтни кондан сотишгача бўлган даврда тижорат ҳисоби қайта-қайта (20 мартагача) амалга оширилганлиги сабабли, бутун ишлаб чиқариш-сотиш цикли давомидаги нефть миқдорини ҳисобга олишда умумий хатолик тахминан (2-3)% ни ташкил қилиши мумкин[8,10].

Хулоса қилиб, шуни айтишимиз керакки, мамлакатимизда олиб борилаётган нефть ва газ соҳасидаги барча ислохатлар ишлаб чиқариш хажмининг ортишига ва мамлакатимизнинг иқтисодий ўсишида катта аҳамиятга эга. Шу билан бир қаторда мамлакатимизда нефть ва газ соҳасида янги замонавий технологиялар жорий қилинябди ва Европа ва жаҳон талабига мос маҳсулотлар ишлаб чиқарилаябди ва экспорт қилинябди. Нефть қазиб олишни кўпайтириш ва эксплуатация харажатларини камайтириш мақсадида сув омборига сув қуйиш жараёнларини оптималлаштириш муаммоларини ҳал қилиш учун рақамли технологиялардан фойдаланиш нефть қазиб олишнинг муҳим ютуғидир. Бу катта ҳажмдаги маълумотларни таҳлил қилиш учун нейрон тармоқларга асосланган дастурий таъминот тўплами. Бу ишлаб чиқариш ва қуйиш қудуқларининг параметрлари ва иш режимларининг кўп ўлчовли нейрон тармоғининг функционал боғлиқлигини шакллантиришга имкон беради. Уларга асосланиб, нефть қазиб олишни кўпайтириш, қудуқ маҳсулотларининг сув таркибини камайтириш ва натижада операция харажатларни камайтириш учун оптималлаштириш муаммоларининг кенг синфини ҳал қилиш мумкин бўлади.

### Адабиёт

1. Шавкат Мирзиёев “Танқидий таҳлил, қатъий тартиб-интизом ва шахсий жавобгарлик - ҳар бир раҳбар фаолиятининг кундалик қондаси бўлиши керак”, Тошкент – , “Ўзбекистон”, -2017.
2. Шавкат Мирзиёев “Буюк келажагимизни мард ва олижаноб ҳалқимиз билан бирга кураимиз”, Тошкент – , “Ўзбекистон”, -2018.
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 24.09.2020 й. ПҚ-4840-сон "Табиий газ назорати ва ҳисобининг автоматлаштирилган тизимини жорий этиш" лойиҳасини амалга оширишга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида"ги Қарори.
4. «Нефть-газ саноатида инновациялар, замонавий энергетика ва унинг муаммолари» халқаро конференция материаллари \_“Тошкент”-2020.
5. М.Г.Фазлыяхматов и др. Методы и средства измерения количества нефти и газа учебное пособие казан 2021

- 
6. Шаповальянц А. Большие проблемы большой нефти / А. Шаповальянц// Российская газета от 16 марта 2000г. - № 52.
  7. Ханов, Н.И. Роль метрологии в решении проблем нефтяного комплекса страны / Н.И. Ханов // <http://www.vniim.ru/book-khanov2.html>.
  8. Газпром нефть» создает акселератор для стартапов в области разведки и добычи. Rogtec 25 мая, 2021.
  9. Годовой отчет ПАО ЛУКОЙЛ 2020.
  10. Digital Journey Series: The Energy Transition By Steve Cooper on April 30, 2021.

*Тошкент давлат техника университети  
томонидан тақдим этилади*

УДК 631.371

**ҚИШЛОҚ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ  
ЭНЕРГИЯСАМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**И.У. Рахмонов, Ф.Б. Омонов**

*Мақолада қишлоқ электр тармоқларида реактив қувват истеъмоли таҳлили келтирилган бўлиб, реактив қувват манбаларини кучланиш бўйича бошқариш схемаси таклиф этилган. Унда схеманинг тузилиши, ишлаш тамойили ҳамда авзалликлари батафсил баён этилган. Хусусан, схема пасайтирувчи трансформатор ёрдамида йигилганлиги сабабли ўлчамлари жихатидан ихчам ҳисобланади ва юлдуз шаклида уланган истеъмолчи занжиридаги конденсатор батареяларини ишлашини мувофиқлаштириб, тармоқдан олинадиган реактив қувват истеъмолини камайтиришни таъминлайди ҳамда кучланиш носимметриялигини камайтириш имкониятини беради.*

*В статье представлен анализ потребления реактивной мощности в сельских электросетях, а также предложена схема управления регулируемых источников реактивной мощности по напряжению. Подробно описывается структура, принцип работы и преимущества схемы. В частности, схема компактна по габаритам за счет того, что собрана с использованием понижающего трансформатора, а за счет согласования работы конденсаторных батарей в схеме потребителей, соединенных звездой, обеспечивает снижение потребления реактивной мощности от сети и дает возможность уменьшить несимметрию напряжения.*

*The article presents an analysis of reactive power consumption in rural power networks, and a voltage control scheme for reactive power sources is proposed. It describes in detail the structure, principle of operation, and advantages of the scheme. In particular, the scheme is compact in terms of dimensions due to the fact that it is assembled using a step-down transformer, and by coordinating the operation of capacitor batteries in a star-connected consumer circuit, it provides a reduction in the consumption of reactive power from the network and provides the opportunity to reduce voltage asymmetry.*

Қишлоқ электр тармоқлари истеъмолчиларининг реактив қувват бўйича электр юкламалар графиги таҳлили шуни кўрсатадики, юклама графиклари кескин ўзгарувчан характерга эга. Яъни сутка давомида реактив қувват истеъмолининг минимал ва максимал қийматлари ўртасидаги тафовут сезиларли даражада. Бундай шароитда

## ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

---

истеъмолчилар қувватини ростланмайдиган реактив қувват манбалари орқали компенсациялаш тармоқда энергия йўқотишларининг ортишига,

кучланиш қийматининг кескин ошиши натижасида қурилмалар изоляциясининг тез эскиришига, уларнинг ишдан чиқишига ва техник-иктисодий кўрсаткичларнинг ёмонлашишига олиб келади. Шундан келиб чиққан ҳолда, қишлоқ электр тармоқлари истеъмолчиларида автоматик ростланувчан реактив қувват манбаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Бунда реактив қувватнинг истеъмол қийматига боғлиқ равишда кучланишни ростлаш яъни истеъмолчи тармоғига конденсатор батареяларини ўрнатиш орқали уларнинг қувватига боғлиқ равишда кучланишни ростлаш имкониятларини ҳам таҳлил қилиб чиқиш зарурдир. Конденсатор батареяларининг қувватини ўзгартириш зинасимон бажарилганлиги учун кучланишни ростлаш ҳам силлиқ бўлмайди. Ушбу камчиликни бартараф этиш учун истеъмолчи тугунларига имкон қадар кичик қувватли конденсатор батареялари гуруҳларини ўрнатиш тавсия этилади. Конденсатор батареяси реактив қувват истеъмолчиси ҳисобланмаганлиги туфайли, уни кучланишни пасайтирувчи қурилма сифатида ишлатиб бўлмайди.

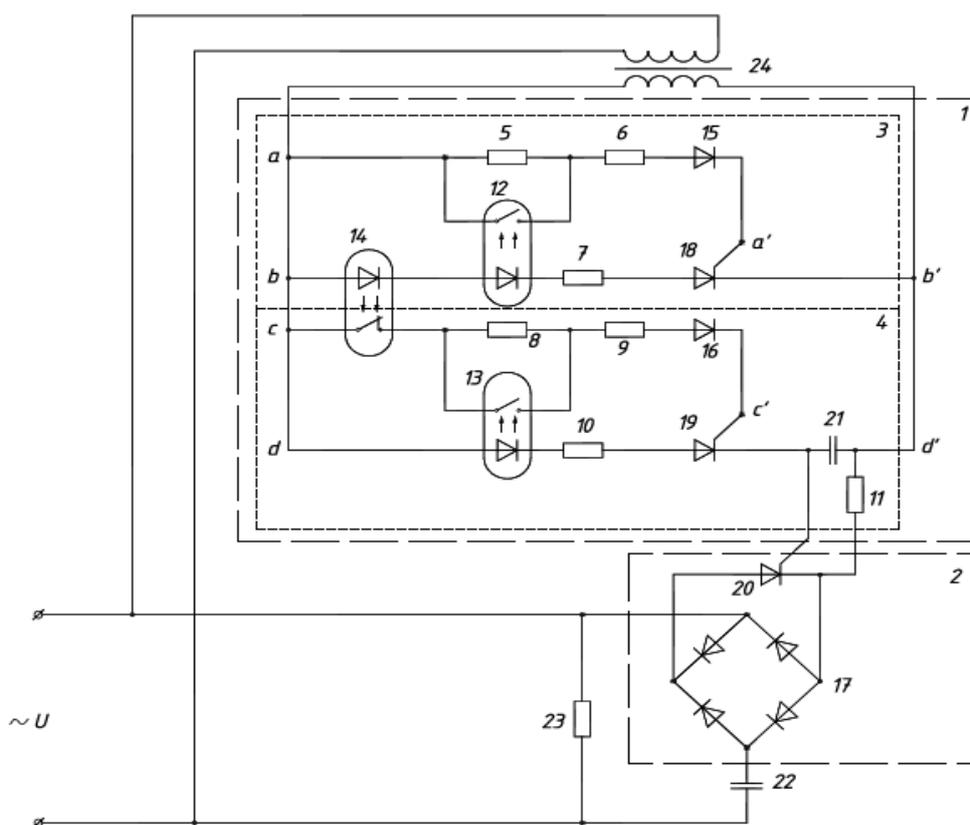
Конденсатор батареяси қувватини автоматик бошқариш кучланишни ростлаш имкониятини оширади ҳамда қишлоқ электр тармоқларида исрофларни сезиларли даражада камайтиради. Бундан ташқари эътиборга олиш керакки, конденсатор батареялари – реактив қувватни компенсациялаш учун хизмат қилади. Шу жумладан, у орқали ҳам кучланишни ҳам қувватни ростлаш имкони мавжуд. Шуни ёдда тутиш керакки, конденсатор батареяларини юклама минимал бўлган ҳолатда ишлатиш кучланишнинг ошишига, электр қурилмаларининг ва конденсаторларнинг ишлаш даврини қисқаришига олиб келади. Бу билан бир қаторда конденсаторни автоматик ростлаш кучланишнинг қисқа вақтли ўзгаришларида ишга тушиб кетмаслиги керак (юкламаси катта электродвигателнинг тармоққа уланиш пайтида).

Бугунги кунда ростланадиган реактив қувват манбаларининг, кучланиш қиймати, юклама токи, қувват йўналиши ва суткалик юклама графиклари асосида ишловчи турлари мавжуд (IAP 05122 ва IAP 03675). Ушбу қурилмаларда бугунги мавжуд фан ва технология ютуқлари элементларидан етарлича фойдаланилмаган. Яъни улар кучланишни фақат бир томонга ўзгаришига яъни, фақатгина кучланиш қийматининг ошишига ишловчи релелар асосида яратилган бўлиб, истеъмолчилар учун етарли ишончлиликни таъминлай олмайди [1-4].

Қуйида муаллифлар томонидан таклиф қилаётган ростланувчан реактив қувват манбаларини кучланиш бўйича бошқариш схемаси

ёрдамида юқоридаги камчиликларни бартараф этиш билан бир қаторда истеъмолчиларда кучланиш носимметриялигини камайтириш имкониятини беради. Шу билан бирга схема пасайтирувчи трансформатор ёрдамида йиғилганлиги сабабли ўлчамлари жихатидан ихчам ҳисобланади ва юлдуз шаклида уланган истеъмолчи занжиридаги конденсатор батареяларини ишлашни мувофиқлаштириб, тармоқдан олинандиган реактив қувват истеъмолини камайтиришни таъминлайди.

Таклиф этилаётган ростланувчан реактив қувват манбаларини кучланиш бўйича бошқариш схемасининг тузилиши, қўлланилиш соҳаси ва ишлаш принципи қуйида батафсил келтирилади. Ушбу схема асосан қишлоқ хўжалиги электр тармоқларида реактив қувват манбаларини автоматик бошқариш учун қўлланилади.



1-расм. Ростланувчан реактив қувват манбаларини кучланиш бўйича бошқариш схемаси

Схема 1 сезувчи қисм, 2 бажарувчи қисм ва 24 пасайтирувчи трансформаторлардан иборат. Сезувчи қисм ҳам ўз навбатида иккига: 3 контактсиз максимал кучланиш релеси ва 4 контактсиз минимал кучланиш релеси қисмларига бўлинади. Шу билан бирга сезувчи қисмда

## ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

14 оптореле контактсиз максимал ва минимал кучланиш релелерини мувофиқлаштирувчи бўлиб ҳисобланади.

Бажарувчи қисми 17 диод кўприги диоганалига уланган 20 тиристордан иборат. Шуни таъкидлаш керакки, бажарувчи қисм таъминловчи тармоққа 22 конденсатор батареяси билан кетма-кет уланган ҳамда у 23 юкламининг реактив қувватини компенсациялашда фойдаланилади.

Контактсиз максимал кучланиш релеси 5, 6 ва 7 резисторлар, 15 диод, 18 тиристор ва 12 нормал очик контактли опторелелардан иборат. Контактсиз минимал кучланиш релеси 8, 9, 10 ва 11 резисторлар, 16 диод, 19 тиристор, 13 нормал очик контактли оптореле ва 21 конденсатордан ташкил топган.

Схеманинг ишлаш принципи қуйидагича: таъминловчи тармоқ кучланиши номинал ёки ундан юқори қийматда бўлганида,  $aa'$  занжирдан 18 тиристор томон бошқарувчи сигнал узатила бошлайди ва 18 тиристор очилади, 12 нормал очик контактли оптореле ўз контактларини ёпади ва максимал кучланиш релесининг қайтиш коэффициентини камайтириш учун 5 резисторни шунтлайди. Шу вақтдан бошлаб  $bb'$  занжирдан ҳам ток ўта бошлайди ва у ток 12, 14 опторелелар светодиодини ток билан таъминлайди. Натижада, 14 оптореле ўзининг нормал ёпиқ контактларини очади ҳамда 19 тиристорни бошқарувчи сигнал занжири узилади. 19 тиристор узилгач, 22 конденсатор батареяси ўчиқ ҳолатда қолади.

Таъминловчи тармоқ кучланиши пасайганда, 18 тиристорга келаётган амплитуда сигнали пасаяди ва ушбу тиристор ёпилади, 14 оптореле контактлари ёпилиб 19 тиристорни бошқариш занжири  $cc'$  ни улайди. 19 тиристор очилади ва  $dd'$  занжирдан ток ўта бошлайди. Натижада, 13 нормал очик контактли оптореле ўз контактларини ёпади ва минимал кучланиш релесининг қайтиш коэффициентини камайтириш учун 8 резисторни шунтлайди. 21 конденсатор чиқишларидан 20 тиристорга бошқариш сигнали узатилади ва тиристор очилади ҳамда 22 конденсатор батареяси занжирини таъминловчи тармоққа улайди.

Хулоса ўрнида шуни айтиш мумкинки, ушбу схема асосида йиғилган қурилма қишлоқ хўжалиги электр тармоқлари истеъмолчилари тугунларидаги реактив қувватни компенсациялаш мақсадида ўрнатилган конденсатор батареяларини кучланиш бўйича автоматик тарзда бошқариб, тармоқнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш (тармоқдаги энергия йўқотишларини камайтириш, қурилмаларнинг ишлаш муддатини узайтириш ва х.к.) учун хизмат қилади. Қурилма паст кучланишда ишлашганлиги туфайли уни йиғиш кўп маблағ талаб этмайди. Бунинг натижасида бундай қурилмадан истеъмолчиларнинг кенг қўламда фойдаланишлари мумкин бўлади.

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

---

### Адабиёт

1. Суднова В.В. Качество электрической энергии // Учебное пособие– М.: ЗАО “Энергосервис”, 2000. – С.80. - ISBN 5-900835-30-8.
2. Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии регулирование напряжения и частоты в электросистемах // Учебное пособие. – Екатеринбург.: 3-е изд. УрФу, 2012. –93 с.
3. Усманов Э.Г. Тиристорные стабилизаторы напряжения и преобразователи частоты с электроферромагнитной цепью управления // Диссертация к.т.н., Ташкент, 2002. –165 с.
4. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. «Оптик-электрон контакtsiz кучланиш релеси» ихтироси учун олинган патент IAP №05122. Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги, - Т: 2011 йил.

*Тошкент давлат техника университети ва  
Термиз муҳандислик-технология институти  
томонидан тақдим этилган*

## Николай Иванович Воропай

(01.11.1943 — 28.02.2022)



Член-корреспондент Российской Академии наук, выдающийся ученый-энергетик, лидер научной школы в области развития электроэнергетических систем с учетом режимных особенностей их функционирования, один из основоположников методологии исследования энергетической безопасности страны и регионов.

Николай Иванович Воропай родился 1 ноября 1943 года в деревне Боблово Волковысского района Гродненской области. Среднее образование получил в русскоязычной школе в Белоруссии, которую окончил с золотой медалью. После окончания в 1966 году Ленинградского политехнического института (ЛПИ), Николай Иванович получив специальность «Инженер-электрик», приехал в Иркутск и начал работу в Сибирском энергетическом институте (СЭИ) СО АН СССР (позже переименован в ИСЭМ СО РАН). Можно без преувеличения сказать, что Николай Иванович начал с азов и прошел по всем ступенькам профессии: младший, затем старший научный сотрудник, заведующий лабораторией и отделом, заместитель директора, а с 1997 года – директор института. На посту директора он находился до 2016 года, и до последних дней активно участвовал в научной и общественной жизни родного института. В 1975 году Николай Иванович окончил аспирантуру СЭИ СО АН СССР и защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук под руководством Юрия Николаевича Руденко. В 1990 году Николаю Ивановичу была присуждена ученая степень доктора технических наук.

наук, в 1993 году ученое звание профессора, а в 2000 году избран членом-корреспондентом РАН от Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН. Сначала как директор, а потом как научный руководитель ИСЭМ СО РАН поддерживал и усилил высокий экспертный статус института в российских и международных энергетических исследованиях.

Николай Иванович Воропай автор и соавтор более 700 опубликованных научных работ, в том числе ряда знаковых монографий и учебников. Под его руководством подготовлено более 20 кандидатов наук, а также он являлся научным консультантом на защитах пяти докторов наук. Николаем Ивановичем Воропаем выявлены и исследованы фундаментальные особенности сложных протяженных электроэнергетических систем, что позволило на основе понятных физических представлений объяснить многие специфические явления и процессы, например, системные аварии, и разработать теоретические основы анализа и синтеза структурно неоднородных энергообъединений. Под руководством Николая Ивановича были разработаны методология, математические модели и методы обоснования развития электроэнергетики, электроэнергетических систем и компаний в условиях многих критериев и несовпадающих интересов субъектов отношений. Методология не имеет аналогов в электроэнергетической науке.

Под его руководством выполнен ряд крупных научно-технических проектов для организаций Японии, Южной Кореи, Китая, Монголии, Германии, Венгрии и других стран.

Николай Иванович Воропай был одним из инициаторов нового актуального научного направления – обеспечение энергетической безопасности России и ее регионов. В последнее время он активно занимался проблематикой интеллектуальных энергетических систем будущего.

Николай Иванович участвовал в создании Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» и более 20 лет был председателем оргбюро и Международного программного комитета Семинара. В 2019 году Семинар был организован и успешно прошёл в г.Ташкенте. Также Николай Иванович являлся сопредседателем и входил в состав оргкомитетов многих всероссийских и международных конференций по энергетике. Также Николай Иванович входил в состав редколлегий более 10 научных журналов.

Научно-исследовательскую работу Николай Иванович совмещал с преподавательской. С 1979 года вел преподавательскую деятельность, а с 2002 по 2018 годы возглавляя кафедру электроснабжения и электротехники Иркутского национального исследовательского технического университета (ранее Иркутского государственного технического университета).

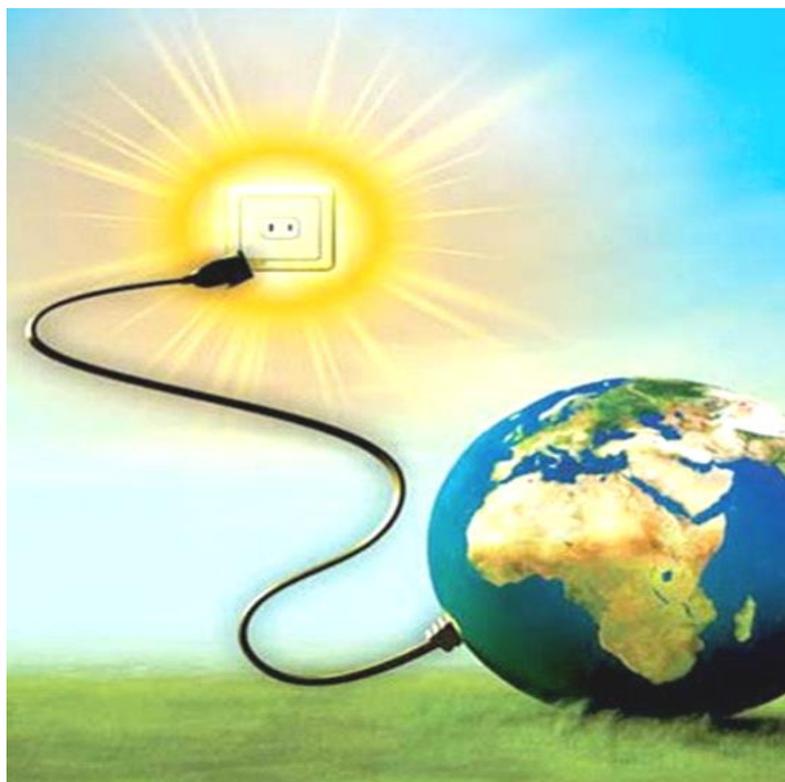
Николай Иванович был Заслуженным деятелем науки РФ (1999), Почетным энергетиком (2003), членом Президиума Сибирского отделения РАН и Президиума Иркутского научного центра СО РАН, членом IEEE, CIGRE, IFAC, IAEE, действительным членом Академии электротехнических наук РФ и Международной энергетической академии, членом Президиума Российского научно-технического общества энергетиков и электротехников, членом Экспертного совета по энергетике и атомной технике по присуждению премий Правительства РФ в области науки и техники, членом ряда научных советов РАН и СО РАН, членом Президиума и руководителем секции НТС ИНТЕР РАО ЕЭС, членом НТС ФСК ЕЭС и РАН, председателем диссертационного совета при ИСЭМ СО РАН.

Николай Иванович тесно сотрудничал с учёными-энергетиками Узбекистана, активно участвовал в работе конференций, организовывал научные семинары, принимал участие в работе нашего научно-технического журнала «Проблемы энерго- и ресурсосбережения».

Среди его многочисленных наград Орден Дружбы (2004) и Орден Почета (2013). В 1986 году Николай Иванович стал лауреатом Государственной премии СССР в области техники в составе авторского коллектива «за разработку теории и методов управления режимами систем и их применение в АСДУ ЕЭС СССР» (в том числе совместно с академиком АН Узбекистана Х.Ф. Фазыловым). В 1999 году в составе авторского коллектива стал лауреатом премии Правительства РФ «за создание системы мониторинга энергетической и экономической безопасности регионов России», а в 2011 году в составе авторского коллектива стал лауреатом премии Правительства РФ «За разработку методологии и стратегии региональных энергетических программ и их внедрение на территории Российской Федерации». В 2006 и в 2021 годах Николаю Ивановичу присуждалась премия им. Г.М. Кржижановского «за двухтомник «Энергетика XXI века» и «за книгу «Инновационная электроэнергетика — 21», соответственно. Также Николаю Ивановичу в 2004 году была присуждена премия им. И.М. Губкина. В 2018 году за многолетнюю продуктивную работу был удостоен звания «Заслуженный член СИГРЭ».

Эрудированный, энергичный, очень человечный и интеллигентный – таким Николай Иванович навсегда останется в нашей памяти.

*Коллеги и ученики*



**ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ЭНЕРГИЕЙ СОЛНЦА!**



*Индекс 1070*

## **БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

