



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 1

2021

Ёқилги – энергетика комплексини жадал ривожлантирмай, мустаҳкам энергетика базасини ташкил этмай туриб бирон бир тармоқни юксалтириб бўлмайди.

Ислом Каримов

Не может развиваться ни одна отрасль без опережающего развития важнейшего топливно-энергетического комплекса.

Ислам Каримов

No industry can be developed without significant improvement of the fuel – energy complex.

Islam Karimov



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
ташқил қилинган

Йилига 4 марта
чоп этилади

2021 й. _____ №1

ТОШКЕНТ - 2021

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

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

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

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

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

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

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

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

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

*Журнал Тошкент шаҳар Матбуот ва ахборот бошқармаси рўйхатиغا олинган
2007 йил 12 январ, 02-0044 гувоҳнома, ISSN 2091-5985.*

МУНДАРИЖА
ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасини трансформациялашнинг замонавий сценарийлари	11
А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Ч. Дониёров, Д.Ш. Норхолбоев. Тақсимланган магнит параметрлари бўлган юқори ўзгармас тоқларни контаксиз ферромагнит ўзгарикичларнинг конверторларининг математик моделлари.	28
П. Реиндл, Ч. Креисчер. Германия рақамли тармоқларининг талаблари: икки поғонали генераторларга асосланган шамол энергия ўзгартиргич тизимларидаги муаммолар ва стратегиялар	36
ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ	
Ю.М. Бобожанов, Т.Ш. Алибекова, И.И. Бахадиров, А.Д. Исмандияров. Қозонхоналарни мини иём ларга модернизациялаш жараёнининг таҳлили	51
ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ	
А.Д. Таслимов. Тақсимловчи электр тармоқлар параметрларини техник-иқтисодий таҳлили ва оптималлаштириш	60
Д.А. Рисмухамедов. Кутблари яқин нисбатли кутблари ўзгарувчан чулғамларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш	74
Д.С. Ахметбаев, А.Р. Джандигулов, А.Д. Ахметбаев. Тақсимловчи электр тармоқларида компенсацияловчи қурилмаларнинг жойлашув ўрни ва қувватини ҳисоблаш	85
М. Саъдуллаев, М.К. Бобожанов, Р.Ч. Каримов. Конденсатор батареяларининг қувватини автоматик ростлаш учун контактсиз бошқарув қурилмасини яратиш ва экспериментал тадқиқ қилиш	97
В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов, А.У. Турабеков, Ф.А. Ақбаров. Юк қўйиш машинасининг электрик ҳаёти учун умумий талабларнинг ривожланиши. . .	107
О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов. Электр тармоғининг режими ва ҳолатини мониторинги ҳақида	115
С.Т. Болтаев, Б.Б. Раҳмонов, Ж.Ф. Қурбанов, М.Ю. Хокимжонов, Э.Ш. Жониқулов. Ўтиш автоматик сигнализация тизимини ва унинг энергия самарадорлигини ошириш йўлларини моделлаштириш	122
МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНДИГАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ	
А.Я. Жумаев. Фотоволтаик қуёш станцияларидан марказлашмаган электр таъминотида фойдаланиш хусусиятлари	137
НЕФТ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ	
Б.Ш. Акрамов, Ш.Х. Умедов, Ж.Ф. Нуритдинов, Т.О. Комилов. Йўлдош нефт газини утилизация қилишда энергия тежовчи технологиялар	146
У.С. Назаров, В.М. Шевцов. Яроқсиз табиий газ конларини ривожлантиришни лойиҳалашнинг янги ҳаёти	156
СУВ-ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ВА ЭНЕРГЕТИКА ЕКОЛОГИЯСИ	
Г.Ф. Шерқўзиева, А.М. Юсупхўжаева, Л.Н. Хегай. Энергетика муаммоларини ечишда сув объектларининг аҳамияти	171
Н.И. Ибрагимов, Р.Р. Исанова. Электрик ва электрон чиқиндиларни қайта ишлашда ресурс тежамкорлик усул ва технологиялар	180
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
Н.И. Воропай. Электр энергетика тизимларини инновацион технологиялар таъсирида ўзгартириш тенденциялари ва муаммолари	190
БИЗНИНГ ЮБИЛЯРЛАР	
Шавкат Назарович Машарипов (80 ёшлигига)	193
Раджабов Абдурахман - олим, педагог, жамоат арбоби (туғилганлигининг 75-йиллигига бағишланган)	196

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Журнал основан
в 2002 году

Издаётся 4 раза
в год

2021 г.

№ 1

ТАШКЕНТ - 2021

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

д.т.н., проф. Хошимов Ф.А. Чемборисова Н.Ш. (Россия)
д.т.н., проф. Камалов Т.С. 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 ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

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

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

*Журнал зарегистрирован в Управлении печати и информации г. Ташкента 12. 01. 2007
года, регистрационное свидетельство № 02-0044, ISSN 2091-5985.*

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Современные сценарии трансформации энергетики мира и Узбекистана . .	11
А.М. Плахтиев, Г.А. Газиев, Я.А. Мелибоев, О.Ч. Донеров, Д.Ш. Норхолбоев. Математические модели бесконтактных ферромагнитных преобразователей больших постоянных токов с продольно распределенными магнитными параметрами	28
П. Рейндл, Ч. Крайшер. Требования немецкого сетевого кодекса: проблемы и стратегии для систем преобразования энергии ветра на основе индукционных генераторов с двойным питанием	36

ТЕПЛО И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ю.М. Бобожанов, Т.Ш. Алибекова, И.И. Бахадиров, А.Д. Исмандияров. Анализ процесса модернизации котельных в Мини ТЭЦ	51
--	----

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

А.Д. Таслимов. Техничко-экономический анализ и оптимизация параметров распределительных электрических сетей	60
Д.А. Рисмухамедов. Разработка и исследование полюсопереключаемых обмоток на близкое соотношение полюсов	74
Д.С. Ахметбаев, А.Р. Джандигулов, А.Д. Ахметбаев. К расчету мощности и места установки компенсирующих устройств в распределительной электрической сети	85
М. Саъдуллаев, М.К. Бобожанов, Р.Ч. Каримов. Создание и экспериментальное исследование бесконтактного устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей	97
В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов, А.У. Турабеков, Ф.А. Акбаров. Разработка обобщенных требований, предъявляемых к электроприводу прямоочной волоочильной машины	107
О.В. Радионова, Р.А. Ситдииков. О мониторинге режима и состояния электрической сети	115
С.Т. Болтаев, Б.Б. Рахмонов, Ж.Ф. Курбанов, М.Ю. Хокимжонов, Э.Ш. Жоникулов. Моделирование переездной системы автоматической сигнализации и способов повышения ее энергоэффективности	122

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

А.Ю. Джумаев. Особенности использования фотоэлектрических солнечных станций в децентрализованном электроснабжении	137
--	-----

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Б.Ш. Акрамов, Ш.Х. Умедов, Ж.Ф. Нуриддинов, Т.О. Комилов. Энергосберегающие технологии утилизации попутного нефтяного газа	146
У.С. Назаров, В.М. Шевцов. Новые подходы к проектированию доразработки истощенных месторождений природного газа	156

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Г.Ф. Шеркўзиева, А.М. Юсупхўжаева, Л.Н. Хегай. Значение водных объектов в решении проблем энергетике	171
Н.И. Ибрагимов, Р.Р. Исанова. Ресурсосберегающие методы и технологии при переработке электронных и электрических отходов	180

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Н.И. Воропай. Тенденции и проблемы трансформации электроэнергетических систем под влиянием инновационных технологий	190
--	-----

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Шавкат Назарович Машарипов (к 80-летию)	193
Раджабов Абдурахман - ученый, педагог, общественный деятель (к 75 летию со дня рождения)	196

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

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

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

**ASSOCIATION OF ALTERNATIVE FUEL AND ENERGY
ENTERPRISES**

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

PROBLEMS OF ENERGY AND SOURCES SAVING

The magazine founded
in 2002

Printed 4 times
a year

2021 y. _____ №1

TASHKENT - 2021

EDITORIAL COUNCIL

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

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

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

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

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

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

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

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

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

WATER-ENERGY PROBLEMS AND ENERGY ECOLOGY

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

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

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

CONTENTS

ELECTRIC POWER

K.R. Allaev. Modern scenarios for the energy transformation of the world and Uzbekistan.....	11
A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Ya.A. Meliboev, O. Ch. Donierov, D.Sh. Norholboyev. Mathematical models of non-contact ferromagnetic converters of large direct currents with longitudinally distributed magnetic parameters	28
P. Reindl, Ch. Kreischer. German grid code requirements: challenges and strategies for wind energy conversion systems based on doubly-fed induction generators	36

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

Yu.M. Bobojanov, T.Sh. Alibekova, I.I. Bakhadirov, A.D. Ismandiyarov. Analysis of the process of modernization of boiler houses in mini TPC	51
--	----

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

A.D. Taslimov. Techno-economic analysis and optimization of the parameters of electrical distribution networks	60
D.A. Rismukhamedov. Development and research of pole-switched windings for close pole ratio.	74
D.S. Akhmetbaev, A.R. Dzhandigulov, A.D. Akhmetbaev. Calculation of power and installation location of compensating devices in the electrical distribution network	85
M. Sadullaev, M.K. Bobozhanov, R.Ch. Karimov. Creation and experimental study of a non-contact device for automatic power control of capacitor batteries.	97
V.P. Ivanova, V.V. Tsypkina, D.N. Isamukhamedov, A.U. Turabekov, F.A. Akbarov. Development of generalized requirements for the electric drive of a direct-flow drawing machine.	107
O.V. Radionova, R.A. Sitdikov. About monitoring the mode and state of the electrical network	115
S.T. Boltaev, B.B. Raxmonov, J.F. Kurbanov, M.Yu. Khokimjonov, E.Sh. Jonikulov. Modeling the crossing automatic signaling system and ways of its energy efficiency.	122

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

A.Y. Jumayev. Features of the use of photovoltaic solar stations in decentralized power supply.	137
---	-----

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

B.Sh. Akramov, Sh.Kh. Umedov, J.F. Nuritdinov, T.O. Komilov. Energy-saving technologies for utilization of associated petroleum gas.	146
U.S. Nazarov, V.M. Shevtsov. New approaches to the project of additional development of depleted natural gas fields.	156

WATER-ENERGY PROBLEMS AND ENERGY ECOLOGY

G.F. Sherzieva, A.M. Yusupkh̄zhaeva, L.N. Hegai. The role of water facilities in solving energy problems.	171
N.I. Ibragimov, R.R. Isanova. Resource-saving methods and technologies for the processing of electronic and electrical waste.	180

SCIENTIFIC REPORTS

N.I. Voropay. Trends and problems of transformation of electric power systems under the influence of innovative technologies	190
---	-----

OUR ANNIVERSARIES

Shavkat Nazarovich Masharipov (on the occasion of his 80th birthday)	193
Radjabov Abdurakhman - scientist, teacher, public figure (on the occasion of his 75th birthday)	196

УДК 620.3

СОВРЕМЕННЫЕ СЦЕНАРИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА И УЗБЕКИСТАНА

К.Р. Аллаев

Maqolada Xalqaro energetika agentligi (IEA) tomonidan ishlab chiqilgan dunyo energetikasini rivojlantirishning zamonaviy stsenariylari keltirilgan.

Amaldagi siyosat senariysida (CPS) faqat 2019 yil o'rtalariga qadar qabul qilingan choralar va qarorlar haqiqiy hisoblanadi va energetikani rivojlantirish bo'yicha boshqa choralar amalga oshirilmaydi. Ushbu stsenariyda texnologik o'zgarishlar ancha sust (barcha ko'rib chiqilgan stsenariylarning eng susti) deb taxmin qilinadi, chunki dunyo energetikasini rivojlantirish bo'yicha yangi choralar qo'llanilmaydi.

Davlat siyosati ssenariysi (SPS) jahon energiya bozorlariga ta'sir ko'rsatadigan chora-tadbirlarni hisobga oladi.

Barqaror rivojlanish stsenariysi (SDS) energetika sohasi yo'lini taqdim etadi, bu energetika sohasidagi siyosat asoslarini BMTning Barqaror rivojlanish maqsadlarining (SDG) muhim ustunlari bo'lgan uchta yaqin, ammo aniq siyosat maqsadlari bilan birlashtiradi.

Future Is Electric Scenary (FiES) stsenariysi WEO-2018da dunyodagi elektrlashtirishni rivojlantirishga qaratilgan. Stsenariyda kelajakda elektr energiyasiga bo'lgan talab uchun noaniqlikning asosiy yo'nalishlari o'rganiladi. Noaniqlikning asosiy turlaridan biri yangi yoki kengaytirilgan energiya ehtiyojlari uchun elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojning oshishi bilan bog'liq.

450 stsenariysi havoning million qismiga 450 qism CO₂ degani, (450 ppm). Ushbu CO₂ kontsentratsiyasi dunyo miqyosidagi haroratning 2 ° S dan yuqori ko'tarilishini saqlab qolish ehtimoli 50% ga to'g'ri keladi. Parij kelishuvi 1,5⁰C ga yo'naltirishni tavsiya qiladi.

Shu bilan birga stsenariylarning qiyosiy bahosi berilgan va ularni tavsiyoflovchi parametrlar hamda O'zbekistondagi energetika sohasini o'zgartirish va rivojlantirish stsenariysi berilgan.

В статье приводятся современные сценарии трансформации энергетики мира, разработанные Международным Энергетическим Агентством (МЭА).

В сценарии текущей политики (CPS) действуют только те меры и решения, которые были приняты до середины 2019 года и другие меры по развитию энергетики не реализуются. В данном сценарии технологические изменения предполагаются довольно медленными (самый медленный

из всех рассмотренных сценариев), так как новые меры по развитию энергетики мира не применяются.

Сценарий государственной политики (SPS) учитывает меры по реализации, влияющие на энергетические рынки мира.

Сценарий устойчивого развития (SDS) обеспечивает путь энергетического сектора, который объединяет основы секторальной энергетической политики с тремя тесно связанными, но различными политическими целями, которые являются важнейшими опорами целей ООН в области устойчивого развития (ЦУР).

Сценарий «Будущее - это электрический сценарий» (FiES), разработан в WEO-2018 специально для особого внимания к развитию электрификации в мире. Сценарий исследует ключевые области неопределенности для будущего спроса на электроэнергию. Один из основных типов неопределенности связан с увеличением спроса на электроэнергию для новых или расширенных потребностей в энергии.

Сценарий 450 (450 Scenario) означающий, что на миллион частей воздуха приходится 450 частей CO₂, (450 ppm). Такая концентрация CO₂ соответствует 50%-ной вероятности поддержания среднего глобального повышения температуры ниже 2°C. Парижское Соглашение рекомендует ориентироваться на 1,5°C.

Дается сравнительная оценка сценариям и приведены параметры, их характеризующие, а также сценарий трансформации и развития энергетики Узбекистана.

The article presents the modern transformation of the world energy scenarios developed by the International Energy Agency (IEA).

In the current policy scenario (CPS), only those measures and decisions that were taken before mid-2019 are valid and other measures for energy development are not implemented. In this scenario, technological changes are assumed rather slow (the slowest of all the scenarios considered), as it does not apply new measures to promote energy world.

The Public Policy Scenario (SPS) takes into account the implementation measures affecting the world's energy markets.

The Sustainable Development Scenario (SDS) provides an energy sector path that integrates sectoral energy policy frameworks with three closely related but different policy goals that are essential pillars of the UN Sustainable Development Goals (SDGs).

The Future Is Electric Scenario (FiES) scenario was developed in WEO-2018 specifically to focus on the development of electrification in the world. The scenario explores key areas of uncertainty for future electricity demand. One of the main types of uncertainty is associated with an increase in electricity demand for new or expanded energy needs.

The 450 Scenario means 450 parts CO₂ per million parts of air, (450 ppm). This CO₂ concentration corresponds to a 50% chance of maintaining a global average temperature rise below 2 ° C. The Paris Agreement recommends targeting 1.50C.

The comparative assessment of scenarios and options are given, they are characterized as well as the scenario of transformation and development of the energy sector in Uzbekistan.

Энергетика мира. В [1] отмечается, что Международное Энергетическое Агентство (МЭА) с 1993 года предоставляет среднесрочные и долгосрочные энергетические прогнозы с использованием Мировой энергетической модели (World Energy Model - WEM). Модель представляет собой крупномасштабную имитационную модель, предназначенную для воспроизведения того, как функционируют энергетические рынки, и является основным инструментом, используемым для генерации подробных отраслевых и межрегиональных прогнозов для ежегодно подготавливаемых отчетов «Перспективы Мировой Энергетики» (World Energy Outlook - WEO). Модель состоит из трех основных модулей [1]:

- конечное потребление энергии (охватывающее промышленность, транспорт жилые помещения, сельское хозяйство, сферы услуг и неэнергетическое использование);
- преобразование энергии, включая производство электроэнергии и тепла, переработка и другие преобразования;
- энергоснабжение.

WEM - это модель с большим объемом данных, охватывающая всю глобальную энергетическую систему, основывается на системном подходе к построению всех аналитических документов МЭА, в том числе сценариев.

Сценарии WEM позволяют оценить влияние конкретных мер на спрос на энергию, производство, торговлю, инвестиционные потребности, затраты на снабжение и выбросы, детализируя параметры, касающиеся возобновляемых источников энергии, энергоэффективности и изменения климата и др.

Впервые World Energy Outlook 2019 (WEO-2019) публикует ключевые результаты с временным горизонтом до 2050 года (в предыдущих версиях рассматривался период до 2040 года). Это расширяет возможности для отражения в моделировании заявлений, сделанных несколькими странами для достижения углеродной нейтральности к 2050 году [1].

Необходимо отметить, что в мире на сегодняшний день существуют множество сценариев и моделей развития мировой энергетики [5-10], разработанных различными международными специализированными энергетическими организациями и позволяющих осуществить прогнозирование развития энергетической системы на мировом и национальном

уровнях. Наиболее совершенные сценарии и модели развития энергетики мира-это WEM, MARKAL, PRIMES, SCANER, POLES, NEMS и другие [8,9], отличающиеся рассмотренными периодами, видами первичной энергии, стимулами технологического развития.

Таблица 1
Определения и цели сценариев развития энергетики мира МЭА - 2018 [2]

	Сценарий текущей политики (CPS)	Сценарий государственной политики (SPS)	Сценарий устойчивого развития (SDS)	Сценарий будущее - электричество (FiES)
Определения	Политика правительства, которая была принята или принята к середине 2019 года, остается неизменной.	Существующая политика сохраняется и недавно объявленные обязательства и планы, в том числе те, которые еще не были официально приняты, реализуются с осторожностью.	Комплексный сценарий, определяющий путь, направленный на: обеспечение универсального доступа к надежным, устойчивым и современным энергетическим услугам к 2030 году; существенное снижение загрязнения воздуха; принятие эффективных мер по борьбе с изменением климата.	Электрические технологии будут широко распространены, как только они становятся конкурентоспособными по стоимости.
Цели	Обеспечить базовую линию, которая показывает, как рынки энергий будут развиваться, если основные тенденции в спросе на энергию и поставка не изменилась.	Обеспечить ориентир для оценки потенциальных достижений (и ограничений) недавних изменений в энергетической и климатической политике.	Продемонстрировать правдоподобный путь для одновременного достижения всеобщего доступа к энергии, проложить путь к достижению целей Парижского соглашения об изменении климата и значительно уменьшить загрязнение воздуха.	Изучить, что произойдет, если конкретные меры и сокращение затрат на технологии должны были привести к более быстрому темпу роста спроса на электроэнергию.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В данном случае в WEO-2019 смоделированы и представлены подробные прогнозы для пяти сценариев [1]:

- сценарий текущей политики (Current Policies Scenario-CPS);
- сценарий государственной политики (Stated Policies Scenario-SPS);
- сценарий устойчивого развития (Sustainable Development Scenario-SDS);
- сценарий будущее - электричество (FiES);
- сценарий 450.

В табл. 1 приведены определения и цели сценариев МЭА по развитию энергетики мира.

Сценарии различаются в отношении того, что предполагается в отношении будущей государственной политики, связанной с энергетическим сектором.

В табл. 2 приведены данные мирового спроса на энергию в зависимости от сценариев развития энергетики мира.

Сценарий текущей политики. В сценарии текущей политики (Current Policies Scenario-CPS) действуют только те меры и решения, которые были приняты до середины 2019 года, другие меры по развитию энергетики не реализуются [3,11].

Таблица 2

Спрос на энергию в зависимости от сценариев развития энергетики мира [3,4]

Годы	2017		2040					
	Сценарии		Текущий политики (CPS)		Государственной политики (SPS)		Устойчивого развития (SDS)	
Энергоноситель	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%
	Уголь	3750	26,8	4769	24,6	3809	21,5	1597
Нефть	4435	31,7	5570	28,7	4894	27,6	3156	23,0
Природный газ	3107	22,2	4804	24,8	4436	25,0	3433	25,0
АЭС	688	5,0	951	5,0	971	5,5	1293	9,5
ГЭС	353	2,5	514	2,7	531	3,0	601	4,4
Биоэнергия	1385	9,9	1771	9,2	1851	10,4	1504	11,0
Другие ВИЭ	254	1,9	948	5,0	1223	7,0	2132	15,5
Итого Мир:	13972	100	19329	100	17715	100	13716	100
Выбросы CO ₂	32,2		43,7		36,6		17,6	
Доля ископ. топлива	81%		79%		74%		58%	

CPS - Current Policy Scenario, SPS - Stated Policies Scenario.

SDS - Sustainable Development Scenario. Источник: IEA WEO 2018.

Кратко рассмотрим данные сценарии.

В данном сценарии потребление угля по сравнению с 2017 годом увеличивается на 28%, нефти на 26%, природного газа на 55%, энергия

АЭС на 38%, энергия ГЭС на 46%. Возобновляемые источники увеличиваются на 66%. Выбросы CO_2 возрастают с 32,2 ГТ в 2017 году до 43,7 ГТ в 2040 году. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 79% [3].

В сценарии текущей политики технологические изменения предполагаются довольно медленными (самый медленный из всех далее рассмотренных сценариев), так как новые меры по развитию энергетики мира не применяются. Но из-за более высоких цен на энергоносители также в этом сценарии происходят технологические изменения, особенно в отношении энергоэффективности [3].

Тем не менее, данный сценарий воплощает технологические улучшения. Сценарий предназначен для того, чтобы предложить базовую картину развития глобальных энергетических рынков. Поэтому, как результат, это приведет к увеличению нагрузки практически на все аспекты энергетической безопасности и значительному дополнительному увеличению выбросов CO_2 , связанных с энергетикой.

Таким образом, данный сценарий служит эталоном, по базе которого можно оценить влияние различных факторов на мировую энергетику.

Сценарий государственной политики. Сценарий государственной политики (**Stated Policies Scenario-SPS**) - центральный сценарий, который ранее носил название «Сценарий новой политики (**New Policies Scenario-NPS**)» [2] - учитывает меры по реализации, влияющие на энергетические рынки, которые были приняты с середины 2019 года, вместе с соответствующими предложениями политики, даже если конкретные меры необходимые для их реализации еще не полностью разработаны.

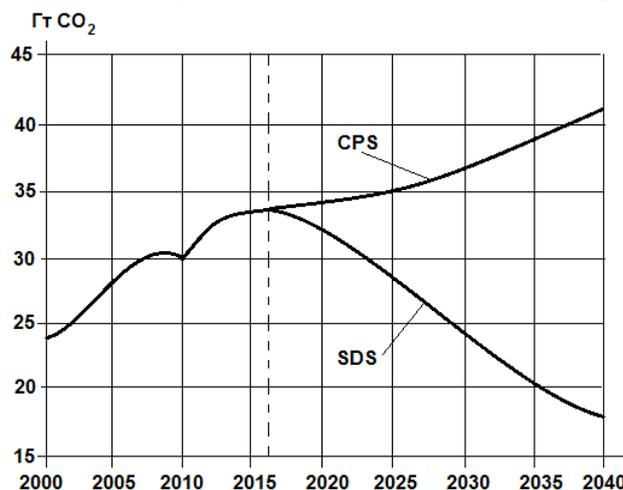


Рис. 1. Мировые выбросы CO_2 от энергетического сектора [17]

На рис. приведены динамика изменения мировых выбросов CO₂ от энергетического сектора. Из рис.1 видно, непрерывный рост выбросов CO₂, что и характеризует данный сценарий.

В данном сценарии потребление угля по сравнению с 2017 годом к 2040 году увеличивается на 1,6%, нефти на 10%, природного газа на 43%, энергия АЭС на 41%, энергия ГЭС на 50%. Возобновляемые источники увеличиваются на 87%. Выбросы CO₂ возрастают с 32,2 Гт в 2017 году до 36,6,7 Гт в 2040 году. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 74% [3].

В этом сценарии (SPS) МЭА придерживается в целом осторожного взгляда на степень и сроки реализации предложений.

К 2040 году в данном сценарии глобальный спрос на энергию возрастает более чем на 25%, население Земли увеличится на 1,7 миллиард человек, в основном в городских районах развивающихся стран. Увеличение спроса на энергию будет вдвое больше, не учитывая постоянное повышение энергоэффективности, мощный инструмент для решения проблем энергетической безопасности и устойчивости [3,12].

Весь рост происходит из - за развивающихся стран во главе с Индией. В 2000 году, на Европу и Северную Америку приходилось более 40% мирового спроса на энергию, а в развивающихся странах Азии - около 20%. К 2040 году эта ситуация полностью изменится.

К 2040 году низкоуглеродистые технологии, основанные на возобновляемых источниках энергии и природном газе, обеспечат более 80% роста мирового спроса.

Таким образом, сценарий государственной политики (SPS) занимает центральное место, поскольку он показывает направление, куда движется энергетический мир и почему.

Сценарий устойчивого развития. Сценарий устойчивого развития (**Sustainable Development Scenario - SDS**), впервые представленный на WEO-2017, обеспечивает путь энергетического сектора, который объединяет основы секторальной энергетической политики с тремя тесно связанными, но различными политическими целями, которые являются важнейшими опорами целей ООН в области устойчивого развития (ЦУР) [1].

Во-первых, в нем описан путь к достижению всеобщего доступа к современным энергетическим услугам к 2030 году (ЦУР 7), включая не только доступ к электричеству, но и чистое приготовление пищи.

Во-вторых, он рисует картину, которая соответствует направлению, необходимому для достижения целей Парижского соглашения (ЦУР 3.9), включая пик выбросов, достигаемый как можно скорее, за которым следует существенное снижение.

В-третьих, он предполагает значительное сокращение других связанных с энергетикой загрязнителей, что согласуется с резким улучшени-

ем качества воздуха в мире и, как следствие, сокращением преждевременных смертей от загрязнения воздуха в домах (ЦУР 13). Цель состоит в том, чтобы разработать комплексную стратегию с наименьшими затратами для достижения этих важных целей политики, наряду с энергетической безопасностью, чтобы показать, как можно согласовать соответствующие цели с учетом потенциально конфликтующих приоритетов, [1].

В данном сценарии потребление угля, по сравнению с 2017 годом, к 2040 году уменьшается до 60%, нефти до 71%, природный газ растет на 10%, энергия АЭС на 88%, энергия ГЭС на 50%. Возобновляемые источники увеличиваются на 220%. Выбросы CO₂ снижаются с 32,2 ГТ в 2017 году до 17,6 Гт к 2040 году. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 58% [3].

На рис.2 приведена динамика потребности в первичной энергии по сценарию устойчивого развития (SDS). Как видно из приведенных данных, после 2017 года потребность в нефти и угле непрерывно снижается, а природного газ растет.

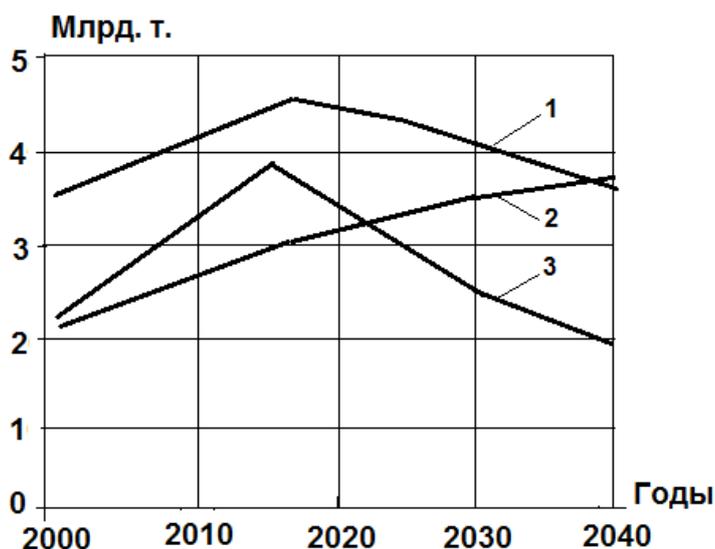


Рис.2. Потребность в первичной энергии по сценарию устойчивого развития (SDS) [14,15]: 1 – нефть, 2 – природный газ, 3 – уголь

Акцент в данном сценарии (SPS) делается на технологиях с коротким сроком реализации проектов, в частности, в секторах энергетики, таких как возобновляемые источники энергии, в то время как более долгосрочный характер изменения климата допускает другие технологии. Траектория выбросов в Сценарии устойчивого развития полностью соответствует достижению долгосрочных целей Парижского соглашения [3,12,14-16].

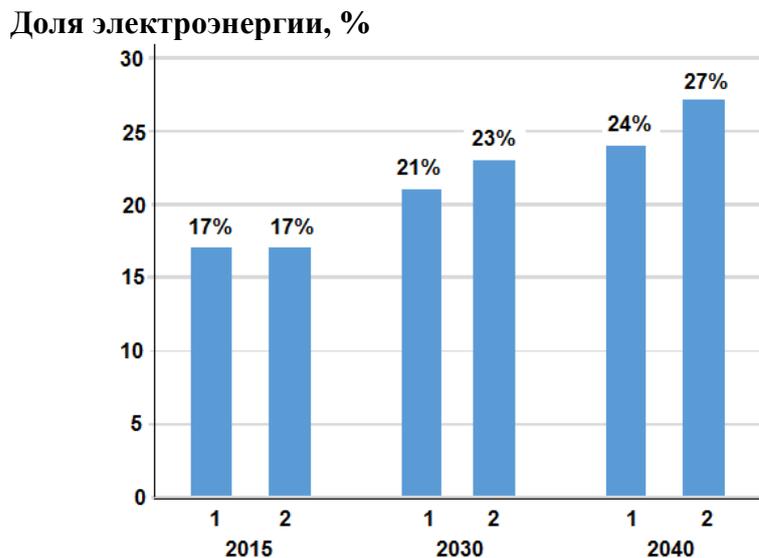


Рис.3. Доля электроэнергии в общем конечном потреблении энергии в зависимости от сценарий развития энергетики мира [17]: 1 – CPS, 2 – SDS

Чтобы достичь результатов этого сценария, энергетический сектор продвигается дальше и быстрее путём развёртывания генерации с низким уровнем выбросов. Технологии возобновляемых источников энергии - основной путь к обеспечению универсального доступа к энергии к 2040 году.

Электрификация конечных потребителей сильно растёт, но также растёт и прямое использование возобновляемых источников энергии - биоэнергии, солнечного и геотермального тепла - для обеспечения тепла и мобильности [12]. Доля возобновляемых источников энергии в структуре энергопотребления возрастает с одной четверти сегодня до двух третей в 2040 году; при обеспечении теплом она увеличивается с 10% сегодня до 25%, а при транспортировке - с 3,5% сегодня до 19%.

МЭА также рассматривает другие сценарии. Одним из важных является сценарий, посвященный развитию поставок электроэнергии.

Будущее - это электрический сценарий. Сценарий «Будущее - это электрический сценарий» (**Future is Electric Scenario - FiES**), разработан в WEO-2018 специально для особого внимания к развитию электрификации в мире. Сценарий исследует ключевые области для будущего спроса на электроэнергию. Один из основных типов неопределенности связан с увеличением спроса на электроэнергию для новых или расширенных потребностей в энергии [12].

На электроэнергию сегодня приходится более 19% от общего конечного потребления энергии, и эта доля будет расти, поскольку рост спроса на электроэнергию опережает все остальные виды топлива: потребление электроэнергии растет вдвое быстрее, чем общий спрос на

энергию [12]. По этой причине в данном сценарии (FiES) изучается, какие меры надо принять для полной электрификации глобальных энергосистем.

Основные результаты электрификации конечных потребителей - это многообещающий путь к обезуглероживанию использования энергии.

К 2040 году, по сценарий государственной политики (SPS), доля электрификации достигнет 24%, что далеко от полной электрификации. Необходимо иметь ввиду, что не все конечные пользователи могут быть легко электрифицированы, например, потребность в тепле при высоких температурах в промышленности, дальнемагистральной авиации и судоходстве, где электрификации трудно достичь из-за экономических или технических барьеров [1,3,14].

На развивающиеся страны будет приходиться наибольшая доля нового спроса, обусловленная быстрым экономическим ростом и ростом населения, потребностью в большем количестве товаров и услуг, усиливающимся развитием электрификации. Например, к 2040 году на электрические машины, используемые только в китайской промышленности, будет приходиться почти 20% роста мирового спроса на электроэнергию. Аналогичное увеличение ожидается из-за растущих потребностей в охлаждении, когда число домашних кондиционеров в развивающихся странах возрастет до 2,5 миллиардов единиц по сравнению с 600 миллионами сегодня. Ускорение освоения электромобилей и электрических водонагревателей может привести к еще большему росту спроса в развивающихся странах.

Доведение электромобилей до 100% продаж новых автомобилей в странах с развитой экономикой к 2040 году увеличит рост спроса на электроэнергию в среднем до 1,1% в год, так как электромобили более чем в два раза эффективнее, чем обычные автомобили.

Производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии возрастают почти в три раза к 2040 году, и составит более 40% от общего производства. Благодаря непрерывному снижению затрат на солнечную энергетику, производство электроэнергии на основе PV превысит производство электроэнергии на основе ветроустановок к 2025 году, а на угле в середине 2030-х годов, и станет вторым по величине установленной мощности в мире, после газа. Газовые мощности обгонят угольные мощности задолго до 2030 года [3,14].

Уголь остается крупнейшим источником выработки электроэнергии, хотя его доля со временем существенно падает, а газ почти закрывает этот разрыв. Гидроэнергетика остается крупнейшим источником безуглеродного электричества, за которым следуют энергия ветра и солнечная энергия.

Выработка электроэнергии на АЭС увеличивается умеренно, со значительным географическим сдвигом. Развитие ядерной энергетики возглавляют Китай, Индия, Россия и развивающиеся страны.

Меры по повышению энергоэффективности, принятые с 2000 года, позволили сэкономить почти 1800 ТВт*ч в 2017 году, что эквивалентно примерно 20% от общего текущего потребления электроэнергии.

Создание гибких энергосистем для обеспечения перехода на более электрифицированные, низкоуглеродные и оцифрованные электрические системы будущего будет иметь решающее значение для обеспечения надежности электроснабжения. Гибкость необходимо рассматривать как ключевой компонент проектирования и управления будущей электроэнергетической системой.

Сценарий 450. Сценарий 450 (450 Scenario) был представлен в WEO-2009 [2]. Тогда дискуссии по климатической политике были сосредоточены на целевом уровне стабилизации концентрации CO₂. Сценарий получил название «**Сценарий 450**», означающий, что на миллион частей воздуха приходится 450 частей CO₂, (450 ppm). Такая концентрация CO₂ в то время соответствовала 50%-ной вероятности поддержания среднего глобального повышения температуры ниже 2°C (по сравнению с доиндустриальным уровнем). Парижское Соглашение рекомендует ориентироваться на 1,5°C. Тем не менее, в более ранних прогнозах это был основной сценарий декарбонизации. Предыдущие результаты используются для сравнения.

Энергоэффективность и возобновляемая энергетика значительно сокращают загрязнение воздуха и выбросы парниковых газов. Электромобили, с одной стороны уменьшают загрязнение воздуха, но в то же время увеличивают общие выбросы CO₂, если не предпринимать параллельных усилий по декарбонизации энергетического сектора [3].

Поэтому сценарий предполагает принятие соответствующих мер до 2020 года, а затем целевые показатели выбросов в масштабах всей экономики на 2035 год и последующий период, для стран ОЭСР и других крупных экономик.

В табл. 3. приведены данные мировой потребности в первичной энергии по сценариям, и выбросы CO₂, связанные с энергетикой.

В сценарии 450 низкоуглеродные виды генерации доминируют. В частности, доля гидроэнергетики составит 20%, атомной энергетики - 18%, ветроэнергетики - 18% и солнечной энергетики - 9%. Производство электроэнергии из традиционных видов топлива должно резко упасть: газа - до 16%, угля - до 9%, нефти - до 1%. Оставшиеся 9% должны производиться из других низкоуглеродных источников [13].

К 2040 году необходимость в атомной энергетике сохранится, так как ожидается другой уровень замыкания топливного цикла за счёт более широкого развития технологии реакторов на быстрых нейтронах [13].

Таблица 3

Мировая потребность в первичной энергии по сценариям, и выбросы CO₂, связанные с энергетикой [14]

Годы	1990		2017		2040					
	Сценарии				CPS		NPS		SDS	
Ед. измер.	млрд т.н.э.	Млрд. т. CO ₂	млрд т.н.э.	Млрд. т. CO ₂	млрд. т.н.э.	млрд. т. CO ₂	млрд. т.н.э.	млрд. т. CO ₂	млрд. т.н.э.	млрд. т. CO ₂
Первичная энергия и выбросы CO ₂	7,7	20,7	13,7	32,6	18,8	42,5	17,5	36,4	13,8	17,6

Атомная энергетика имеет традиционно высокий коэффициент готовности и коэффициент использования мощностей - первый превышает 90%, второй - 80%. С ветровыми электростанциями мы имеем коэффициент использования установленных мощностей на уровне 15-25% [13]. Очевидно, что для выработки одинакового объёма электроэнергии с помощью ветровой и солнечной генерации потребуется в (2-3) раза больше мощностей, чем с атомной. На киловатт установленной мощности эффективность атомной генерации выше, и это одно из её конкурентных преимуществ.

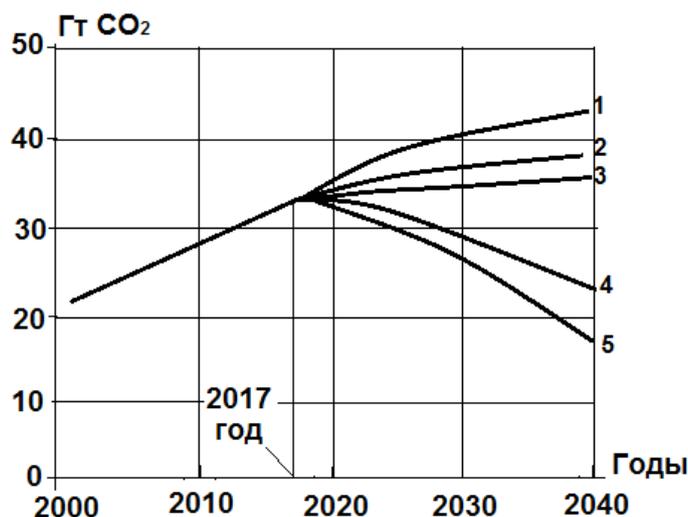


Рис.4. Мировые выбросы CO₂ по сценариям, связанные с энергетикой [14,15]. 1-текущей политики (CPS), 2-новой политики (NPS), 3-будущее электричество (FiES), 4-будущее электричество с декорбанизацией энергетического сектора (FiESd), 5-устойчивого развития (SDS)

Энергетический сектор является основным источником глобальных выбросов парниковых газов. Сегодня выбросы парниковых газов, связанные с энергией (включая метан, закись азота, а также CO₂), составляют около 39 Гт в эквиваленте CO₂. Самая большая категория на сегодняшний

день - это угольная энергетика, на которую приходится 27% выбросов. Здания составляют почти 9%, за которыми следуют около 8% для автомобилей, работающих на газе и бензине. Выбросы от производства цемента и нефтегазовых операций составляют 7% каждый, при этом грузовые автомобили составляют 6%, а производство стали - около 5% от общего объема [1].

Сценарий устойчивого развития (SDS) полностью согласуется с целью Парижского соглашения «сдерживать повышение средней глобальной температуры намного ниже 2°C выше доиндустриального уровня и предпринимать усилия по ограничению повышения температуры до 1,5°C». Сценарий находится в пределах охвата сценариев, предусматривающих повышение температуры ниже 1,5 ° C, что оценивается в последнем специальном докладе МГЭИК о 1,5 ° C [11].

Эти условия выполняются в Сценарии устойчивого развития (SDS), в котором глобальные выбросы CO₂ достигают пика примерно в 2020 году, а затем резко снижаются к 2040 году и находятся на пути к чистым нулевым во второй половине столетия (рис.4).

В сценарии устойчивого развития (SDS) выбросы ПГ, связанные с энергией, падают примерно до 21 Гт CO₂.

Чтобы вывести мир на траекторию сценария SDS, необходимы значительные дальнейшие действия. В 2015 году МЭА были определены 5 возможностей, которые позволят достичь раннего пика выбросов парниковых газов, связанных с энергетикой, без каких-либо дополнительных затрат для экономики:

- повышение энергоэффективности конечных потребителей;
- увеличение инвестиций в возобновляемые источники энергии;
- поэтапный отказ от наименее эффективных электростанций, работающих на угле;
- поэтапный отказ от неэффективных субсидий на ископаемое топливо;
- сокращение выбросов метана от добычи нефти и газа.

Почти половина сокращения выбросов, необходимых в SDS, может быть достигнута путем быстрой реализации этих 5 ключевых мер.

Достижение другой половины сокращения требует более глубокого осуществления этих же мер, а также широкого внедрения других технологий в области экологически чистой энергии, таких как широкое применение атомной энергии, улавливание и хранение углерода (carbon capture and storage- CCS) и улавливание, утилизация и хранение углерода (carbon capture, utilization and storage – CCUS) [1].

Таким образом, разработанные МЭА сценарии развития энергетики мира, четко определяет направления, улучшающие энергоэффективность энергетики и снижения выбросов до 2040 года.

Энергетика Узбекистана. Стратегическое развитие топливно-энергетического комплекса Узбекистана будет **основано на совместном применении (симбиозе) атомной и возобновляемой источников энергии**, глубокой переработке углеводородов и производстве водорода, разработке сланцевых месторождений и их применении в энергетике республики, при интенсификации методов повышения энергоэффективности производства и их использовании в отраслях экономики государства.

В Узбекистане начаты масштабные работы по использованию возобновляемых источников энергии - солнца, ветра и других видов, реальный потенциал которых в перспективе оценивается примерно в 8000 МВт (СЭС – 5000 МВт, ВЭС – 3000 МВт).

В Узбекистане впервые в регионе Центральной Азии планируется к 2030 году строительство атомной электростанции суммарной мощностью 2400 МВт, с двумя агрегатами ВВЭР-1200 поколения «3+», мощностью 1200 МВт каждый. Это не только обеспечит Узбекистан недорогой электроэнергией, но также даст толчок развитию науки и образования, в таких направлениях, как фундаментальная наука, ядерная и химическая промышленность, машиностроение, строительство и других.

В настоящее время основным источником генерации в Узбекистане являются 11 ТЭС, в том числе 3 ТЭЦ. На 01.01.2020 году установленная мощность электростанций Узбекистана составила 15,1 млн кВт, в том числе ТЭС – 13,5 млн кВт.

В целом, в структуре суммарной установленной мощности по типу станции, доля ТЭС/ТЭЦ находится вблизи 90%, а удельный вес ГЭС оценивалась около 10%. На ТЭС/ТЭЦ в качестве топлива используется природный газ (90,8% суммарного потребления минерального топлива в электроэнергетике), уголь (7%), мазут (2%) и угольный синтез-газ (0,2%) [18].

В 2000-2019 годы производство электроэнергии увеличилось на 1/4 и достигло более 62 млрд. кВт*ч. Внутреннее потребление электроэнергии примерно соответствовало ее производству. Данные о выработке электрической энергии за этот период представлены на рис.5.

Министерством энергетики Узбекистана разработана Концепция развития генерирующих мощностей на период 2020-2030 годы, с учетом передового мирового опыта и современных тенденций развития мировой электроэнергетики [18]. Предусматривается реализация крупных инвестиционных проектов по увеличению генерирующих мощностей со строительством новых энергоблоков суммарной мощностью около 29,5 ГВт, на общую сумму около 35 млрд. долларов, с выводом из эксплуатации морально и физически устаревших энергоблоков на тепловых электростанциях общей мощностью 6,4 ГВт; совершенствование системы учёта

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

электроэнергии, диверсификации топливно - энергетических ресурсов с развитием использования ВИЭ.

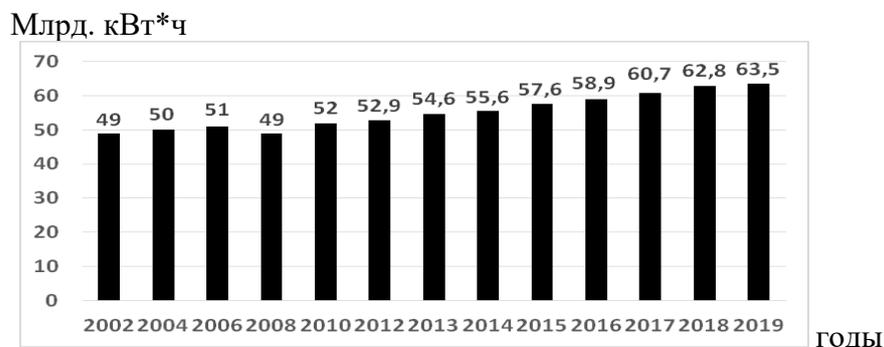


Рис.5. Выработка электроэнергии электростанциями Узбекистана [18]

Концепция определяет цели и направления развития электроэнергетической отрасли до 2030 года, приоритеты и ориентиры, а также механизмы обеспечения эффективности государственной энергетической политики на отдельных этапах ее практической реализации, гарантирующие достижение намеченных целей [18].

Запланировано, что к 2030 году необходимо [19]:

- увеличить мощности с до 29,5 ГВт, а производство электроэнергии с 63,6 млрд кВт*ч до 120,8 млрд кВт*ч;

- сократить потребления природного газа с 16,5 млрд. м³ до 12,1 млрд. м³;

- снизить потери при передаче электроэнергии до 2,35% и потери при распределении — до 6,5% (в 1,85 раза меньше уровня 2019 года) и др.

Реализация намеченных в Концепции задач приведет к 2030 году к следующим результатам [18].

Установленная мощность энергосистемы Узбекистана, суммарная - 29,2 тыс. МВт, в том числе: ТЭС, использующие природный газ – 13,4 тыс. МВт (45%), ТЭС, использующие уголь – 1,7 тыс. МВт (5,9%), ГЭС – 3,8 тыс. МВт (13,1%), АЭС – 2,4 тыс. МВт (8,3%), ВЭС – 3 тыс. МВт (10,4%), СЭС – 5 тыс. МВт (17,3%), в том числе 1 тыс. МВт с устройствами хранения электрической энергии для аккумуляции ее в солнечные часы и использования накопленной электрической энергии во время отсутствия солнца и вечернего максимума нагрузок.

Объемы суммарной выработки электрической энергии достигнут 120,8 млрд кВт*ч, в том числе: ТЭС – 70,7 млрд. кВт*ч (58,5%), ГЭС – 13,1 млрд. кВт*ч (10,8%), АЭС – 18,0 млрд. кВт*ч (14,9%), СЭС – 9,9 млрд. кВт*ч (8,2%), ВЭС – 8,6 млрд. кВт*ч (7,1%), блок-станции – 0,6 млрд. кВт*ч (0,5%).

Таким образом, в результате реализации комплексных и масштабных мер, основанных на Указах, Постановлениях и решениях Президента и Правительства Узбекистана, энергетика государства получит мощный толчок развития, а структура выработки электроэнергии станет диверсифицированной, что обеспечит республике энергетическую безопасность и устойчивость развития.

Литература

1. World Energy Model. Documentation. 2019 Version. IEA. 2020. 88 p. (<http://www.iea.org/policiesandmeasures/>).
2. World energy model documentation. Version. 2018. 82 p. (www.ieg.org/weo/).
3. The Gold standard of energy analysis. World Energy Outlook. 2018 (WEO). (<https://www.iea.org/weo2018/scenarios>).
4. <https://energypost.eu/iea-policies-will-determine-go/>. IEA in the Age of Trump: policies will determine where we go from here.
5. WEO Scenarios. (<https://www.iea.org/reports/world-energy-model>, 2020).
6. Салыгин В.И., Литвинюк И.И. Обзор сценариев развития мировой энергетики. // Мировая экономика. - С. 197-207. (более 50 сценариев).
7. Белогорьев А.М., Бушуев В.В., Громов А.И., Куричев Н.К., Мастепанов А.М., Троицкий А.А. Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века. Под ред. В.В. Бушуева. - М.: Изд «ЭНЕРГИЯ», 2011. 68 с. (более 50 сценариев).
8. Standardized Ranking Methodology / Climate Think Tank [Электронный ресурс]. International Center for Climate Governance. (http://www.thinktankmap.org/FilePageStatische/Documents/ICCG_2013_Think_Think_Tank_Award_Final.pdf).
9. New Lens Scenarios. A shift in perspective for a World in transition / Shell Scenarios. Shell International BV. (<http://www.shell.com.br/content/dam/royaldutchshell/documents/corporate/scenarios-newdoc.pdf>, 31.03.2016).
10. Shell energy scenarios to 2050. Shell International BV. (<https://s00.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-energy-scenarios2050.pdf> (дата обращения 31.03.2016)).
11. Subhes C. Bhattacharyya, Govinda R. Timilsina. Energy Demand Models for Policy Formulation. The World Bank Development Research Group, Environment and Energy Team. (<http://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/1813-9450-4866.27.04.2015>).
12. <https://www.iea.org/weo2018/electricity/>.
13. Кондратьев С. Прогноз МЭА выглядит весьма оптимистично. (<http://atominfo.ru/newso/v0586.htm>).

14. World Energy Outlook (WEO). The Golg standard of energy analysis. (<https://www.iea.org/weo2018/scenarios/>).
15. OFF TRACK. How the international energy agency guides energy decisions towards fossil fuel dependence and climate change. Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA). USA. 2018, 46 p.
16. Solar PV capacity to overtake all but gas by 2040. IEA World Energy Outlook. (<https://www.pv-magazine.com/2018/11/13/iea-world-energy-outlook-solar-pv-capacity-to-overtake-all-but-gas-by-2040>).
17. Energy Sector Strategy 2019-2023. European Bank. 12.12.2018. 51 p.
18. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. Утверждено приказом №70 Министра энергетики Республики Узбекистан от 28.04.2020 г.
19. Матвеев И.Е. Электроэнергетика Республики Узбекистан. (<http://matveev-igor.ru/articles/405751>).

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

UDC 621.317.714

MATHEMATICAL MODELS OF NON-CONTACT FERROMAGNETIC CONVERTERS OF LARGE DIRECT CURRENTS WITH LONGITUDINALLY DISTRIBUTED MAGNETIC PARAMETERS**A.M. Plakhtiev, G.A. Gaziev, Ya.A. Meliboev, O. Ch. Donierov, D.Sh. Norholboyev**

Мақолада биз таклиф қилган вариантлардан бирини ишлаб чиқиши натижалари кўрсатилган, ҳар хил кузатув ва бошқариши тизимлари учун кенгайтирилган диапазонли универсал тўғридан-тўғри оқимларнинг гальваномагнитик конверторлари ва ҳисоблаш хатоликларида 5 % дан ошмайдиган узунлама тақсимланган магнит параметрлари бўлган юқори ўзгармас тоқларнинг контактсиз ферромагнитик конверторларининг математик моделлари кўрсатилган. Маълум бўлганлардан фарқли ўлароқ, ишлаб чиқилган конверторнинг аниқлиги ва сезгирлиги, технологик дизайни ва материалнинг кам сарфланиши ва таннархи билан кичик вазн ва ўлчамлари ошгани кўрсатилган. Унинг иш динамикаси ўрганилмоқда. Магнетомодуляция контактсиз ферромагнит конверторларнинг динамик хусусиятлари кўриб чиқилади. Уларнинг тадқиқотлари натижалари келтирилган. Улар учун вақтинчалик жараённинг вақти қувват частотаси даврининг 0,025 га тенг эканлиги кўрсатилган. Шунинг учун уларни амалда ҳаракациз деб ҳисоблаш мумкин. Ишлаб чиқарилган конвертер электротехника иншоотларида, мелиорация ва сугоришида, сув таъминоти, саноат, темир йўл транспортида, илм-фан, технологияда ва электр ҳисоблагичларни тўғридан-тўғри ва ўзгарувчан тоқларни бошқариши учун уларни ўрнатиши жойларида текширишида кенг қўлланилиши мумкин.

В работе показаны результаты разработки одного из вариантов, предложенных нами, универсальных бесконтактных гальваномагнитных преобразователей больших постоянных токов с расширенным диапазоном для различных систем контроля и управления. Получены математические модели бесконтактных ферромагнитных преобразователей больших постоянных токов с продольно распределенными магнитными параметрами с погрешностью расчета, не превышающей 5%. Показано, что разработанный преобразователь в отличие от известных имеет повышенные точность и чувствительность, технологичную конструкцию и малые массу и габариты при низких материалоемкости и стоимости. Исследована его динамика работы. Рассмотрены динамические характеристики магнетомодуляционных бесконтактных ферромагнитных преобразователей. Приведены результаты их исследований. Показа-

но, что время переходного процесса у них составляет 0,025 части периода промышленной частоты. Поэтому можно считать их практически безинерционными. Разработанный преобразователь может широко применяться в электросистемах в гидростроительстве, мелиорации и ирригации, в водоснабжении, промышленности, на железнодорожном транспорте, в науке, технике и для поверки электрических счетчиков на месте их установки для бесконтактного контроля постоянных, а также и переменных токов.

The work shows the results of the development of one of the options proposed by us, universal contactless galvanomagnetic converters of large direct currents with an extended range for various monitoring and control systems and obtained mathematical models of non-contact ferromagnetic converters of high direct currents with longitudinally distributed magnetic parameters with a calculation error not exceeding 5%. It is shown that the developed converter, in contrast to the known ones, has increased accuracy and sensitivity, technological design and small weight and dimensions with low material consumption and cost. Its dynamics of work is investigated. The dynamic characteristics of magnetic modulation contactless ferromagnetic converters are considered. The results of their research are presented. It is shown that their transient time is 0.025 of the power frequency period. Therefore, they can be considered practically inertial free. The developed converter can be widely used in electrical systems in hydro-construction, land reclamation and irrigation, in water supply, industry, in railway transport, in science, technology and for checking electric meters at their installation site for contactless control of direct and also alternating currents.

Currently, a large number of separate non-contact converters and meters of large direct currents are known [1-22]. However, in practice, the most widely used are galvanomagnetic non-contact ferromagnetic converters of high direct currents [32], but the known converters have a number of disadvantages, the main ones being: a narrow controlled current range, low accuracy and sensitivity, large dimensions and masses. Therefore, the elimination of these disadvantages is an important necessity.

We have developed a number of lightweight universal energy-saving non-contact galvanomagnetic converters of large direct currents (LDC), which allow without breaking the circuit to convert both direct and alternating large currents in various monitoring and control systems, in which special designs are used split closed magnetic circuits with transversely and longitudinally distributed magnetic parameters and increased length of the path of the working magnetic flux over steel [33].

One of the developed is LDC, shown in Fig. 1. Let's consider its features and mathematical model. LDC contains a closed magnetic circuit, consisting of

separate ferromagnetic elements 1 and 2. Ferromagnetic elements 1, as well as ferromagnetic elements 2, are installed with longitudinal gaps distributed along the entire length of the split magnetic circuit. Adjacent ferromagnetic elements 1 and 2 form between n pairs of transverse gaps, in which Hall elements 3 are located. In this case, the ferromagnetic elements 2 are rigidly fixed on an annular insulating plate 4, which can be fixedly moved at set distances, changing the spacing between the ferromagnetic elements 1 and 2, i.e. parameters of transverse clearances. The closed magnetic circuit together with Hall elements 3 is placed in an insulating case 5, which, during the measurement, covers the bus 6 with controlled current. The current electrodes of the Hall elements 3 are connected to a current source. Hall electrodes of the Hall elements 3 are connected in series with each other, and the Hall electrodes of the Hall elements 3 located in each pair of transverse gaps formed by one ferromagnetic element 2 and adjacent ferromagnetic elements 1 are connected oppositely. To indicate the measurement results, a recording device (not shown) is included in the circuit of Hall electrodes of Hall elements 3 connected in series. formed by one ferromagnetic element 2 and adjacent ferromagnetic elements 1, are included in the opposite direction. To indicate the measurement results, a recording device (not shown) is included in the circuit of Hall electrodes of Hall elements 3 connected in series. formed by one ferromagnetic element 2 and adjacent ferromagnetic elements 1, are included in the opposite direction. To indicate the measurement results, a recording device (not shown) is included in the circuit of Hall electrodes of Hall elements 3 connected in series.

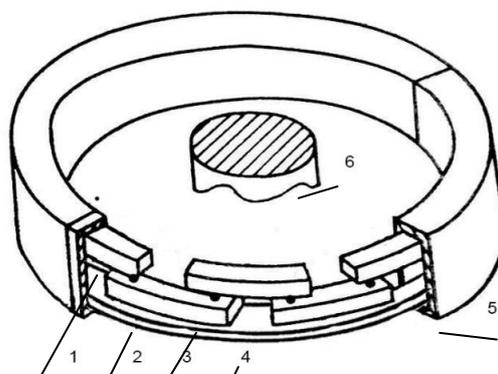


Fig.1. Energy saving non-contact galvanomagnetic high dc converter

The device works as follows. After wrapping the bus 6 with a controlled direct current in the magnetic circuit with a controlled current, a constant magnetic flux Φ is created, which, penetrating the Hall elements 3, causes the Hall EMF to appear on their Hall electrodes, which, in turn, due to the opposite connection of the Hall electrodes of the Hall elements 3, are summed up, causing appearance at the output of the circuit of series-connected Hall electrodes of Hall elements 3 of the total output EMF E and Hall, proportional to the value of the controlled direct current. The value of this total EMF E_i Hall is

measured using a recording device. An increase in the upper limit of measurement of large direct currents is made by increasing the gap between stationary 1 and movable 2 ferromagnetic elements by means of a fixed transition of plate 4 with ferromagnetic elements 2 to set distances, which leads to an increase in longitudinal gaps, and, consequently, in working magnetic fluxes, which allows change the sensitivity of the transducer over a wide range, i.e. make the device multi-range.

To study the main characteristics of the BGP, we obtain a mathematical model of the distribution of magnetic fluxes in the BGP.

Non-contact ferromagnetic converters with longitudinally distributed magnetic parameters are magnetic circuits in which the magnetic parameters - the linear values of the magnetic conductivity g of the longitudinally distributed air gap and the magnetic resistance r_μ of the ferromagnetic elements r_μ are distributed in a direction parallel to the axial line of a split closed magnetic circuit. Such a magnetic circuit contains the BGP shown in Fig. 1. Consider the features of calculating these circuits and investigate the laws of distribution of magnetic fluxes and magnetic potential differences using the example of a magnetic circuit with longitudinally distributed magnetic parameters, shown in Fig. 2, which is an analogue of the BGP magnetic circuit (Fig. 1).

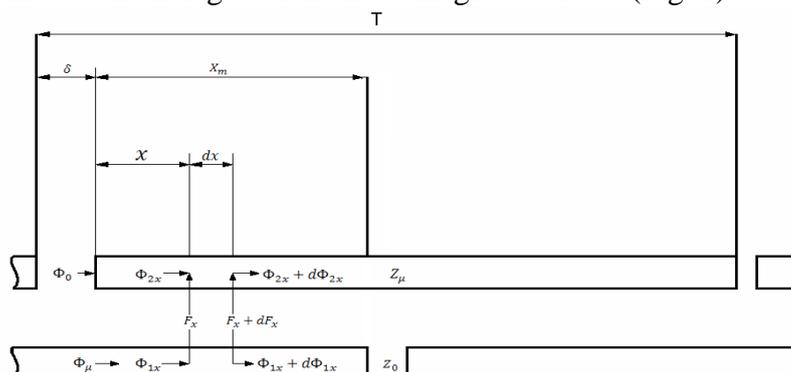


Fig.2. Section of the BGP magnetic circuit with longitudinally distributed magnetic parameters

In order to simplify the analysis of the magnetic circuit, we will consider the linear values of the magnetic conductivity g of the longitudinally distributed air gap and the magnetic resistance r_μ of the ferromagnetic elements to be constant, and to take into account the nonlinearity of the magnetization curve in the first approximation, we will use the average the value of the specific magnetic resistance ρ_m c_f , defined as

$$\rho_{\text{ср}} = \rho_{\text{мин}} + \frac{\rho_{\text{макс}} - \rho_{\text{мин}}}{2}, \quad (1)$$

where $\rho_{m \min}$ and $\rho_{m \max}$ are, respectively, the minimum and maximum values of the specific magnetic resistance corresponding to the lower and upper limits of the change in the working magnetic induction. Then the average value of the linear magnetic resistance of the longitudinal rods is

$$r_{\mu cp} = \frac{\rho_{mcp}}{S_{cm}}, \quad (2)$$

where S_{cm} is the cross-sectional area of the longitudinal ferromagnetic rods of the BGP, which in turn is found from the expression

$$S_{ct} = bh_1. \quad (3)$$

Here b and h_1 are, respectively, the thickness and width of the longitudinal ferromagnetic rods of the BGP.

The magnetic resistance of the transverse air gap δ between the ends of the elements is taken to be equal to Z_0 , and the resistance of the magnetic circuit in the same section is Z_m . The current x -coordinate ranges from 0 to X_m .

For the convenience of determining the current values of the magnetic fluxes Φ_{1x} and Φ_{2x} and the difference in magnetic potentials F_x created by the converted direct current, the coordinate x in the considered section of the magnetic circuit will be read to the right. Differential equations, composed according to the first and second Kirchhoff laws [211], have the form

$$d\Phi_{1x} = -gF_x dx, \quad (4)$$

$$d\Phi_{2x} = gF_x dx, \quad (5)$$

$$dF_x = r_{\mu cp}(\Phi_{2x} - \Phi_{1x})dx. \quad (6)$$

The total magnetic flux in the magnetic circuit is

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_{1x} + \Phi_{2x} = \Phi_0 + \Phi_m, \quad (7)$$

where Φ_0 is the magnetic flux passing through the transverse air gap;

Φ_m is the magnetic flux at the base of the magnetic circuit in the section of the transverse air gap.

Differentiating equation (6) and substituting (4) and (5) into the resulting expression, we have

$$F_x'' - 2r_{\mu cp}gF_x = 0, \quad (8)$$

Linear homogeneous differential equation of the second order (8) has a general solution

$$F_x = Ae^{\gamma x} + Be^{-\gamma x}, \quad (9)$$

where γ is the coefficient of propagation of the magnetic flux in a magnetic circuit with longitudinally distributed magnetic parameters, equal to

$$\gamma = \sqrt{2r_{\mu cp}g} \quad (10)$$

Solving (6) and (7) together and finding the integration constants A , B from the boundary conditions, we find the distribution laws of magnetic fluxes

Φ_{1x} , Φ_{2x} along the elements of the magnetic circuit and the difference in magnetic potentials F_x between these elements in the form

$$\Phi_{1x} = \frac{IgX_m}{K} \cdot \frac{1}{n\beta^2} \left\{ \beta K_\delta (1 + K_{z_0}) (1 - ch\beta) - 4sh\beta - \beta K_\delta (1 - K_{z_0}) [ch\beta x_0 - ch\beta(1 - x_0)] \right\}; \quad (11)$$

$$\Phi_{2x} = \frac{IgX_m}{K} \cdot \frac{1}{n\beta^2} \left\{ \beta K_\delta (1 + K_{z_0}) (1 - ch\beta) - 4sh\beta - \beta K_\delta (1 - K_{z_0}) [ch\beta x_0 - ch\beta(1 - x_0)] \right\}; \quad (12)$$

$$F_x = \frac{I}{nK} \left\{ K_\delta (1 - K_{z_0}) [sh\beta x_0 + sh\beta(1 - x_0)] \right\}, \quad (13)$$

Where

$$K = \beta K_\delta (1 + K_{z_0} + 2K_\delta K_{z_0}) (1 - ch\beta) - 2[K_\delta (1 + K_{z_0}) + 2]sh\beta. \quad (14)$$

In the expressions obtained, the following designations are introduced:

$x_0 = x / X_m$ - coordinate of the considered section of the element in relative units;

$K_{z_0} = Z_0 / Z_m$ - coefficient characterizing the ratio of the resistance of the transverse air gap to the magnetic resistance of the magnetic circuit in the same section;

$n = \frac{\pi I_{cp}}{2(\delta + X_m)}$ - the number of ferromagnetic elements in the upper or lower parts of the magnetic circuit ($n = 1, 2, 3, \dots$);

$K_\delta = \delta / X_m$ - coefficient characterizing the ratio of the length of the transverse gap to the maximum value of the current coordinate.

Experimental studies of the distribution of magnetic fluxes along the rods of the BGP magnetic circuit at $n = 10$, $K_{z_0} = 5000$ and various values of β and K_δ showed that the maximum deviation of the experimental

ence $\frac{\Phi_x}{IgX_m}(x_0)$ of the calculated one is 3.8% at $\beta = 2$ and 5% at $\beta = 4$.

The study of the flux distribution in the BGP was carried out on an experimental model of the magnetic circuit, which has the following dimensions and parameters: $\delta = 1.15 \cdot 10^{-1}$ m; $K_\delta = 0.8$; $\rho_m = 125$ m/Gn; $H_m = 1.44 \cdot 10^{-1}$ m; $D_{sr} = 1.65 \cdot 10^{-1}$ m; $n = 10$; $I = 27.3$ A. At $\beta = 2$ $h = 4.65 \cdot 10^{-3}$ m; $g = 40.5 \cdot 10^{-7}$ Gn/m. At $\beta = 4$ $h = 1.16 \cdot 10^{-3}$ m; $g = 162.8 \cdot 10^{-7}$ H/m.

The analysis of the obtained curves shows that the sum of the magnetic fluxes $\Phi_{1x} + \Phi_{2x}$ for any given β and K_δ does not depend on the coordinate x_0 , and at $x_0 = 0.5$ the magnetic fluxes in the cores of the magnetic circuit are equal to each other.

Literature

1. Spektor S.A., Measurement of large constant currents. Leningrad: Energy, 1988, 136 p.
2. Danilov A., Modern industrial current sensors, Modern electronics, no. 10, pp. 38 - 43, 2004.
3. Bolotin O., Portnoy G., Razumovsky K., Modern sensors for measuring current and voltage, ISUP, no. 1 (61), pp. 18 - 25, 2016.
4. Yuki TN Electromagnetic noncontacting measuring apparatus, US Patent No. 5234844, MKI G01R 27/04, NCI 324 - 58 dated 18.11.2016.
5. Bardahl Nils, Einrichtung zur Erfassung des Belastungsstromes in Hochstromanlagen, German Patent No. 3148654, Cl. 21e36 / 01 from 28.11.2016.
6. Bolotin O, Portnoy G, Razumovskiy K 2016 Modern sensors for measuring current and voltage, ISUP 1 (61) 18 - 25.
7. Gilardi M. 2013, New Horizons of hall effect current sensor technology. Power Electronics 3 48-52.
8. Kazansky VE 1988 Measuring current transducers in relay protection Energoatomizdat 240.
9. Plakhtiev AM, Petrov GP, Minikeev HS 1979 Measurer of high amperage DC USSR Patent N792152 IIC G01R 19/00 2735180/18 - 21 Bulletin N48.
10. Gurtovtsev AL 2010 Optical transformers and current transducers. Principles of operation, device, characteristics Electrical Engineering News 5 48 -52.
11. Bolotin O, Portnoy G, Razumovsky K 2012 Primary sensors for energy enterprises. Energy security and energy saving 5 28 - 32.
12. Bolotin O, Portnoy G., Razumovsky K 2016 Modern sensors for measuring current and voltage. ISUP 1 (61) 18 - 25.
13. Mukhamedkhanov UT 2008 Concepts and methods of constructing quality control systems for technological environments of industrial production. Abstract of dissertation of Doctor of technical Sciences.
14. Borkman D 1997 Hochstrommessung mit. Hallgeneratoren Elekrie Bd 18 2 46 - 50.
15. Kramer W 1996 Gleichstrom - Wandlerschaltung hoher Genauigkeit für 65 - 71 wellige Gleichstrom ETZ-A 18 28 - 33.
16. Lappe F. 1998 Ein neues Meßgerät für hohe Gleichström Chemi-Ingenier Technick Bd 42 19 1228 - 1229.
17. Baratov RJ, Djalilov AU 2018 An improving method of linearity of magnetic flux distribution in air gap with long iron cores. Journal of Scientific and Engineering Research 2018 ISSN 2394- 2630 5 (11) 158-164
18. Yuki TN 2016 Electromagnetic noncontact measuring apparatus US Patent N234844 IIC G01R 27/04 NKI 324 58.

19. Bardahl Nils 2016 Einrichtung zur Erfassung des Belastungsstromes in Hochstromanlagen Germany Patent N 3148654 ИК 21E36 / 01.
20. Eadie EM 2015 Complete specification improvements in multi-range hook-on electrical indication instrument, UK Patent N3966443 ИК G1U.
21. Standard Telefones & Cables LTD 2016 Current monitoring circuits including hall effect devices UK Patent N 4575111 ИК G01R 19/165 NKI GIU N 4773.
22. Tokyo Shibaura 2017 Transducers UK Patent N 3036984 ИК G01R 19/22 NKI GIU N4968.
23. Meierovich EA, Andreevskaya LI 2017 Dispositif pour la mesure de l'intensite du courant. France Patent N 4347944 ИК G01R N2.
24. Bernard Georges Alhadeff 2000 Transducteur electrique comportant un moyen de codage d'un parametre du transducteur France Patent N3955731 ИК G01D 18/00 3/04 G01F 25/00 N1.
25. Reich Ernö 2018 Elektricky měřicí přístroj Czech Republic Patent N 2145015 ИК 21E3601.
26. Zoltán Láncki 2015 Aramlökést mérő műszer, Hungary Patent N2146340, ИК 21E 29-36.
27. Hitachi Ltd Chiyoda-ku Tokyo 100 (JP) 2017 Magneto-electrical transducer. Japan Patent N3257766 ИК G01D 5/16 N33.
28. Brodovsky VN, Korzhanov BM 2017 Current transformer USSR Patent N3592239 ИК 21E3601 Bulletin N4.
29. Yoshihiro Konno, Masaru Sasaki 2009 Electric current measure apparatus Japan Patent ИК G01R CN204154795U.
30. Chjan Li 2015 Stripping electrical measuring one meter China Patent ИК G01R CN204154795U.
31. Michel Lynn, John Shie 2019 Power amplifier saturation detection Korean Patent ИК G01R US10224917B2.
32. Gilardi M., New Horizons in Hall Effect Current Sensor Technology, Power Electronics, No. 3, pp. 48-52, 2013.
33. Plakhtiev A.M. To the analysis of measuring transducers of large direct currents // Bulletin of Tashkent State Technical University.-Tashkent, 2011.- №4.- P.32-34.

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

UDC 621.311.24

GERMAN GRID CODE REQUIREMENTS: CHALLENGES AND STRATEGIES FOR WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS BASED ON DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS**P. Reindl, Ch. Kreischer**

In most of the Western countries wind energy conversion systems (WECSs) are currently accounting for the largest share in newly installed renewable energy (RE) power stations, being dominated by two concepts: The direct drive synchronous generator (DDSG) with full-sized converter and the doubly-fed induction generator (DFIG) with rotor-sized converter. While the DDSG offers the advantage to be operated without gearbox and hence larger corresponding maintenance intervals, the DFIG concept offers several conceptual advantages like participation in frequency stabilization via its rotor inertial response and a lower cost factor for power electronics. As during the last decade grids have become more volatile due to an increase in distributed power generation like WECS, GRID CODE requirements for these decentralized power stations have increased drastically.

While most research on DFIG WECS focuses on behavior and strategies during grid faults, the presented paper also deals with other aspects like power quality and voltage stability. The key requirements from the current German high voltage (HV) GRID CODE VDE-AR-N 4120 are presented along with performance and strategies of a DFIG WECS. Quasi-static requirements are evaluated by analytical relations, while transient events are assessed using electromagnetic transients (EMT) power system simulations within the PLECS® BLOCKSET integrated in MATLAB® SIMULINK™. A comparison between dynamic behavior of a DFIG and a DDSG WECS is made by means of these simulations. Index Terms - grid code, fault ride-through, voltage stability, wind energy, dfig

Over the recent last years, modern power systems have become more penetrated by distributed generation (DG) in the light of renewable energy source (RES) expansion, especially by wind energy conversion systems (WECSs). At the same time large central power plants utilizing conventional energy sources like fossil and nuclear fuels are shut governed by the VDE, resulting in separate documents for low voltage (LV), medium voltage (MV) and HV grids. As many wind farms are connected to HV grids, e. g. on 110 kV level, this paper will focus on requirements from the corresponding guideline VDE-AR-N 4120:2018-11 [1]. Modern WECS have to be designed in order to meet all contained GRID CODE requirements and at the same time allow for

cost-optimized energy yield, which is why only few concepts have gained broad acceptance nowadays. From [2] it can be identified that during the last 15

years the DDSG and DFIG concepts always have been the predominant WECS technologies, which is because of their ability to fulfill several GRID CODE requirements, if designed and controlled properly. As the FRT requirements are usually the most demanding GRID CODE requirements for any type of power plant, many scholars thus research on improving the behavior of DFIG WECS during such events. While [3] gives a concise overview on several GRID CODES in Europe and researches on a DFIG WECS's behavior during FRT events, the authors of [4] and [5] introduce some major improvements on the behavior of such plants under transient grid conditions. In the upcoming sections the most challenging GRID CODE requirements for DFIG WECS acc. to VDE-AR-N 4120 [1] are presented along with strategies for this plant type yielding compliance. First a short introduction to the operating principle of a DFIG WECS is given.

II. DFIG OPERATION AND CONTROL

The main operating principle of a DFIG is based on the ability to vary the machine's slip in a wide area due to the rotor-side converter (RSC). In general the slip of an induction machine (IM) is defined as

$$s = \frac{n_{\text{syn}} - n}{n_{\text{syn}}} \quad (1)$$

Using this definition, the rotor power without losses can be described by the equation

$$P_r \approx -s P_s \quad (2)$$

Following this equation, the turbine has to provide at least

$$P_{\text{mech}} = P_s + P_r = (1 - s) P_s \quad (3)$$

It can be seen that the total dispatched active power is shared between stator and rotor (i.e. RSC), depending on the current slip. If $s > 0$, power is extracted from grid to rotor and if $s < 0$, power is fed to the grid. Usual slip operating ranges are $\pm 20\%$ up to $\pm 40\%$. This behavior makes it possible to operate the DFIG within a variable speed wind turbine (WT) with its stator directly coupled to the 50 Hz grid. In Fig. 1 a general overview of a possible DFIG control structure including measurements and interconnections is given. The electromechanical part consists of a variable-speed pitch angle controlled WT including gearbox and shaft system, a pulse-width modulation (PWM)-controlled AC-DC-AC-converter with filter impedance and a direct current (DC) link brake chopper (CH). Converter and DFIG stator are coupled to the grid via a three-winding transformer. The control system is divided into inner machine-side converter (MSC) and outer grid-side converter (GSC) current

control loops with superordinate WT and reactive power control. Within the depicted control structure the GSC's main task is

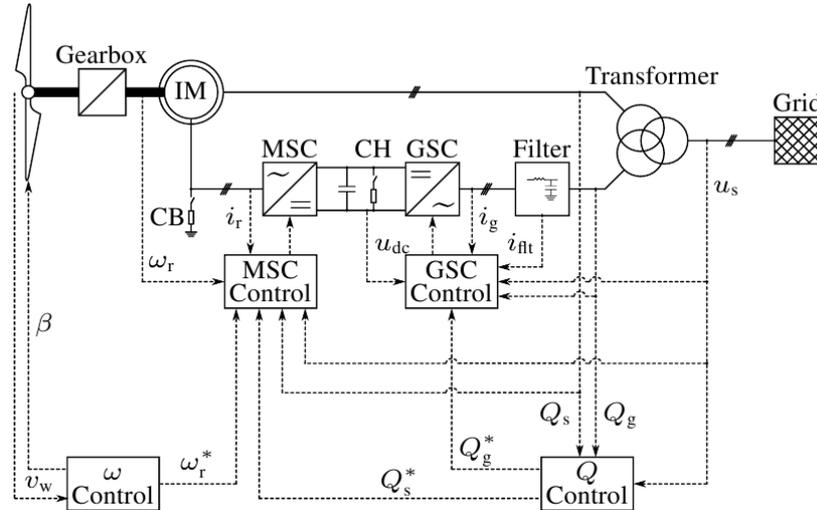


Fig. 1. Typical DFIG WECS plant and control structure [6]

to control the DC link voltage, while it is able to provide some additional reactive power [6]. The MSC controls the DFIG's rotor current (i. e. the machine's slip) and is thus responsible for stator active and reactive power control. During grid dynamics – such as FRT events – the DC link voltage may rise above its nominal value for a severe amount of time, what is overcome by the DC link brake copper that dissipates excessive DC power into a switched resistor. If rotor currents increase above certain limits (e. g. due to voltage dips), a crowbar (CB) is connected to the rotor circuit as backup protection, which however makes the machine behave as an ordinary squirrel-cage IM.

III. GRID CODE REQUIREMENTS FOR WECS

A. Power Quality

One basic measure of a grid's power quality is the amount of harmonic currents. These account for additional thermal losses and may cause malfunction of almost any electrical equipment. For this reason grid operators demand power plants to keep their respective emission of harmonic currents at low limits. In order to account for most grid connection situations, VDE-AR-N 4120 [1] rates these limits to the short circuit power of the grid the plant is connected to. Before evaluation, these limits have to be converted to the respective Point of Connection (PoC) by means of the grid's short-circuit power S_k'' which is provided by the HV grid operator:

$$I_{\nu, \text{permitted}} = i_{\nu, \text{permitted}} S_k'' \sqrt{\frac{S_A}{S_{\text{ref}}}} \quad (4)$$

In this equation, S_A is the respective plant's sum of apparent powers and S_{ref} is the theoretical maximum apparent power that can be connected to the respective PoC (usually the rated power of the step-up transformer). As shown in Fig. 1, the DFIG's rotor is connected to the grid via power electronics, which account for harmonic injection to the grid. These harmonic currents mainly result from the high-frequency switching operations of the RSC, but also from the non-sinusoidal distribution of rotor and stator windings of the DFIG. Despite of their source, harmonic currents can be influenced and dampened by several filter techniques. Passive filters consisting of resistances, inductances and capacitors are most widely used [7]. One common configuration is the so-called LC lowpass filter and its topology is shown in Fig. 2. The transfer function of this topology can be described in

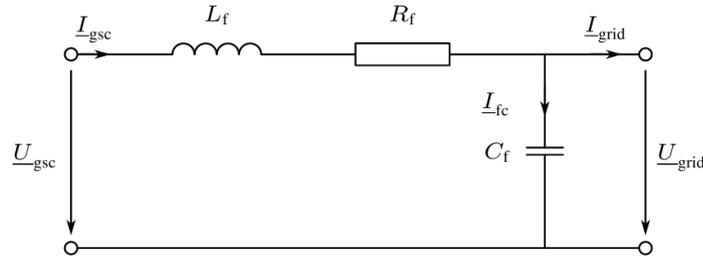


Fig. 2. LC filter topology for DFIG GSC.

the LAPLACE domain using the well-known voltage divider equation:

$$G(s) = \frac{U_{\text{grid}}(s)}{U_{\text{gsc}}(s)} = \frac{1}{L_f C_f s^2 + R_f C_f s + 1} \quad (5)$$

The parameters cut-off frequency ω_c and damping ratio ζ are of special interest for filter design. These can be expressed by

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_f C_f}} \quad (6)$$

$$\zeta = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{C_f}{L_f}} \quad (7)$$

In accordance with [8], in order to avoid resonance problems the cut-off frequency should satisfy the condition

$$10 f_{\text{grid}} \leq f_c \leq \frac{1}{2} f_{\text{PWM}} \quad (8)$$

Eqns. (5) and (6) are underdetermined, which requires other constraints as starting points for filter design. As the filter's inductance L_f is used to minimize ripple in the GSC current, a maximum ripple current of e. g. 20 % of the converter's rated current can be stipulated as design value. In case of the DFIG the converter current equals the rotor current. Following [8], the inductance can be estimated as

$$L_f = \frac{U_{\text{DC}}}{8 f_{\text{PWM}} I_{n,r} \cdot 0.20} \quad (9)$$

while aside from that L_f may not be too high in order to avoid a large voltage drop on the alternating current (AC) side, which yields the constraint

$$L_f \leq \frac{1}{2 \pi f_{\text{syn}} \hat{i}_r} \sqrt{\frac{U_{\text{DC}}^2}{3} - \hat{u}_s} \quad (10)$$

In the next step, a constraint for the filter's capacitance C_f is found by limiting its maximum reactive power to a desired value, keeping in mind that large capacitances are expensive. It is therefore usual to limit the capacitive reactive power to 5 % of the converter's rating [8], resulting in the equation

$$C_f \leq 0.05 \frac{P_{n,r}}{2 \pi f_{\text{grid}} U_{n,s}^2} \quad (11)$$

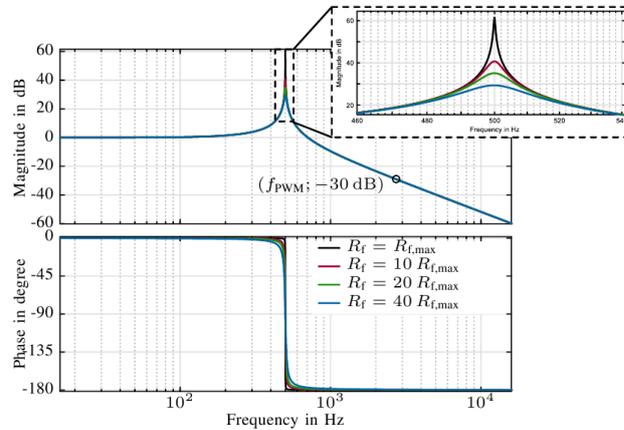


Fig. 3. BODE plot for exemplified filter design and variation in R_f

When dimensioning of L_f and C_f , the cut-off frequency always has to be considered. After having found a pair of values, it has to be made sure that condition (8) is always fulfilled. Regarding the design of the resistor it is important to notice that the whole rotor current passes it. Hence it is vital to keep its design value as low as possible in order to limit thermal losses. If for exam-

ple the ohmic losses of the filter resistor shall be limited to roughly one percent of the rated power, this yields the following design criteria:

$$R_f \leq 0.01 \frac{U_{n,s}^2}{P_{n,r}}$$

As this constraint is not related to the filter’s performance itself, the influence of the resistor is evaluated graphically drawing a BODE plot of the filter response acc. to its transfer function in Eqn. (5) (see Fig. 3). Magnitude and phase for an exemplified filter design are depicted in Fig. 3 for multiples of the maximum value from Eqn. (12). It can be deduced that for higher values of R_f the attenuation for frequencies immediately around f_c is better, while there is no influence on attenuation of higher frequencies, which however is the actual purpose of the LC filter. Keeping in mind that ohmic losses increase linearly with the resistance, it should be kept at the lowest possible value considering the fact that the cut-off frequency is in a safe region if it is chosen acc. To Eqn. (8). The attenuation around the switching frequency of in this case 2.7 kHz is roughly -30 dB, which is an acceptable damping ratio. The filter design method described before is now applied to an exemplified EMT simulation where a wind farm consisting of six $P_n = 2$ MW DFIG WECS is connected to a $U_c = 110$ kV grid with a short-circuit power of $S_k'' = 2.5$ GVA via a $S_{ref} = 30$ MVA step-up transformer (see Tab. I). The resulting harmonic spectrum with and without filter is shown in Fig. 4. The graph was obtained applying an fast Fourier transform (FFT) to the currents on 110 kV side which shows clearly that the proposed LC filter enables the wind farm to meet the requirements of VDE-AR-N 4120 [1] regarding harmonic currents.

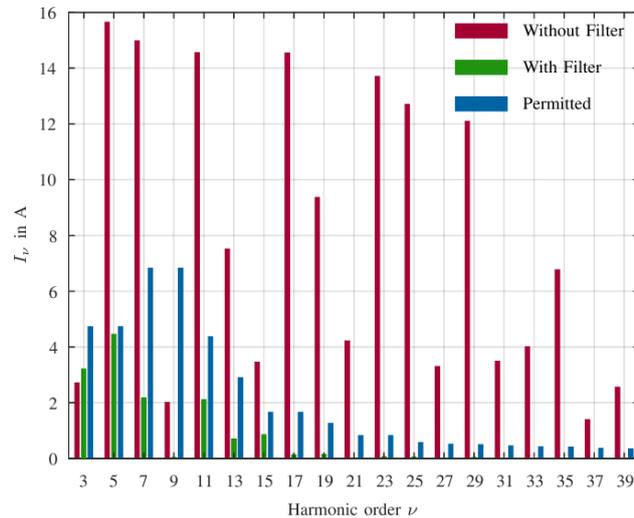


Fig. 4. Exemplified permitted and actual harmonic current spectrum for a $6 \cdot 2$ MW DFIG wind farm

B. Provision of reactive power

In grids with a high level of DG penetration, voltage stabilization plays a major role as the few remaining large centralized power stations are not longer able to maintain voltage in admissible ranges for every node of the grid. Voltage stability is maintained by certain reactive power control strategies, which are also required from DFIG WECS. Amongst others, these include $\cos(\varphi) = f(P)$ or $Q = f(U)$ characteristics which are usually implemented within a superordinate park controller acting on all WECS in one park by means of reactive power set-points. While the implementation of these controls is not critical, the quasi-stationary Q - P operating range demanded by the GRID CODE has to be considered in the respective generator's design process at an early stage. VDE-AR-N 4120 [1] for example requires any power plant to be servicable in one of the areas depicted in Fig. 5, while the responsible grid operator chooses one of the areas. In order

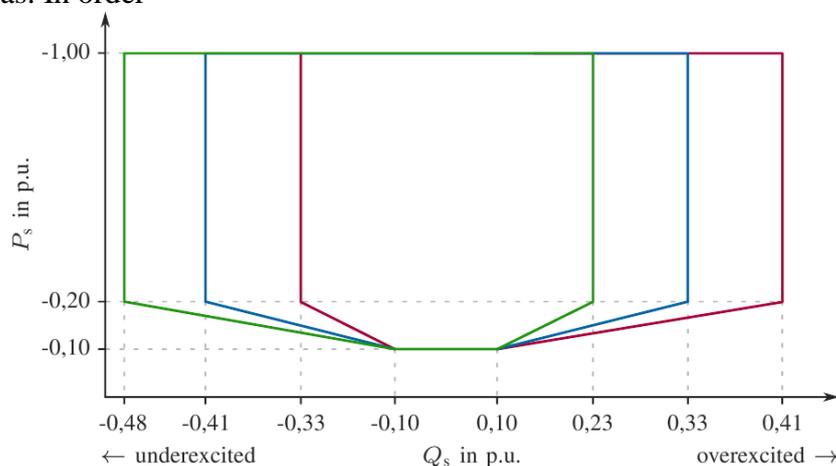


Fig. 5. Q - P area for quasi-stationary operation acc. to VDE-AR-N 4120 [1]

to evaluate the ability of a DFIG WECS with regard to this requirement a closer look has to be taken at its reactive power capability. Following [9] and [10], the corresponding limits can be expressed by a capability curve in the Q - P plane, similar to synchronous generators. This capability curve is based on limits for rotor and stator currents, which are usually chosen to be

$$I_{\max,s} \approx I_{n,s} \quad (13)$$

$$I_{\max,r} \approx 1.1 I_{n,r} \quad (14)$$

Based on the stator current limit $I_{\max,s}$, the stator's maximum permitted apparent power has to fulfill the condition

$$\underline{S}_s(I_s) = P_s + jQ_s \leq \underline{U}_s I_{\max,s}^* \quad (15)$$

with P_s being dependent on the slip s with regard to mechanical turbine power (neglecting losses):

$$P_s = \frac{P_{\text{mech}}}{1 - s} \quad (16)$$

Therefore Eqn. (15) can be rewritten and represented in absolute values:

$$\left(\frac{P_{\text{mech}}}{1 - s} \right)^2 + Q_s^2 \leq (U_s I_{\text{max},s})^2 \quad (17)$$

As long as this inequation is fulfilled by the current P_{mech} and Q_s pair of values, the machine's stator current limit will not be exceeded. In the next step, the rotor current limit acc. To Eqn. (14) has to be considered. In order to be able to evaluate both rotor and stator current limits within one plane, the so-called hybrid parameters approach [11] can be used. Without mathematical derivation (which can be found in [10]) the total generated apparent power depending on the rotor current and the corresponding condition for the admissible rotor current becomes

$$\underline{S}_s(I_r) = P_s + jQ_s \leq \underline{U}_s I_{\text{max},r}^* \frac{X_{\text{sh}}}{X_{s\sigma} + X_{\text{sh}}} \quad (18)$$

It is moreover assumed that the DFIG's magnetization current is generated solely by the rotor, which is why this has to be considered in Eqn. (18). The corresponding magnetizing reactive power is expressed by

$$Q_m = -\frac{U_s^2}{X_{s\sigma} + X_{\text{sh}}}. \quad (19)$$

Inserting Eqn. (19) into Eqn. (18) and again taking into account slip dependence of active power acc. to Eqn. (16), the rotor current condition can be represented in absolute values, similar to the stator current condition:

$$\left(\frac{P_{\text{mech}}}{1 - s} \right)^2 + (Q_s + Q_m)^2 \leq \left(U_s I_{\text{max},r} \frac{X_{\text{sh}}}{X_{s\sigma} + X_{\text{sh}}} \right)^2 \quad (20)$$

The limits presented in Eqn. (17) and Eqn. (20) eventually lead to a capability curve in the Q - P plane as depicted in Fig. 6. As could be shown above (Eqn. (16)), the capability curve further depends on the current slip. In Fig. 7 the GRID CODE requirements from VDE-AR-N 4120 [1] are contrasted with the actual capability of an example DFIG WECS the parameters of which are presented in Tab. I (neglecting losses $P_{\text{tot}} = P_{\text{mech}}$). It can be seen that only one small portion of the requirement in the overexcited area at nominal power ($s = -0.2$) is outside the machine's capability curve. This can however be overcome

by compensation measures, which are present in wind parks anyway due to the usually long cable traces.

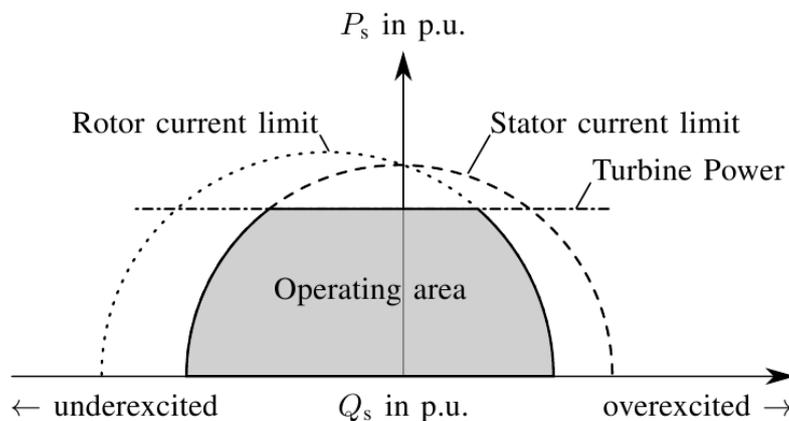


Fig. 6. General capability curve of a DFIG, constructed of rotor, stator and turbine limits

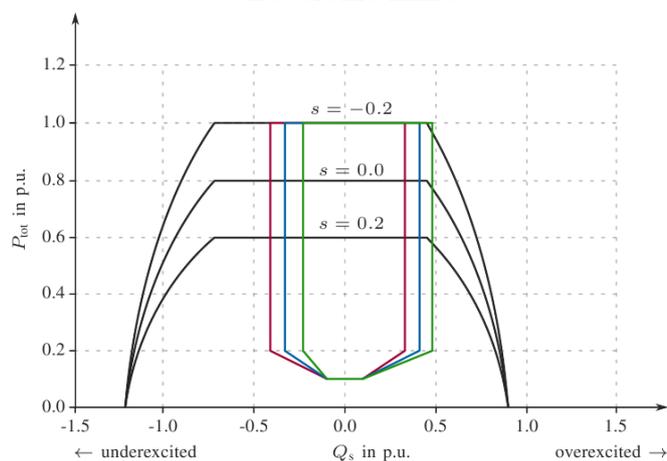


Fig. 7. Slip-dependent capability curve of a DFIG along with requirements from VDE-AR-N 4120 [1]

C. Grid faults

Aside from quasi-stationary requirements described before, VDE-AR-N 4120 [1] also demands power plants to participate in dynamic grid support, which specifies a certain behavior during FRT events. While voltage dips (low voltage ride-

through (LVRT) events) have been issued in many GRID CODES for a long time already, one comparatively new requirement deals with voltage swells (high voltage ride-through (HVRT) events). When it comes to these requirements, a distinguishment is made between plants with synchronous generators (SGs) directly coupled to the grid ("Type 1") and all other plants

that fully or partially rely on power electronics for grid connection (“Type 2”). WECS are Type 2 plants and the respective requirements by means of voltage-time- curves are presented in Fig. 8. VDE-AR-N 4120 [1] demands power plants to stay connected during all kinds of voltage dips or swells within the limiting curves indicated in Fig. 8. In addition, all Type 2 plants are obliged to support grid voltage by feeding in a reactive current i_q proportional to the grid voltage dip depth Δu_c with a variable factor k :

$$i_q = k \Delta u_c \quad (21)$$

This k factor has to be adjustable in a range between $2 \leq k \leq 6$, depending on the respective grid operator’s choice. In order to meet the named specification, the DFIG WECS control system has to be designed and tuned in an appropriate

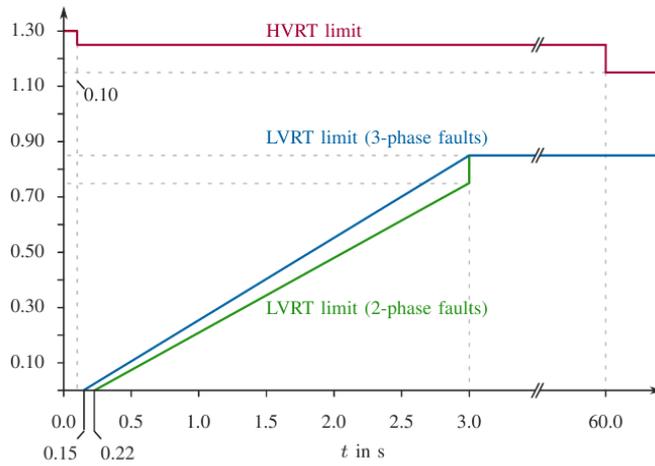


Fig. 8. FRT requirements for WECS from VDE-AR-N 4120 [1]

way. Taking a closer look at the exemplified control system depicted in Fig. 1 it can be seen that the MSC is responsible for control of the DFIG’s rotor current, while the GSC has to keep the DC link voltage near its nominal value. The MSC is operated in flux-oriented control mode, aligning the d-axis of the stator voltage and rotor current with the stator flux vector, which is in turn estimated from stator quantities. With this choice of reference, the air-gap torque T_δ and hence the rotor speed only depend on the rotor current’s q component, while the d component is used to influence the stator’s reactive power [12]. The corresponding control structure is shown in Fig. (9). During faulty conditions (Fault = 1), the reactive power set-point changes from nominal to a value calculated from a superordinate voltage controller depicted in Fig. 10. The reactive power error is fed into a PI controller, which provides the corresponding d-axis rotor current set-point $i_{r,d}^*$. Another PI controller regulates the d-axis current and the output is added to a decoupling and damping term. The

voltage controller acc. to Fig. 10 ensures a proper k factor for reactive power provision and contributes to machine’s stability by means of reactive power operational limits (cp. Fig. 7). Moreover it allows for reactive power sharing between IM and GSC. After having briefly introduced a control strategy that enables a DFIG WECS to meet the FRT requirements from VDE-AR-N 4120 [1], its performance shall be compared to that of a field-validated DDSG WECS of the same size in the same grid situation (cp. Appendix) by means of transient simulations.

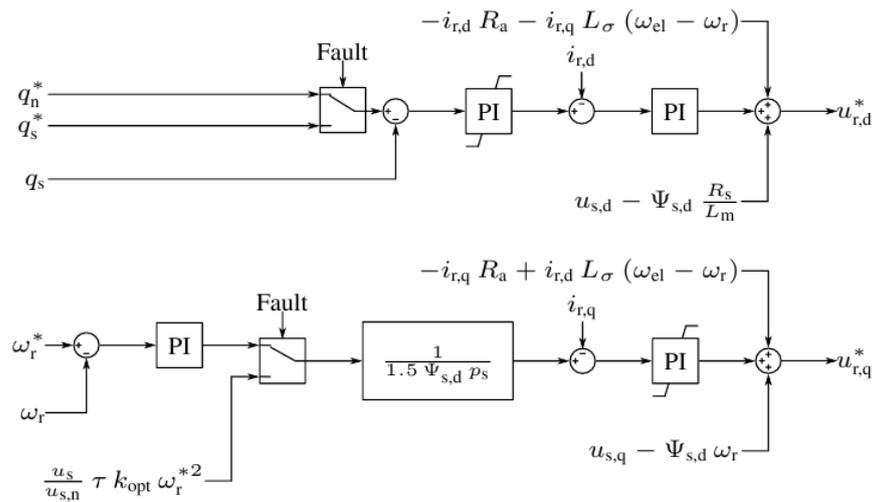


Fig. 9. DFIG MSC controller responsible for rotor speed and stator reactive power control [13]

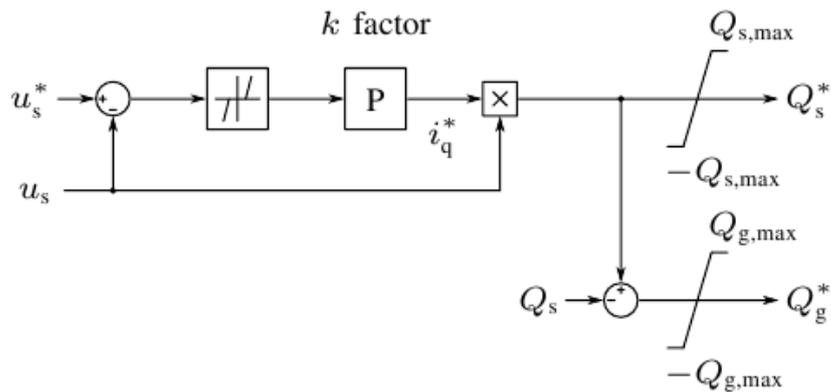


Fig. 10. Superordinate DFIG voltage controller [13]

The DDSG model used for reference simulations and its validation is documented in [14]. At first a grid voltage dip down to 50 % nominal voltage for 2 s with $k = 2$ is evaluated, see Fig. 11. With $\Delta u_c = 0.5$ and $k = 2$ Eqn. (21)

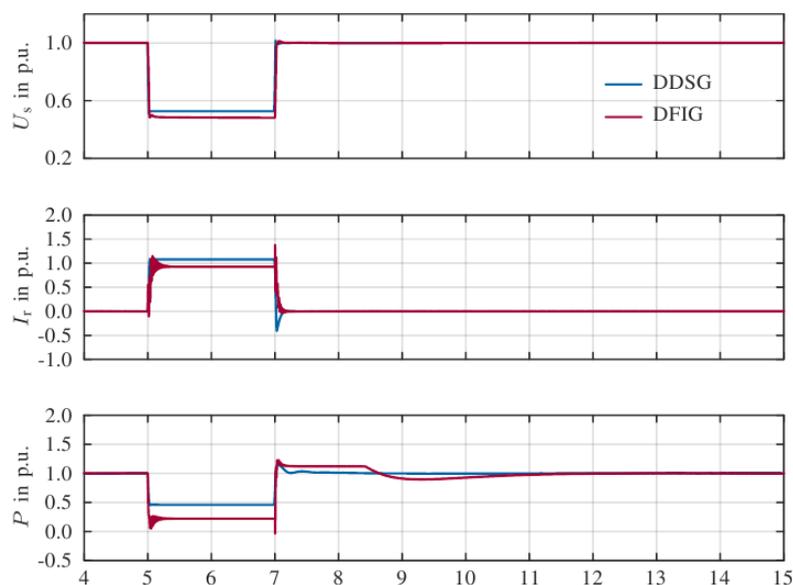


Fig. 11. Grid voltage dip down to 50 % nominal voltage for 2 s with $k = 2$

leads to a reactive current set-point of $i_q^* = 1 \text{ p.u.}$, which is fulfilled by both WECS types. Eventually, a grid voltage swell up to 120 % nominal voltage for 2 s with $k = 4$ is evaluated, see Fig. 12. With $\Delta u_c = -0.2$ and $k = 4$ Eqn. (21) leads to a reactive current set-point of $i_q^* = -0.8 \text{ p.u.}$, which is fulfilled by both WECS types.

With regard to the simulated cases, two major differences between both plants can be identified. Firstly, the i_q and P transients are faster in case of the DDSG which can be explained by the generator being completely decoupled from the grid.

Thus almost no electromechanical processes are involved resulting in faster response on electrical side. On the other hand the DFIG's reactive current response is smoother with less overshoots, especially after fault. Publications however indicate that the DFIG is able to react much faster and to cope with the DDSG [15]. Secondly, the DDSG does not have to reduce its active power as much as the DFIG.

This is due to the fact that the DDSG's reactive current capability only depends on the converter's rating while the DFIG's capability mainly depends on the machine itself (see Fig. 7).

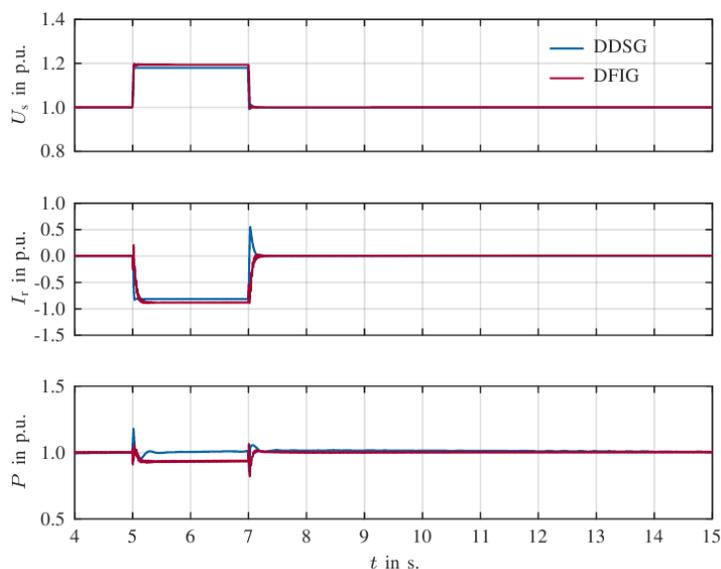


Fig. 12. Grid voltage swell up to 120 % nominal voltage for 2 s with $k = 4$

IV. CONCLUSION

This paper researches on the feasibility of the DFIG WECS concept against the background of German HV GRID CODE requirements from VDE-AR-N 4120 [1]. While harmonic currents, especially caused by the RSC, can be attenuated by a properly designed filter, extended reactive power capability has to be considered already in an early stage of generator design. Regarding the DFIG WECS's capability during transient FRT events, EMT simulations indicate a satisfactory behavior with respect to the demanded k factor. It however shows drawbacks in the reactive current response time compared to the DDSG, which in turn leads to a smoother response with less overshoots. All presented strategies however do not deal with the gearbox being one of the concept's major drawbacks leading to high operational expenditures. Therefore future research should focus on machine design not only with regard to GRID CODE requirements but also on feasibility of a high-pole DFIG with potential omission of the gearbox.

V. APPENDIX

The following table contains exemplified model parameters used in the evaluations presented in this paper. Moreover the converter's PWM frequency was chosen to be $f_{\text{PWM}} = 2.7$ kHz at a DC voltage of $U_{\text{DC}} = 1.15$ kV. The 50 Hz grid for dynamic simulations is operated at $U_c = 110$ kV with a short-circuit power of $S_k'' = 2.5$ GVA.

TABLE 1

EXAMPLE SIMULATION PARAMETERS [12]

Symbol	Description	Value	Unit
Generator Data			
$S_{n,s}$	Stator nominal apparent power	2.22	MVA
$P_{n,s}$	Stator nominal active power	2.00	MW
$\cos\varphi_n$	Nominal power factor	0.90	-
$f_{n,s}$	Stator synchronous frequency	50	Hz
$U_{n,s}$	Stator nominal voltage	690	V
$I_{n,s}$	Stator nominal current	1860	A
s_{max}	Maximum slip	0.20	-
$P_{n,r}$	Rotor nominal active power	0.60	MW
$U_{n,r}$	Rotor nominal voltage	480	V
$I_{n,r}$	Rotor nominal current	620	A
p_s	Stator number of pole pair	2	-
$X_{\sigma s}$	Stator leakage reactance	37.70	m Ω
R_s	Stator resistance	22.00	m Ω
$X_{\sigma r}$	Rotor leakage reactance	15.70	m Ω
R_r	Rotor resistance	1.80	m Ω
$X_{h,s}$	Main field reactance	911.11	m Ω

References

1. VDE-AR-N 4120:2018-11, Technische Anschlussregeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung). Berlin: VDE Verlag, 2018, vol. 29.240.01.
2. Fraunhofer IEE, Construction of new wind power facilities by technology, Freiburg, 2019. [Online]. Available: http://windmonitor.iee.fraunhofer.de/windmonitor_de/3_Onshore/2_technik/3_antriebskonzepte/ (visited on 10/16/2020).
3. Y. Al-Assaf, P. Demokritou, and A. Poullikkas, "Grid Code Requirements for Wind Power Integration in Europe," in Power Options for the Eastern Mediterranean Region, Hindawi, Mar. 2013.
4. J. Mohammadi, S. Afsharnia, E. Ebrahimzadeh, and F. Blaabjerg, "An Enhanced LVRT Scheme for DFIG-based WECSs under Both Balanced and Unbalanced Grid Voltage Sags," Electric Power Components and Systems, vol. 45, no. 11, pp. 1242–1252, Jul. 2017, ISSN: 1532-5016.
5. S. Mensou, A. Essadki, T. Nasser, and B. B. Idrissi, "A direct power control of a DFIG based-WECS during symmetrical voltage dips," Protection

and Control of Modern Power Systems, vol. 5, no. 5, Jan. 2020, ISSN: 2367-0983.

6. E. Abulanwar, Z. Chen, and F. Iov, “Enhanced LVRT control strategy for DFIG-based WECS in weak grid,” in International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), IEEE, Ed., Piscataway, NJ: IEEE, 2013, pp. 476–481, ISBN: 978-1-4799-1464-7.

7. R. Teodorescu, M. Liserre, and P. Rodríguez, Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems. WILEY, Feb. 1, 2011, ISBN: 978-0-470-05751-3.

8. P. Zhan, W. Lin, J. Wen, M. Yao, and N. Li, “Design of LCL filters for the back-to-back converter in a Doubly Fed Induction Generator,” in IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Tianjin, China, Sep. 2012, pp. 1–6.

9. S. Engelhardt, I. Erlich, C. Feltes, J. Kretschmann, and F. She-warega, “Reactive Power Capability of Wind Turbines Based on Doubly Fed Induction Generators,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 26, no. 1, pp. 364–372, 2011.

10. H. Pulgar-Painemal, “Enforcement of Current Limits in DFIG-Based Wind Turbine Dynamic Models Through Capability Curve,” IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 10, no. 1, pp. 318–320, 2019.

11. W. R. LePage and S. Seely, General Network Analysis. New York: McGraw-Hill, 1952.

12. M. Luo, Multi-Physical Domain Modeling of a DFIG Wind Turbine System using PLECS: Application Example, Zurich, Switzerland, 2014.

13. D. Xie, Z. Xu, L. Yang, J. Ostergaard, Y. Xue, and K. P. Wong, “A Comprehensive LVRT Control Strategy for DFIG Wind Turbines With Enhanced Reactive Power Support,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 3, pp. 3302–3310, 2013.

14. A. S. Trevisan, A. A. El-Deib, R. Gagnon, J. Mahseredjian, and M. Fecteau, “Field Validated Generic EMT-Type Model of a Full Converter Wind Turbine Based on a Gearless Externally Excited Synchronous Generator,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 33, no. 5, pp. 2284–2293, Oct. 2018.

*Presented by Helmut
Schmidt University*

УДК 620.91

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА МОДЕРНИЗАЦИИ КОТЕЛЬНЫХ
В МИНИ ТЭЦ****Ю.М. Бобожанов, Т.Ш. Алибекова, И.И. Бахадиров,
А.Д. Исмандияров**

Мақолада мавжуд қозонхоналарни кичик иссиқлик электр марказларига (мини ИЭМ) модернизация қилиш жараёни таҳлили келтирилган. Таҳлил қилишда Исикава диаграммасини қуришга асосланган усул қўлланилган. Профессор Исикава томонидан таклиф қилинган схемада ишлаб чиқариш жараёнлари сифатини ошириш бўйича ишлар аниқ кўрсатилган. Бу, аксарият сифатли воситалар сингари, маълум бир муаммони тушунтириш ва якуний таххислашни мунтазам равишда осонлаштирадиган билимларни тасаввур қилиш ва тартибга солиш воситасидир. Бундай диаграмма турли омиллар ўртасидаги асосий муносабатларни аниқлашга ва ўрганилаётган жараённи аниқроқ тушунишга имкон беради. Диаграмма кўриб чиқилаётган муаммонинг ривожланишига энг катта таъсир кўрсатадиган асосий омилларни аниқлашга, шунингдек ушбу омилларнинг таъсирини олдини олишга ёки уларни йўқ қилишга ёрдам беради. Асосий муаммо барча мумкин бўлган таъсирларни қамраб оладиган учтадан олтигача бўлган асосий тоифаларга эга бўлишидир. Дарҳақиқат, бундай дарахтнинг максимал чуқурлиги тўрт ёки беши поғонага етади. Бундай шаклланган диаграмма тугаллангандан сўнг, у муайян муаммонинг барча мумкин бўлган сабаблари ҳақида жуда тўлиқмаълумотни акс эттиради. Диаграммани қуриш услуги, унинг имкониятлари ва афзалликлари келтирилган. Исикава диаграммаси мумкин бўлган омилларнинг таъсирини кўриш ва уларнинг таъсири аниқ оқибатларни келтириб чиқарадиган ва бошқаларидан энг муҳим сабабларни таъкидлаш учун аналитик восита сифатида ишлатилади. Биринчи бор икки поғонали Исикава диаграммаси қурилган ва қозонхоналарни мини ИЭМ га модернизациялашга ухшаган муаммоларни ечишдаги тараққиёти, уни бажарилишини кўрсатувчи ва очиб берувчи асосий босқичлари кўрсатилган.

In paper the analysis of process of modernization of existing boiler-houses in small Thermal Power Centre (mini-TPC) is presented. For the analysis the method based on construction of the diagram of Isikawa is used. The scheme proposed by Professor Ishikawa clearly shows the work to improve the quality of production processes. It, like most quality tools, is a means of visualizing and organizing knowledge, which in a systematic way facilitates the understanding and final diagnosis of a specific problem. Such a diagram al-

allows you to identify the key relationships between various factors and more accurately understand the process under study. The diagram helps to determine the main factors that have the most significant influence on the development of the problem under consideration, as well as to prevent or eliminate the action of these factors. The key challenge is to have three to six main categories that cover all possible influences. In fact, the maximum depth of such a tree reaches four or five levels. When such a generated diagram is complete, it reproduces a fairly complete picture of all the possible root causes of a particular problem. Describes the methodology for constructing a diagram, its capabilities and advantages. The Ishikawa diagram is used as an analytical tool for viewing the action of possible factors and highlighting the most important causes, the action of which generates specific consequences and is manageable. For the first time the double-level diagram of Isikava is built and its perceptivity is shown at the solution of such problems, as a problem of modernization of boiler-houses in mini-TPC, showing and opening basic stages of its performance.

В статье описывается анализ процесса модернизации существующих котельных в малые тепловые электрические централи (мини-ТЭЦ). Для анализа используется метод, основанный на построении диаграммы Исикавы. Предложенная профессором Исикавой схема ясно показывает работу над улучшением качества производственных процессов. Она, как и большинство инструментов качества, является средством визуализации и организации знаний, которое систематическим образом облегчает понимание и конечную диагностику определённой проблемы. Такая диаграмма позволяет выявить ключевые взаимосвязи между различными факторами и более точно понять исследуемый процесс. Диаграмма способствует определению главных факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на развитие рассматриваемой проблемы, а также предупреждению или устранению действия данных факторов. Ключевая задача заключается в том, чтобы иметь от трёх до шести основных категорий, которые охватывают все возможные влияния. Фактически максимальная глубина такого дерева достигает четырёх или пяти уровней. Когда такая создаваемая диаграмма является полной, она воспроизводит достаточно полную картину всех возможных основных причин определённой проблемы. Описывается методика построения диаграммы, его возможности и преимущества. Диаграмма Исикавы используется как аналитический инструмент для просмотра действия возможных факторов и выделения наиболее важных причин, действие которых порождает конкретные следствия и поддается управлению. Впервые построена двухуровневая диаграмма Исикавы и показана её перспективность при решении таких проблем, как задача модернизации котельных в

мини-ТЭЦ, показывающая и раскрывающая основные этапы её выполнения.

Основной фонд котельных в нашей стране был введён в эксплуатацию более 30-40 лет назад. Это солидный возраст для таких энергетических установок, поэтому оборудование большинства котельных имеет физический и моральный износ. Модернизация котельных - это актуальная задача на сегодняшний день [1-5]. При этом существует множество аргументов в защиту выбора для модернизации когенерационных технологий. Когенераторы - мини-теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) обладают замечательными особенностями: дешёвой электро- и теплоэнергии, близостью к потребителю, отсутствием необходимости в длинных линиях электропередачи (ЛЭП) и подстанциях, экологической безопасностью, мобильностью, лёгкостью монтажа и многими другими факторами [4-6].

Из вышеуказанного очевидно, что модернизация любой котельной в мини-ТЭЦ является процессом, которую можно представить в виде проблемы, имеющей причинно-следственный характер. Исследование и анализ особенностей этого процесса можно осуществить различными способами, например, при помощи используемой в мире для таких целей «диаграммы Исикавы» [3].

Диаграмма Исикавы (название по имени его автора, японского ученого) - графический способ [исследования](#) и определения наиболее существенных причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой ситуации или проблеме. Она, как и большинство инструментов, является средством визуализации и организации знаний, которое систематическим образом облегчает понимание и конечную диагностику определённой проблемы. Такая диаграмма позволяет выявить ключевые взаимосвязи между различными факторами и более точно понять особенности процесса. Диаграмма способствует определению главных факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на развитие рассматриваемой проблемы, а также предупреждению или устранению действия отрицательных факторов. Поэтому схема находит широкое применение при разработке различных проблем, с целью выявления значимых факторов, действие которых оказывает влияние на общий эффект. К достоинствам диаграммы Исикавы относят то, что она позволяет наглядно показать связи между полученным результатом и вызвавшими его причинами, а также провести анализ всей цепочки, воздействующих на проблему (рис.1).

Составление диаграммы Исикавы (иногда её называют «рыбьим» скелетом) проводится пошагово:

- необходимо максимально четко определить предмет изучения или проблему;



Рис.1. Общая структура диаграммы Исикавы

- записать формулировку проблемы с правой стороны (в прямоугольнике, рис.1);
- от этого прямоугольника влево нужно провести прямую горизонтальную линию;

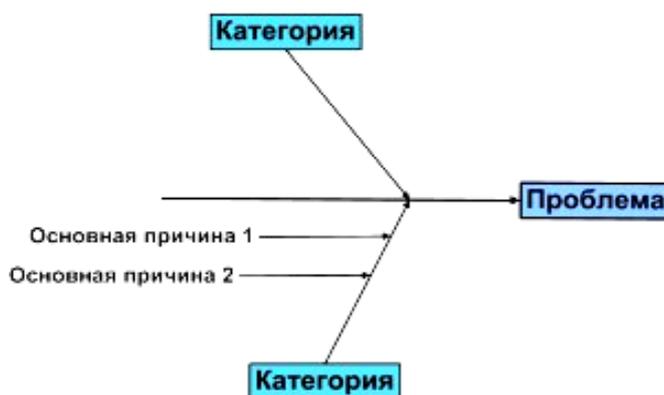


Рис.2. Процесс построения диаграммы Исикавы

- над горизонтальной линией и под ней указываются группы факторов, влияющих на результат (категории); в категориях указываются группы причин, связанных с этими категориями. Необязательно использовать в рамках одного исследования все категории сразу, но нежелательно ограничиваться одной или двумя; нужно исходить из соображений разумной достаточности; выбранные категории вписываются в прямоугольники, от которых проводятся наклонные линии к имеющейся горизонтали (рис.2).

- причины изучаемой проблемы или действующие факторы распределяются по установленным категориям и указываются на диаграмме в виде линий, примыкающих к линиям категорий;

- каждая из причин разлагается на составляющие в виде ветвей более низкого уровня (детализация причин продолжается до определения «корневых» причин);

- из числа первопричин выделяются наиболее значимые факторы, которые влияют на изучаемую проблему.

На рис.3 показан пример двухуровневой диаграммы Исикавы.

Вид диаграммы при рассмотрении поля исследуемой проблемы действительно напоминает скелет рыбы (глаза обычно движутся слева направо, как при чтении строки текста). Проблема обозначается в голове, справа от основной, горизонтальной линии. На рис. 3 отражен пример с двумя уровнями костей: наклонными линиями обозначены 1-й уровень - главные (коренные): *a, b, c, d*, а вертикальными 2-й уровень — углублённые (детализирующие) причины (факторы) исследуемого влияния на результат (среди факторов 2-го уровня являются, как те, которые усиливают действие 1-го уровня — *e, f, g, h, i, l, m, o, p*, так и те, что её ослабляют — *k, n*). Далее углубляют разделение обнаруженных факторов по их возрастающей специфичности до тех пор, пока ветви проблемы подвергаются дополнительному разделу (при этом необходимо выявлять истинные причины, а не симптомы) [7-12].

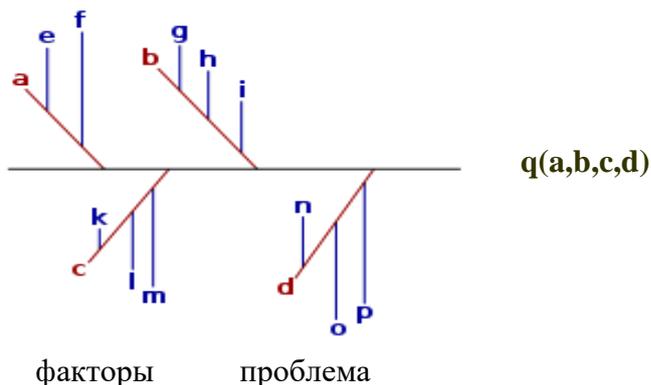


Рис.3. Пример диаграммы причинно-следственных связей с изображением двухуровневой структуры диаграммы Исикавы

Ключевая задача заключается в том, чтобы иметь от трёх до шести основных категорий (наклонных линий), которые охватывают возможные влияния. При подробном анализе максимальная глубина такого дерева достигает четырёх или пяти уровней. Когда создаваемая диаграмма является завершённой, она воспроизводит достаточно полную картину всех возможных основных компонентов определённой проблемы.

Таким образом, работу с диаграммой Исикавы можно также охарактеризовать следующими шагами [11-16]:

- выявление и сбор всех факторов и причин, каким-либо образом влияющих на исследуемый результат;
- группировка факторов по смысловым и причинно-следственным блокам;
- ранжирование этих факторов внутри каждого блока;
- анализ полученной картины;
- «освобождение» факторов, на которые мы не можем влиять;
- игнорирование малозначимых и непринципиальных факторов.

Обычными предпосылками к модернизации котельных в мини-ТЭЦ являются:

- высокая степень износа оборудования;
 - схема работы котельной по «открытому» циклу;
 - нарушения температурных графиков подачи тепла;
 - высокая себестоимость выработки тепла;
 - отсутствие финансовых возможностей для строительства новой ТЭЦ;
 - высокая эффективность когенерационного цикла (одновременная выработка электрической и тепловой энергии) по сравнению с теплофикационным;
 - повышение надежности электроснабжения района;
 - уменьшение потерь электрической энергии в распределительных сетях;
- и другие, такие как низкий КПД, изношенные сети, моральное устаревание оборудования и пр.

Применим этот метод и построим диаграмму Исикавы для решения задачи модернизации котельной в мини-ТЭЦ.

Устаревшее оборудование, перебои в подаче тепла, высокая аварийность и ужесточение экологических норм по вредным выбросам в атмосферу являются основными причинами модернизации. Техническое переоснащение котельных требует значительных капитальных вложений, но эти вложения быстро окупаются [17-20].

Непосредственно процесс модернизации производится в несколько этапов, включающих в себя следующие основные мероприятия:

- проектирование;
- выбор оборудования;
- демонтажные работы;
- доставка и монтаж оборудования;
- пусконаладочные работы и сдача объекта.

При проведении модернизации особое внимание уделяется выбору основного энергетического оборудования. Именно от них в первую очередь зависит эффективная и бесперебойная работа всей системы энергоснабжения.

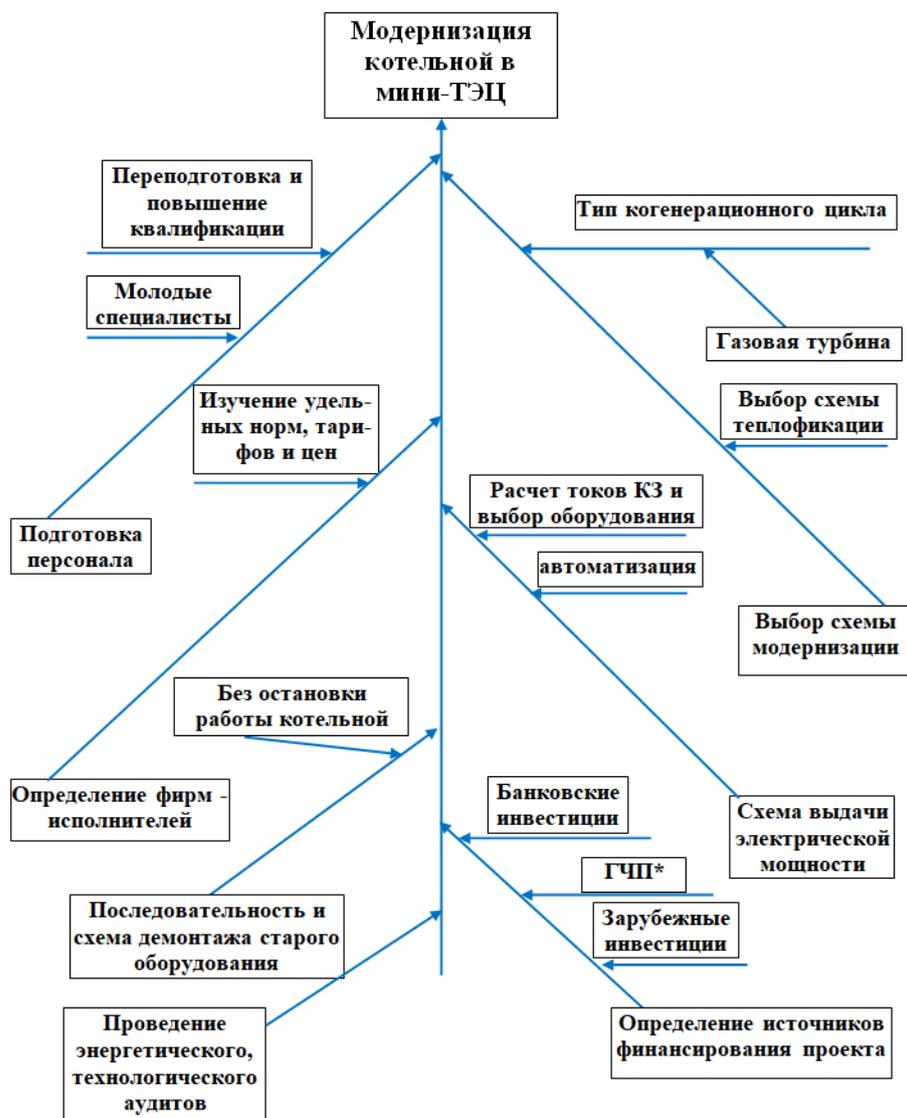


Рис.4. Пример диаграммы Исикавы для решения общей задачи модернизации котельной в мини-ТЭЦ; (*ГЧП – государственно-частное партнерство)

Модернизация котельной в мини-ТЭЦ подразумевает также замену и создание основных систем: топливоподдачи; водоподготовки; электроснабжения; схемы выдачи электроэнергии; автоматики и безопасности; и других.

При принятии решения о модернизации котельной проводится комплекс мероприятий, призванных оценить глубину модернизации и масштабы предстоящих работ (рис.4), в том числе:

- энергетическое, техническое и экологическое обследование всего оборудования котельной;
- анализ существующих тепловых и электрических нагрузок;
- оценка возможных перспективных нагрузок и создание необходимого резерва мощности;
- расчет экономической эффективности проведения модернизации.

Таким образом, использование диаграммы Исикавы для анализа проблем модернизации котельных в мини-ТЭЦ позволит развить и реализовать общую концепцию решения технико-экономических вопросов их модернизации.

Вывод:

В республике имеется значительное количество старых котельных, как промышленных, так и отопительных, требующих модернизации. Поэтому в масштабах республики их реконструкция в мини-ТЭЦ даст большой эффект: повысит КПД, обеспечит надёжность работы оборудования и энергоснабжения, создаст оптимальные режимы работы; при этом уменьшатся потери электроэнергии с сетей, сократятся топливные и эксплуатационные расходы, значительно снизятся выбросы вредных веществ в атмосферу.

Литература

1. Постановление Президента РУз от 05.05.2015 г. N ПП-2343 «О программе мер по сокращению энергоёмкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы».
2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Ташкент: Фан ва технология. 2009. –463 с.
3. Исикава К. Японские методы управления качеством / Сокр.пер. с англ. / Под. ред. А. В. Гличева. — М: Экономика, 1988. — 214 с.
4. Березинец П.А. Обоснование целесообразности реконструкции котельных и ТЭЦ с использованием газотурбинных установок. //Новости теплоснабжения, 2013. №5.
5. Федюкин, В. К. Управление качеством процессов / -СПб.: Питер, 2015. - 202 с.
6. Дыскин Л.М. Обоснование, разработка и повышение эффективности систем осушки и кондиционирования воздуха с использованием вихревых труб: автореф. дисс. д.т.н.; 05.04.03 / Дыскин Лев Матвеевич. – Л.: – 1990. – 36 стр.
7. Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.
8. Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.

9. Свиткин, М.З., Мацута, В.Д., Рахлин, К.М. Менеджмент качества и обеспечение качества продукции на основе международных стандартов ИСО. – СПб.: Изд-во СПб картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 403 с.
10. Фокс, М.Дж. Введение в обеспечение качества: Модуль RRC № 415 d; пер. с англ. под общей ред. проф. В.Н. Азарова – М.: Фонд «Европейский центр по качеству», 1999. – 108 с.
11. Ловцы потерь: Карманный справочник по качеству и производительности; пер. с англ. / Lawrence Hornor, Curtis King – Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 1998. – 108 с.
12. Фокс, М.Дж. Принципы и методы всеобщего руководства качеством. Модуль RRC № 416 с; пер. с англ. под общей ред. проф. В.Н. Азарова – М.: Фонд «Европейский центр по качеству». 1999. – 142 с.
13. Адлер, Ю.П., Полховская, Т.М., Нестеренко, П.А. Управление качеством (Часть 1. Семь простых методов): учебное пособие. – М.: Стандарты и качество, 2001. – 170 с.
14. ИСО 9004-4:1993. Административное управление качеством и элементы системы качества. Часть 4: Руководящие указания по улучшению качества / Системы качества. Международные стандарты ИСО серии 9000: В трех томах. - Том 2. - М., 1997. - С. 2-3-1-2-3-35.
15. Balestracci Davis. Data «Sanity»: Statistical Thinking Applied to Everyday Data // <https://deming.ces.clemson.edu/pub/den/data-sanity.pdf>.
16. Статистические методы повышения качества; под ред. Хитоси Кумэ; пер. с англ. и дополнение Ю.П. Адлера, Л.А. Конаревой – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
17. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, – 1978. – 264 стр.
18. Богословский В.Н. Строительная физика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высшая школа, 1982. – 415 стр.
19. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение при кондиционировании микроклимата гражданских зданий: автореф. дисс. д.т.н.; 05.23.03 / Кувшинов Юрий Яковлевич. – М.: - 1989. – 38 стр.
20. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: изд-во «Высшая школа», 1971. – 460 стр.

*Представлено Каракалпакским государственным университетом и
Ташкентским государственным техническим университетом*

УДК 691.316

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ****А.Д. Таслимов**

Кабель кесим юзалари сонини шакллантириши қонуниятларини оптимизацион тахлили бошқа параметрлар билан бирга барча таъсир этувчи чегараланишларни ҳисобга олган ҳолда амалга оширилиши лозим. Бу эса кабеллар кесим юзаларининг чуқур чегараланган сонини иқтисодий томондан мақсадга мувофиқлигини аниқлаш имконини ва оптималлаштириши масаласида унификацияни ҳисобга олиб кўпмеъзонли баҳолашни қўлаш зарурлигини асослаб беради. Ўрганишлар шаҳар тақсимловчи электр тармоқларининг(ТЭТ) топологик модели ва таъминот манбасидан таъминланаётган 10 кВли шаҳар тақсимловчи электр тармоқлари участкаларининг комплекс техник-иқтисодий модели асосида амалга оширилган. Комплекс техник-иқтисодий модел кабеллар нархи(уларни ишлаб чиқаришига сарфланган харажатларни ҳисобга олиб) ва уларни йиғиши ва қуриши учун солиштирма харажатлар асосида, ҳамда геометрик прогрессия тамойили бўйича ўзгармас қадам билан қурилган стандарт кесим юзалари қаторини қўлаш билан шакллантирилган. Моделни шакллантиришида анъанавий тахминлар: шаҳар турар-жой худудлари майдони бўйича электр юкламалар зичлигини ўзгармаслиги ва таъминот манбасидан чиқувчи 10 кВли линиялар бош участкалари кесим юзаларининг бир хиллиги қабул қилинган. Унификация параметрини ТЭТнинг бошқа параметрлари билан бирга чегараланишларни ҳисобга олиб оптималлаштириши учун меъзонли тахлил усули қўлланилган. Бу эса вариантларни ҳисобламай оптимал параметрларни аниқлаш имконини берган. Меъзонли тахлил усули ердамида оптималлаштирилатган, унификациялаштирилатган параметрлар ва харажатларнинг иқтисодий мақсадга мувофиқ қийматлари аниқланади, комплекс техник-иқтисодий моделнинг турғунлиги ва оптимал параметрларни бирламчи маълумотлар ўзгаришига сезгирлиги тахлили амалга оширилади, олинган параметрларни 10 кВли ТЭТ учун қўлаш бўйича тавсиялар(шаҳар ТЭТларини электр юкламалар зичлиги $\sigma \geq 10$ мВА/км² бўлганда бир еки икки стандарт кесим юзали кабеллар билан юкламалар зичлиги $\sigma < 10$ мВА/км² бўлганда эса 2-3 стандарт кесим юзалари билан қуриши оптимал ҳисобланади) берилади. Техник-иқтисодий функциянинг кабел кесим юзалари сонига барқарорлиги 10 кВли шаҳар ТЭТ кабелли кесим юзаларини чуқур унификациялаш мумкинлигини кўрсатади.

Оптимизационный анализ закономерностей формирования количества применяемых сечений кабелей должен проводиться в комплексе с иными параметрами и учетом всех влияющих ограничений, что позволяет выявить экономическую целесообразность применения ограниченного числа применяемых сечений кабелей и подтверждает необходимость применения многокритериальной оценки в задаче оптимизации с учетом унификации. Изучение проводилось на основе топологических моделей городских распределительных электрических сетей (РЭС) и комплексной технико-экономической модели участков городских распределительных электрических сетей 10 кВ, питающихся от источника питания. Комплексная технико-экономическая модель формировалась на основе стоимости кабелей (с учетом стоимости производства кабелей) и удельных расходов на электромонтажные и строительные работы, а также с использованием ряда стандартных сечений, построенного с постоянным шагом по принципу геометрической прогрессии. При формировании модели принимались традиционные допущения о неизменной плотности электрических нагрузок по площади рассматриваемых участков жилых районов города и одинаковых сечениях головных участков всех линий 10 кВ, отходящих от источника питания. Для оптимизации параметра унификации в комплексе с другими параметрами РЭС и с учетом ограничений использован метод артериального анализа, позволяющий выявить оптимальные параметры сети, не прибегая к вариантному расчету. С помощью метода критериального анализа определяются экономически целесообразные значения оптимизируемых и унифицируемых параметров и затрат, проводится анализ устойчивости комплексной технико-экономической модели, чувствительности параметров к изменению исходных данных (к анализу влияния погрешностей исходных данных) и даются рекомендации по использованию полученных оптимальных параметров для распределительных электрических сетей 10 кВ (построение городских распределительных электрических сетей при плотности электрической нагрузки $\sigma \geq 10$ мВА/км² экономически целесообразно применение одного-двух стандартных сечений кабелей, а при плотностях нагрузки $\sigma < 10$ мВА/км² оптимальным является применение 2÷3 стандартных сечений кабелей). Значительная устойчивость технико-экономической функции к параметру числа применяемых сечений кабелей показывает возможность глубокой унификации сечений кабелей городских распределительных сетей 10 кВ.

In the article, an optimization analysis of the regularities was carried out to form the number of cable sections used in combination with other parameters, taking into account all the influencing constraints, which revealed the economic feasibility of applying a deeply limited number of cable cross-sections and confirmed the need for multi-criteria evaluation in the optimiza-

tion problem taking into account unification. The study was carried out on the basis of topological models of city distribution electric grids and a complex technical and economic model of sections of urban electrical distribution networks up to 10кV, powered by transformer substations. The complex technical and economic model was formed on the basis of the cost of cables (taking into account the cost of their production) and unit costs for electrical and construction work, as well as using a number of standard sections built with a constant step on the principle of geometric progression. During the formation of the model, traditional assumptions were made about the constant density of electric loads in the area of the considered sections of residential areas of the city and the same sections of the head sections of all lines up to 10кV, which depart from the bus-transformer substation. To optimize the unification parameter in combination with other parameters of the RS and taking into account the limitations, the criteria analysis method is used, which makes it possible to identify optimal network parameters without resorting to a variant calculation. With the help of the method of criteria analysis, economically expedient values of optimized and unified parameters and costs are determined, the stability analysis of the complex technical and economic model, the sensitivity of the optimal parameters to the change in the initial data (to the analysis of the influence of the errors of the initial data), and recommendations for using the obtained optimal parameters for distributive electric networks up to 10 кV (construction of city distribution electric networks at density of el (5) MW / km² is economically feasible with a uniform (unified) cable cross-section, and with load densities of $\sigma < 10$ MW / km², the use of 2 ÷ 3 cable sections is optimal). A significant stability of the technical and economic function to the parameter of the number of cable sections used shows the possibilities of deep unification of the cross-sections of cables of urban distribution networks up to 10 кV.

Развитие электропотребления в городах и систем их электроснабжения объясняет необходимость повышенного внимания к принципам оптимального построения распределительных электрических сетей городов, влияние этих принципов на общий подход к построению систем электроснабжения городов [1]. Распределительные электрические сети в городах составляют существенную часть их общей системы электроснабжения городов. Высокие темпы развития РЭС обусловлены ростом электрических нагрузок и появлением новых потребителей электроэнергии, определяют значительные затраты финансовых и материальных ресурсов на их монтаж и эксплуатацию. При этом не менее 2/3 затрат расходуется на РЭС 0,4-10 кВ. Как показывают проектные разработки, эти затраты и в перспективе останутся весьма высокими и поэтому проблема экономичности целесообразного построения этих сетей представляется весьма актуальной. В этих условиях особенно важным становится

комплексный подход к планированию оптимального развития и проектированию РЭС, учитывающий, с одной стороны, требования комплексного и полного решения задач проектирования и выбора совокупности параметров РЭС, а с другой стороны - возможность типизации и унификации сооружаемых линий и подстанций для обеспечения индустриализации строительства, монтажа и эксплуатации.

Необходимость комплексной оптимизации параметров распределительных сетей определяется тем, что все параметры функционально и технико-экономически взаимосвязаны между собой режимами передачи и распределения электроэнергии и технико-экономическая модель должна отражать данные связи. Анализ какого-либо одного параметра РЭС является односторонним и может представлять интерес лишь в специальных случаях [2,3,4,5,6].

Оптимизация параметров унификации в комплексе с иными параметрами РЭС и учет комплекса ограничений требует для решения поставленной задачи применения метода математического программирования и ЭВМ. Таким методом является метод критериального анализа или программирования [6,7,8,9], позволяющий решить комплекс задач оптимизации и унификации. При этом методе анализ параметров (в том числе параметров унификации) РЭС выполняется в виде комплексной оптимизации параметров, исходя из глобального минимума технико-экономической функции. Применение этого метода анализа дает возможность выявить оптимальные параметры сети, не прибегая к вариантному расчету. Другим важным достоинством метода критериального анализа является то, что некоторые задачи количественного анализа (например, устойчивости технико-экономической функции к параметрам, чувствительности оптимальных решений к исходным данным) решаются не зная численных значений исходных данных. Кроме того, данный метод позволяет осуществить многопараметрическую оптимизацию с учетом комплекса ограничений, для чего в работе используется программа оптимизации нелинейных функций с нелинейными ограничениями методом критериального программирования [10,11,12].

Рассматриваемую задачу можно решить не построением комплексной технико-экономической модели РЭС, а рассмотрением различных вариантов исполнения сети при различных значениях комплекса параметров. Но данный путь является весьма трудоемким и не обеспечивает достоверность результатов. В то же время, базируясь на определенных допущениях можно математически описать технико-экономическую модель сети, что дает возможность решения задачи в общем виде на основе идеализированных построений. При этом технико-экономические модели будут формироваться на основе оптовых цен на силовые кабели 10 кВ, удельных расходов на электромонтажные и строительные работы. Также используется топологическая модель участков сетей 10 кВ (рис.1),

питающихся от источника питания (ИП), и ряд сечений кабелей, построенный с постоянным шагом по принципу геометрической прогрессии. При формировании моделей принимались традиционные допущения о неизменной плотности электрической нагрузки по площади жилого района, одинаковых сечений головных участков линий 10 кВ, отходящих от ИП [13,14,15].

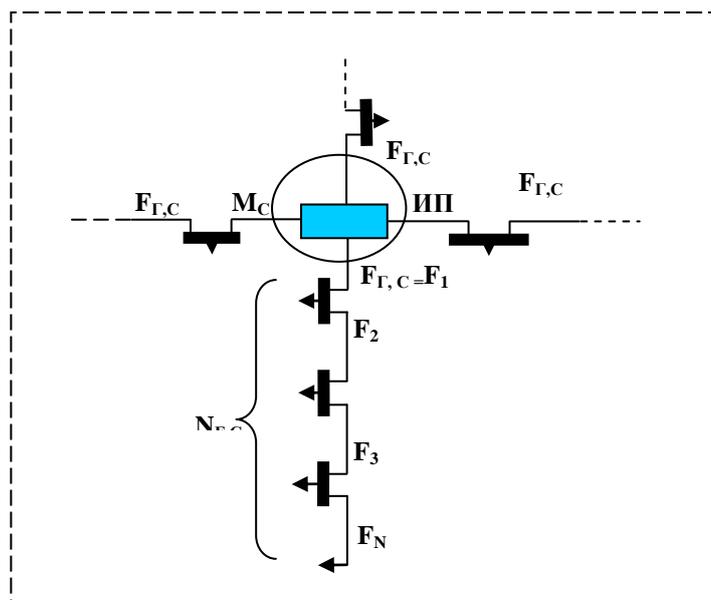


Рис. 1. Топологическая модель участков РЭС 10кВ в пределах одного ИП

С учётом технико-экономических моделей суммарных капитальных затрат (стоимости кабелей, электромонтажных и строительных работ), затрат на эксплуатацию и стоимости потерь электроэнергии получена комплексная технико-экономическая модель затрат на РЭС 10 кВ в пределах одного ИП [7,11]:

$$Z_C = Z_{C(1)} \sigma^{-0,5} S_{ТП(y)}^{-0,25} S_{ИП}^{0,75} M_C^{0,5} + Z_{C(2)} \sigma^{-0,5} S_{ТП(y)}^{0,31} S_{ИП}^{0,19} M_C^{1,06} F_{Г,С} + Z_{C(3)} \sigma^{-0,5} S_{ТП(y)}^{-0,88} S_{ИП}^{1,38} M_C^{-0,13} F_{Г,С} N_{F,C}^{-1} + Z_{C(4)} \sigma^{-0,5} S_{ТП(y)}^{0,04} S_{ИП}^{2,46} M_C^{-1,21} F_{Г,С}^{-1} N_{F,C}^{0,3}, \quad (1)$$

где $Z_{C(i)}$ – исходные данные; $N_{F,C}$ – количество стандартных сечений кабелей; $F_{Г,С}$ – сечения головных участков кабельных линий 10 кВ, мм²; M_C – количество линий, отходящих от одного ИП; $S_{ИП}$ – мощность ИП, мВА; $S_{ТП(y)}$ – установленная мощность трансформаторов, кВА; σ – плотность электрической нагрузки, отнесенная к шинам ИП, мВА/км².

В качестве комплексно-оптимизируемых параметров приняты: число линий отходящих от ИП (M_C), сечение головного участка линий 10 кВ ($F_{Г,С}$) и количество применяемых сечений кабелей 10 кВ ($N_{F,C}$), по которым в модели (1) образованы «конкурирующие эффекты».

Так как, полученная модель является канонической и матрица размерностей функции (1) имеет небольшой порядок, то решение основных задач технико-экономического анализа (в частности, унификации сечений жил кабелей) осуществляется с помощью классического аппарата метода критериального анализа [16,17,18].

С помощью метода критериального анализа произведена оптимизация модели(1) и получены формулы, позволяющие определять экономические значения оптимизируемых параметров и затрат для РЭС 10 кВ:

$$N_{F,C}^{\text{Э}} = 1,405 \cdot Z_{C(1)}^{1,58} \cdot Z_{C(2)}^{-1,553} \cdot Z_{C(3)}^{0,763} \cdot Z_{C(4)}^{-0,79} \cdot S_{ТП(Y)}^{-1,579}, \quad (2)$$

$$F_{Г,C}^{\text{Э}} = 0,544 \cdot Z_{C(1)}^{1,743} \cdot Z_{C(2)}^{-1,261} \cdot Z_{C(3)}^{-0,112} \cdot Z_{C(4)}^{-0,372} \cdot S_{ТП(Y)}^{-0,742}, \quad (3)$$

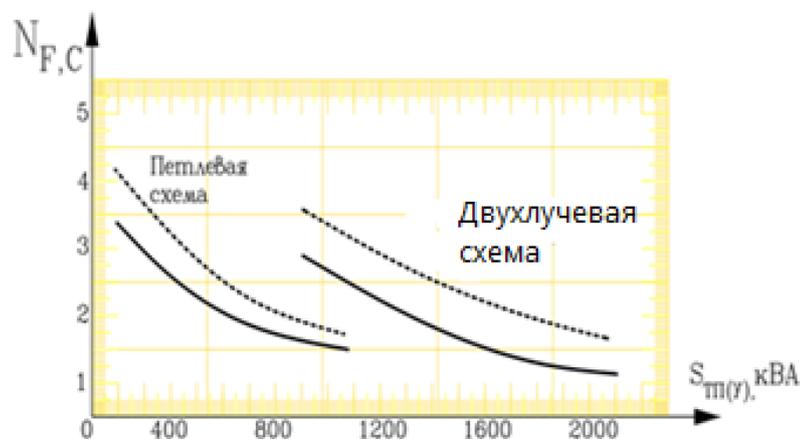
$$M_C^{\text{Э}} = 1,529 \cdot Z_{C(1)}^{-1,327} \cdot Z_{C(2)}^{0,465} \cdot Z_{C(3)}^{0,2} \cdot Z_{C(4)}^{0,664} \cdot S_{ИП} \cdot S_{ТП(Y)}^{0,327}, \quad (4)$$

Здесь $Z_{C(1)}$, $Z_{C(2)}$, $Z_{C(3)}$, $Z_{C(4)}$ – обобщенные коэффициенты РЭС 10 кВ, включающие в себя исходную информацию.

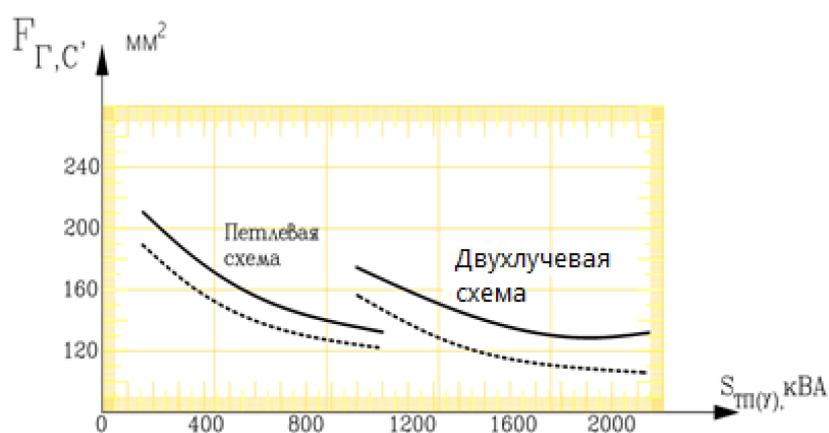
Выражения (2) – (4) позволяют при известных исходных данных определять экономические значения основных параметров и затрат РЭС 10 кВ. При принятых исходных данных, определенных по (2) – (4), экономические значения параметров $N_{F,C}$, $F_{Г,C}$, M_C , в зависимости от мощности трансформаторов для разных видов схем, показаны на рис. 2а,б,в.

Анализ полученных результатов приводит к выводу о том, что построение распределительных сетей 10 кВ, при больших плотностях электрической нагрузки ($\sigma < 10$ мВА/км²) и мощности ТП ($S_{ТП(Y)} = 400-1200$ кВА) целесообразно применение двух-четырёх типов стандартных сечений, а при $\sigma > 10$ мВА/км² и $S_{ТП(Y)} = 1200-2000$ кВА целесообразно - двух-трех типов стандартных сечений кабелей. Рекомендованные значения стандартных сечений составляют: 185 или 150 мм². При этом распределительные сети 10 кВ выполняются с различными значениями экономически целесообразного числа отходящих от ИП линий M_C (рис. 2в).

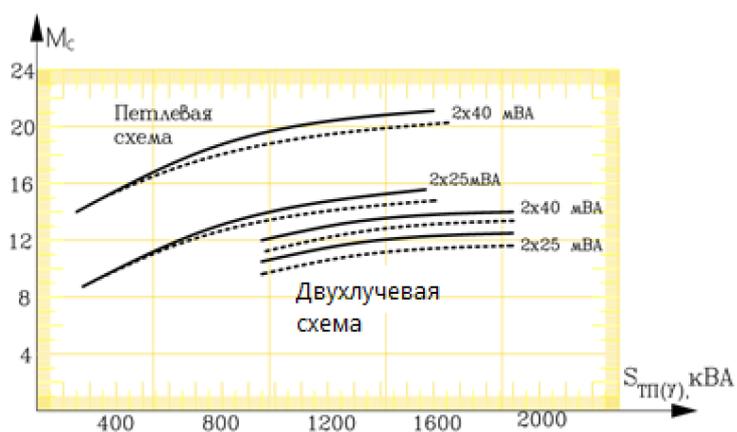
Полученные экономические параметры РЭС 10 кВ могут не удовлетворять основным техническим ограничениям выполнения распределительных электрических сетей. Для РЭС 10 кВ такими являются ограничения по нагреву током послеаварийного режима и по допустимой потере напряжения. При больших плотностях электрической нагрузки ($\sigma > 10$ мВА/км²) теоретические экономические значения количества применяемых сечений кабелей 10кВ могут оказаться меньше единицы, что не имеет смысла.



а)



б)



в)

Рис. 2. Значения количество применяемых сечений(а), сечения головных участков(б) и числа отходящих от ИП линии(в) РС 10кВ(- - - - без учета ограничений, ___ - с учетом ограничений)

Поэтому, кроме технических ограничений, дополнительно рассматривается ограничение $N_{F,C} \geq 1$. Для решения приведенных систем уравнений использована специальная программа на ЭВМ, разработанная для решения задач оптимизации нелинейной целевой функции с нелинейными ограничениями методом критериального программирования [18].

Особенность данной программы состоит в том, что она предварительно осуществляет проверку активности рассматриваемых ограничений, поскольку наличие неактивных ограничений приводит к изменению оптимизируемых параметров.

Влияние тех или иных активных ограничений на экономические значения параметров $N_{F,C}$, $F_{Г,C}$ и M_C показаны на рис. 2а,б,в.

Результаты оптимизации показали, что в данной задаче ограничение по нагреву кабелей РЭС 10 кВ практически во всех рассматриваемых случаях активно, а ограничение по допустимой потере напряжения в РЭС 10 кВ активно при небольших плотностях электрической нагрузки ($\sigma < 10$ мВА/км²). Для петлевых схем сетей, при небольших плотностях нагрузки, условие допустимости потери напряжения является более сильным, чем условие ограничения по нагреву жил кабелей. При этом, экономические значения $F_{Г,C}$ близки к значениям, допустимым по нагреву жил кабелей 10 кВ в послеаварийном режиме. Дополнительное ограничение активно при больших плотностях нагрузки ($\sigma > 10$ мВА/км²). При этом, условия выполняется не за счет увеличения $F_{Г,C}$, как это принято в практическом проектировании (увеличение сечения при недопустимости нагрева), а за счет увеличения числа отходящих от ИП линий 10 кВ. при этом значение $F_{Г,C}$ несколько снижается по сравнению со значением, полученным без учета ограничения по нагреву. Это в свою очередь приводит к уменьшению значения $N_{F,C}$, особенно это заметно при небольших плотностях нагрузки $\sigma < 10$ мВА/км² (рис. 2а,б,в). Можно предположить, что выполнение условия допустимости нагрева в послеаварийном режиме автоматически обеспечивает допустимость потери напряжения в этих сетях.

Таким образом в РЭС 10 кВ при $\sigma < 10$ мВА/км² и $S_{ТП(\sigma)} = 400-1200$ кВА целесообразно применение двух-трех типов стандартных сечений, а при $\sigma > 10$ мВА/км² и $S_{ТП(\sigma)} = 1200-2000$ кВА целесообразно – одного-двух типов стандартных сечений кабелей. Рекомендованные значения стандартных сечений составляют: для линий 10 кВ - 185 или 150 мм².

Необходимо указать, что полученные результаты являются промежуточными, так как они получены без учета устойчивости и зоны равноэкономичности технико-экономической функции. Исследование устойчивости технико-экономической (затрат) модели РЭС 10 кВ в области ее минимума предполагает анализ применимости дискретных стандартных значений экономических параметров в области равноэкономичности технико-экономической функции, необходимости или возможности применения дополнительных критериев для однозначного выбора парамет-

ров и создает предпосылки для дальнейшей унификации данных параметров. Для исследования экономической устойчивости запишем общее критериальное уравнение для сети 10 кВ следующим виде:

$$Z_i^* = \pi_{1Э} M_i^{*0,5} + \pi_{2Э} M_i^{*1,06} F_{2,i}^* + \pi_{3Э} M_i^{*-0,13} F_{2,i}^* N_{F,i}^{*-1} + \pi_{4Э} M_i^{*-1,21} F_{2,i}^* N_{F,i}^{*0,3}, \quad (5)$$

«*» - означает, что все параметры выражены в относительных единицах от их экономических значений.

где $\pi_{1Э}, \pi_{2Э}, \pi_{3Э}, \pi_{4Э}$ – критерии подобия экономических вариантов.

Критерия подобия в матричном виде определяются по формуле:

$$\pi_{Э} = (\alpha^T)^{-1} \cdot \beta,$$

$$\text{где } \alpha^T = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \cdot & \cdot & \alpha_{m1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \alpha_{n1} & \cdot & \cdot & \alpha_{mn} \\ -1 & \cdot & \cdot & -1 \end{vmatrix}; \quad \pi_{Э} = \begin{vmatrix} \pi_{1Э} \\ \cdot \\ \cdot \\ \pi_{mЭ} \end{vmatrix}; \quad \beta = \begin{vmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ -1 \end{vmatrix}.$$

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

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

$$\alpha^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 & 0,3 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0,5 & 1,06 & -0,13 & -1,21 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

При этом экономические значения критериев подобия в матричном виде составляют:

$$\begin{vmatrix} \pi_{1Э} \\ \pi_{2Э} \\ \pi_{3Э} \\ \pi_{4Э} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1,579 & -1,743 & 1,327 & -0,336 \\ 1,553 & 1,26 & -0,464 & -0,232 \\ -0,763 & 0,111 & -0,199 & -0,1 \\ 0,79 & 0,372 & -0,664 & -0,332 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,336 \\ 0,232 \\ 0,1 \\ 0,332 \end{vmatrix}.$$

Таким образом, экономические значения критериев подобия составляют:

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

С учетом значений критериев подобия критериальное уравнение принимает вид:

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

$$Z_{*i} = 0,336M_{*i}^{0,5} + 0,232M_{*i}^{1,06} F_{*Γ,i} + 0,1M_{*i}^{-0,3} F_{*Γ,i} N_{*F,i}^{-1} + 0,332M_{*i}^{-1,21} F_{*Γ,i}^{-1} N_{*F,i}^{0,3} \quad (6)$$

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

$$\text{при } M_{*i} = 1, F_{*Γ,i} = 1 \quad Z_{*i}^{N_F} = 0,568 + 0,1N_{*F,i}^{-1} + 0,332N_{*F,i}^{0,3}, \quad (7)$$

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

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

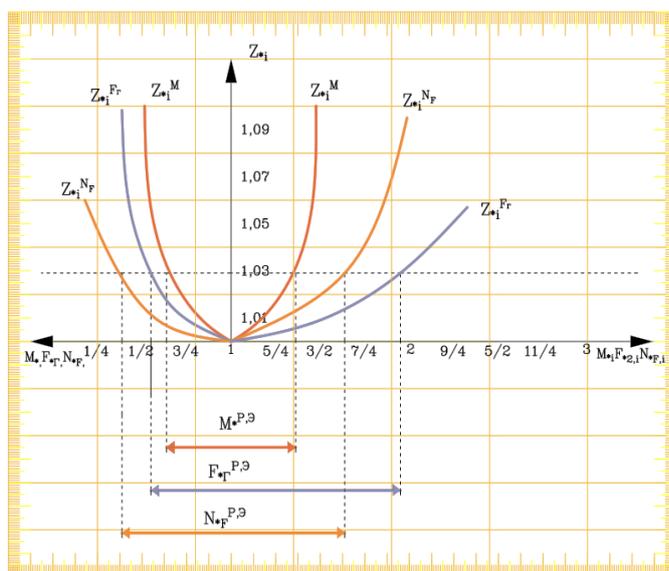


Рис.4. Исследование устойчивости функции суммарных затрат к отклонениям параметров от их экономических значений

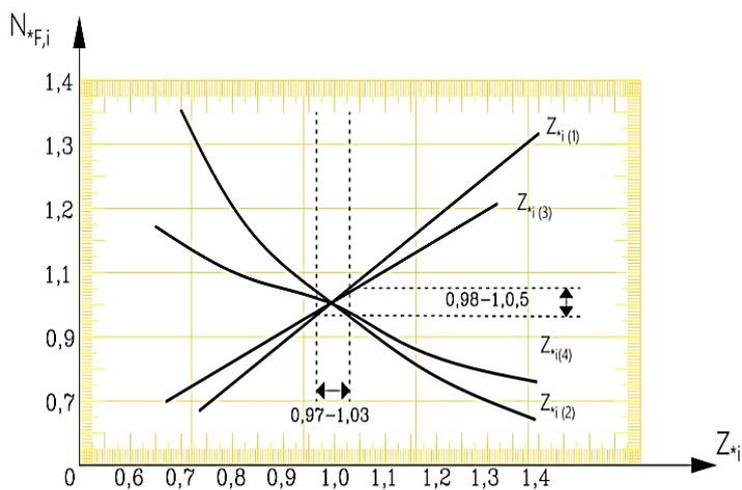
Анализ экономической устойчивости технико-экономической функции к изменениям экономических параметров выполним по зависимостям рис. 4 построенным по критериальным уравнениям (7)-(9).

Зависимости рис. 4в позволяют определить степень экономической устойчивости технико-экономической функции затрат на РЭС 10 кВ к изменениям отдельных параметров.

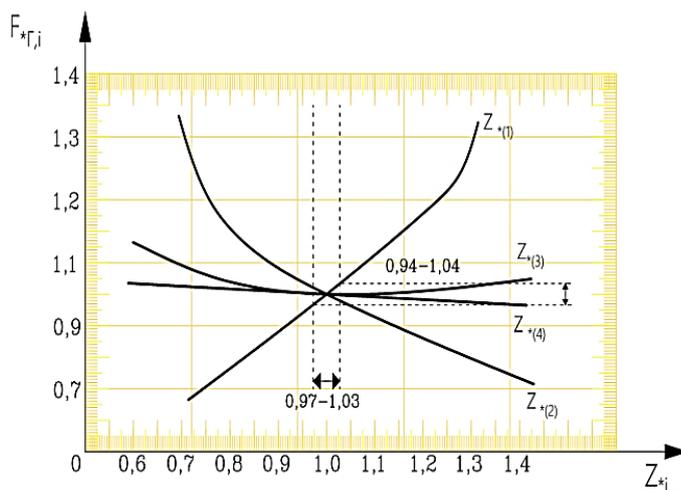
Из рис.4 следует, что технико-экономическая функция в наибольшей степени устойчива к изменениям параметров $N_{F,i}$ и $F_{Γ,i}$, и внаименьшей степени – к изменению параметра M_i . В целом параметры $N_{F,i}$ и $F_{Γ,i}$ имеют существенную область равноэкономичности; например, при

$$Z_{*i} = 1,05 : N_{*F,i}^{P,Э} = 0,37 - 1,6, F_{*Γ,i} = 0,45 - 1,9.$$

Таким образом, существенная равноэкономичная зона технико-экономической функции по параметрам $N_{F,i}$ и $F_{\Gamma,i}$, с одной стороны создает предпосылки для «глубокой» унификации сечений кабелей, с другой стороны - не позволяет однозначно выбрать данные параметры – количество и значения стандартных сечений кабелей РЭС 10 кВ. В этом случае используются дополнительные критерии для окончательного выбора данных параметров.



а)



б)

Рис. 5. Чувствительность количества применяемых сечений кабелей(а), сечения головных участков линий(б) к изменениям исходных данных

Полученные экономические значения параметров зависят как от исходных данных, так от полноты и точности технико-экономической мо-

дели. При формировании комплексной технико-экономической модели распределительных сетей 10 кВ в функции от количества применяемых сечений кабелей сделан ряд допущений и аппроксимаций, которые отразились на значениях обобщенных коэффициентов $Z_{C(i)}$. Кроме того, влияние погрешности исходных данных на параметры РЭС 10 кВ нужно уточнить для практических целей. Поэтому необходимо исследовать влияние возможных изменений исходных данных (обобщенных коэффициентов) на значения оптимизируемых параметров, то есть чувствительности экономических параметров $N_{F,i}$, $F_{Г,i}$ и M_i из (2)-(4) получим:

$$N_{* F,i} = \frac{Z_{* i(1)}^{1,58} Z_{* i(3)}^{0,763}}{Z_{* i(2)}^{1,553} Z_{* i(4)}^{0,79}}, \quad (10)$$

$$F_{* Г,i} = \frac{Z_{* i(1)}^{1,743}}{Z_{* i(2)}^{1,261} Z_{* i(3)}^{0,112} Z_{* i(4)}^{0,372}}, \quad (11)$$

$$M_{* i} = \frac{Z_{* i(2)}^{0,465} Z_{* i(3)}^{0,2} Z_{* i(4)}^{0,664}}{Z_{* i(1)}^{1,317}}, \quad (12)$$

где $i=n, c$.

Выражения (10)-(12) показывают, каким образом возможные диапазоны изменения погрешности обобщенных констант (исходные данные) влияют на экономические значения оптимизируемых параметров. По (10)-(12) построены графики чувствительности (рис. 5а,б).

Как видно из рис. 5в число отходящих линий 10 кВ M_C (от ИП) наиболее чувствительно к изменению обобщенных констант $Z_{C(1)}$, определяемых постоянной частью удельной стоимости кабельных линий 10 кВ, соответственно. С ростом $Z_{C(1)}$ экономические значения параметров M_C значительно уменьшаются [17-18].

Экономические значения сечений головных участков кабельных линий 10 кВ ($F_{Г,i}$) в наибольшей степени чувствительны к изменению обобщенных констант $Z_{i(1)}$, $Z_{i(2)}$ и наименьшей степени – к изменению констант $Z_{i(3)}$ и $Z_{i(4)}$, то есть экономическое значение параметра $F_{Г,i}$ в основном определяется стоимостными характеристиками кабельных линий (рис. 5б).

Как видно из рис. 5а, экономическое значение количества применяемых сечений кабелей 10 кВ ($N_{F,i}$) в наибольшей степени чувствительно к изменению обобщенных констант $Z_{i(1)}$ и $Z_{i(2)}$, определяемых стоимостными характеристиками кабельных линий 10 кВ. Так например, при изменении коэффициентов $Z_{i(1)}$ в пределах $0,97 \div 1,03$ экономическое значение параметра $N_{F,i}$ изменяется лишь в пределах $0,98 \div 1,05$. Поэтому возможный диапазон изменения параметра $N_{F,i}$ лежит в допустимых пределах

при широком изменении исходных данных (обобщенных коэффициентов). Влияние других обобщенных коэффициентов ($Z_{i(3)}$ и $Z_{i(4)}$) на значение параметра унификации $N_{F,i}$ незначительны (рис. 5а,б,в).

Таким образом, достоверность определения экономического значения параметра M_i в наибольшей мере зависит от погрешности постоянной составляющей характеристики стоимости кабельных линий 10 кВ, а точность определения параметров $F_{Г,i}$ и $N_{F,i}$ в наибольшей степени зависит от погрешности определения стоимостных характеристик кабельных линий.

Заключение: Оптимизация параметров с учетом унификации показывает, что построение РЭС 10 кВ при больших плотностях нагрузки экономически целесообразно с ограниченным числом сечений, а при небольших плотностях нагрузки - с менее жесткими ограничениями числа применяемых сечений. Анализом характеристик комплексной технико-экономической модели РЭС 10 кВ установлено, что достоверность определения экономического значения параметра M_i в наибольшей мере зависит от погрешности постоянной составляющей характеристики стоимости кабельных линий, а точность определения параметров $F_{Г,i}$ и $N_{F,i}$ в наибольшей степени зависит от погрешности определения стоимостных характеристик кабельных линий 10 кВ. Значительная устойчивость технико-экономической функции к параметру числа применяемых сечений создает предпосылку для дальнейшей унификации сечений (применение одного-двух стандартных сечений) кабелей РЭС 10 кВ.

Литература

1. Катренко Г.Н. Новые подходы к построению распределительных электрических сетей 0,4-35кВ. //Электрические сети и системы, 2013, №5.
2. Мирон Гринкруг, Гордин С. Оптимизация параметров городских электрических сетей. «LAP Lambert Academie Publishing», 2012.
3. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Методы теории решения в задачах оптимизации систем электроснабжения - М.: Изд-во ВИЭСХ 2006, ч.1.
4. Лещинская Т.Б. Оптимизация систем электроснабжения (в примерах и иллюстрациях).-М.: Издательство МЭИ, 2002.
5. Ершов М.С., Макерова Ю.А. К вопросу о выборе оптимального сечения кабельных линий. //Промышленная энергетика, 2012. № 9.
6. Малкин П.А Критерий экономической эффективности для выбора объектов основной электрической сети. // Энергетик, 2003, №1.
7. Таслимов А.Д. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2019. – 148 с.
8. Глазунов А.А. Системный метод оптимизации структур и параметров электроснабжения городов: Автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. -М.: 1982.

9. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (Применительно к задачам электроэнергетики). – М.: Изд-во «Либроком», 2014. – 440 с.
10. Черемисин Н.М., Черкашина В.В. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах: учебное пособие. - Харьков: Факт, 2004. - 88 с.
11. Таслимов А.Д., Товбаев А.Н., Хужанов Б.К. Комплексная технико-экономическая модель унификации сечений кабелей электрических сетей. //Горный вестник Узбекистана, 2013. № 53.
12. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. -М.:Физматлит, 2002.
13. Макарова Ю.А. Многокритериальная методика выбора кабелей для систем электроснабжения нефтяной и газовой промышленности, 2015.
14. Ершов М.С., Макарова Ю.А. Применение методов многокритериальной оптимизации для выбора сечения кабельных линий электрических сетей. /Труды РГУ Нефти и газа имени И.М.Губкина, 2012, N2.
15. Лещинская Т.Б. Применение методов многокритериального выбора при оптимизации систем электроснабжения с сельских районов. // Электричество, 2003, №1.
16. Гордиевский И.Г., Лордкипанидзе В.Д. Оптимизация параметров электрических сетей. - М.:Энергия, 1978.
17. Taslimov A.D., I.U.Rakhmonov. Optimization of complex parameters of urban distribution electric networks. Journal of Physics: Conference Series. APITECH-2019. 1399 (2019) 055046 doi:10.1088/1742-6596/1399/5/055046.
18. Таслимов А.Д., Рахимов Ф.М. Программа оптимизации параметров распределительных сетей до 1000 В с учетом унификации. / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU № 005740 25.09.2018.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311.721

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ОБМОТОК
НА БЛИЗКОЕ СООТНОШЕНИЕ ПОЛЮСОВ****Д.А. Рисмухамедов**

Мақолада қутблар сони ўзгарувчан чулғамлардан амалий фойдаланмасликнинг сабаблари, электр энергиясини ва табиий ресурсларни тежаш, шунингдек, катта қувватли электр моторларини ишга тушириш жараёнини осонлаштириш нуқтаи назаридан уларни ишлаб чиқиш зарурлигини асосланган, "учта уч фазали юлдуз" ва "қўшимча шахобчали учта уч фазали юлдузлар" базавий схемалари асосида 54 паз статорга жуфти қутб нисбати 10/12 бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғам қуриш усули тавсифланган, бошланғич чулғам сифатида иккита икки қатламли халқасимон т-зонали статор чулғами олинб, қутблар сони $2p_1=10$ бўлганда битта қутб ва фазага мос пазлар сони каср, $2p_2=12$ бўлганда эса қутб ва фазага мос пазлар сони бутун бўлган 54 пазли статорга жойлаштирилади. МЮК шаклининг гармоник таркибини таҳлил қилиш натижасида иккала қутб томонида ҳам юқори гармоникалар мавжудлиги аниқланди, аммо уларнинг амплитудаси, чулғам коэффицентларини ҳисобга олган ҳолда камаяди ва моторни ишлашига сезиларли таъсир кўрсатмайди, олинган қутблар сони ўзгарувчан чулғамни $2p_1$ қутб томонда бир хил амплитудали бир хил фазаларнинг шахобчалари орасидаги ЭЮК векторларини фарқи мавжуд бўлиб, бу эса чулғам коэффицентлари фарқига олиб келмайди ва тенглаштирувчи тоқларни пайдо бўлишига олиб келмайди, $2p_2$ қутб томонда эса таъминлаш манбаига нисбатан мутлақо носимметрикдир.

Ишлаб чиқилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг электромагнит хусусиятларини таҳлил қилиш шунини кўрсатдики, МЮК шакли яхшилانган ва Гёргес диаграммаси айлана бўйлаб бир текис тақсимланган, бу эса юқори гармоникалар мавжудлигини пасайишига ва дифференциал сочилиши коэффицентларининг пасайишига олиб келади, шунингдек иккала қутб томонда ҳам виброакустик хусусиятлари яхшилаш ҳисобланади.

Иккала қутб томондан ҳаво оралигидаги магнит индукцияларнинг мувофиқлигини ўрганишида "учта уч фазали юлдуз" базавий схемасига асосланган чулғамни юк кўтариш-транспорт механизмларида ва ишга тушиш жараёни оғир бўлган механизмда, яъни моторни паст тезликда юқорисига нисбатан катта ёки тенг моментга эга бўлган, шунингдек вентиляторли юкламага эга бўлган механизмлар учун юқори тезликда томонда машинани актив қисмдан юқори даражада фойдаланишини

таъминлаш учун электромагнит хусусиятларини яхшилаган "қўшимча шахобчала УУУ/УУУ" чулгам схемасидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

В статье сделан анализ представлены причины отсутствия практического применения полюсопереключаемых обмоток и обоснована необходимость их разработки в целях экономии электроэнергии и природных ресурсов, а также для облегчения процесса пуска мощных электродвигателей. Описана методика построения полюсопереключаемых обмоток с соотношением пар полюсов 10/12 при 54 пазах статора на основе базовых схем «три трехфазные звезды» и «три трехфазные звезды с дополнительными ветвями», за исходные обмотки которых взяты две двухслойные петлевые т-зонные обмотки статора, размещенные в 54 пазах статора, при числе полюсов $2p_1=10$ с дробным числом пазов на полюс и фазу, а при $2p_2=12$ с целым числом пазов на полюс и фазу. В результате анализа гармонического состава картин МДС выявлено, что со стороны обеих полюсностей присутствуют высшие гармонические, но их амплитуды с учетом обмоточных коэффициентов уменьшается и на работу двигателя существенного влияния не оказывают. Полученные полюсопереключаемые обмотки со стороны $2p_1$ имеют расхождение суммарных векторов ЭДС по фазе между ветвями одноименных фаз при одинаковой амплитуде, что не приводит к различию обмоточных коэффициентов и не вызывает появления уравнительных токов, а со стороны $2p_2$ полюсности обмотка абсолютно симметрична по отношению к источнику питания.

Анализ электромагнитных свойств, разработанных полюсопереключаемых обмоток показал, что они имеют улучшенные картины МДС и равномерно-распределённые по окружности диаграммы Гёргеса, что приводят к уменьшению присутствия высших гармонических и уменьшению коэффициентов дифференциального рассеяния, а также к улучшению виброакустических характеристик со стороны обеих полюсностей.

При исследовании согласованности магнитных индукций в воздушном зазоре со стороны обеих полюсностей выявлено, что обмотка на основе базовой схемы «три трехфазные звезды» может найти применение в подъемно-транспортных механизмах и в механизмах с тяжелым пуском, при которых двигатель на меньшей скорости должен развивать большие или равные моменты по отношению к высшей, а для механизмов с вентиляторной нагрузкой, где требуется обеспечения высокого использования активной части машины со стороны высшей скорости целесообразно использовать обмотки по схеме «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями», которые имеют улучшенные электромагнитные свойства.

The article presents the reasons for the lack of practical application of pole-switched windings and justifies the need for their development in order to save electricity and natural resources, as well as to facilitate the process of starting powerful electric motors, describes a method for constructing pole-switched windings with a pole pair ratio of 10/12 with 54 stator slots based on basic circuits "three three-phase stars" and "three three-phase stars with additional branches", for the initial windings of which two two-layer loop m-zone stator windings are taken, placed in 54 stator slots, with the number of poles $2p_1 = 10$ with a fractional number of slots per pole and phase, and at $2p_2 = 12$ with an integer number of slots per pole and phase. As a result of the analysis of the harmonic composition of the MDF patterns, it was revealed that higher harmonic ones are present on the side of both poles, but their amplitude, taking into account the winding coefficients, decreases and does not significantly affect the operation of the motor, the resulting pole-switched windings from the $2p_1$ side have a discrepancy in the total EMF vectors in phase between the branches of the same phases at the same amplitude, which does not lead to a difference in the winding coefficients and does not cause the appearance of equalizing currents, and from the $2p_2$ side of the pole, the winding is absolutely symmetrical with respect to the power source.

Analysis of the electromagnetic properties of the developed pole-switched windings showed that they have improved MDF patterns and uniformly distributed around the circumference of the Herges diagram, which leads to a decrease in the presence of higher harmonic and a decrease in differential scattering coefficients, as well as to an improvement in vibroacoustic characteristics from both poles.

When studying the consistency of magnetic inductions in the air gap from the side of both poles, it was revealed that the winding based on the basic scheme "three three-phase stars" can be used in hoisting-and-transport mechanisms and in mechanisms with a heavy start, in which the motor is at a lower speed should develop large or equal moments in relation to the higher one, and for mechanisms with a fan load, where it is required to ensure high utilization of the active part of the machine on the side of the higher speed, it is advisable to use windings according to the "three three-phase stars with additional branches" scheme, which have improved electromagnetic properties.

К важным вопросам при реализации задач указанных в стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы: «...сокращение энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, ...» относятся разработка и исследование новых полюсопереключаемых обмоток (ППО) для двухскоростных двигателей (ДД) производственных механизмов. Многие из разработанных ППО не находят широкого практического применения из-за большого количества выводных концов, переключаю-

щих контактов, ухудшенных электромагнитных свойств, а также сложной технологии изготовления, связанной с выполнением катушек разноразмерными и с разными шагами [1, 2].

Создание ДД, приближающихся по своим энергетическим и массогабаритным показателям к обычным односкоростным машинам дает возможность усовершенствовать существующие электропривода с ДД и заменить некоторые односкоростные двигатели с целью экономии электроэнергии и природных ресурсов в малозагруженных режимах, а также для облегчения процесса пуска мощных двигателей [6, 7, 8, 9].

На основе метода «Дискретно-заданных пространственных функций» (ДЗПФ) было разработано множество схем ППО на широкий диапазон соотношения полюсов и фаз, приближенные по своим свойствам к обмоткам односкоростных двигателей серийного исполнения [3, 4, 5].

Рассмотрим построение ППО на наиболее актуальное соотношение полюсов 10/12, размещенную в 54 пазах статора.

За исходные обмотки возьмем две двухслойные петлевые m -зонные обмотки статора, размещенные в 54 пазах, с числами полюсов $2p_1=10$ и $2p_2=12$, причем для $2p_1=10$ обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу $q_1 = 3\frac{3}{5}$ и для $2p_2=12$ обмотку с целым числом пазов на полюс и фазу $q_2=3$ с шагом $y_1=1-6$, и $y_2=1-5$, соответственно [10, 11].

Расположив нижний ряд каждой обмотки, друг под другом (табл.1), по наименованию фазы в пазе с одной и другой обмоткой, можно определить ветвь, которой соответствует тот или иной номер катушки.

Таблица 1

Размещение обмоток в пазах статора

Пазы статора																											Полюс ность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	a	a	a	a	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	a	b	2p ₁ =10
d	d	d	e	e	e	f	f	f	d	d	d	e	e	e	f	f	f	d	d	d	e	e	e	f	f	f	2p ₂ =12
Пазы статора																											Полюс ность
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
b	b	c	c	c	c	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	2p ₁ =10
d	d	d	e	e	e	f	f	f	d	d	d	e	e	e	f	f	f	d	d	d	e	e	e	f	f	f	2p ₂ =12

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии с соединениями катушек в БС«УУУ/УУУ». Причем, паз №1 при $2p_1=10$ полюсной обмотки соответствует фазе А, а при $2p_2=12$ фазе D, следовательно, принадлежит ветви D-A. Основываясь на этот способ, группируем катушки (табл. 2) в ветви БС [10, 11].

Таблица 2

Распределение катушек в ветвях базовой схемы

№ катушек	Ветви БС YYY/YYY								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C
46, 47, 1, 2, 3, 12	28, 29, 37, 38, 39, 48	10, 11, 19, 20, 21, 30	4, 13, 14, 15, 23, 24	40, 49, 50, 52, 5, 6	22, 31, 32, 33, 41, 42	25, 26, 34, 35, 36, 45	7, 8, 16, 17, 18, 27	43, 44, 52, 53, 54, 9	

Полученная ППО со стороны $2p_1$ имеет расхождение суммарных векторов ЭДС по фазе между ветвями одноименной фазы А-Д и А-Е на 20,18 эл. градусов, а А-Е и А-Ф на 0,18 эл. градусов при одинаковой амплитуде, что не приводит к различию обмоточных коэффициентов (см. табл. 3) и не вызывает появления уравнительных токов, т.к. такое же расхождение повторяется и на ветвях одноименных фаз В-Д и В-Е, В-Е и В-Ф, С-Д и С-Е, С-Е и С-Ф, причем суммарные ЭДС векторов фаз А-Д, В-Д и С-Д отстают друг от друга на 120 эл. градусов, которое повторяется и в звездах А-Е, В-Е и С-Е, А-Ф, В-Ф и С-Ф. а со стороны $2p_2$ полюсности абсолютно симметрична по отношению к источнику питания (табл.4) [10, 11].

Таблица 3

Обмоточные данные со стороны $2p_1=10$

	Ветви БС YYY/YYY								
	A-D	B-D	C-D	A-E	B-E	C-E	A-F	B-F	C-F
	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$k_{обм}$	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833	0,833
	36,57	156,57	83,43	56,76	176,76	63,24	56,57	176,57	63,43

Таблица 4

Обмоточные данные со стороны $2p_2=12$

	Ветви БС YYY/YYY								
	D-A	E-A	F-A	D-B	E-B	F-B	D-C	E-C	F-C
A	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97
$k_{обм}$	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831	0,831
φ	50,0	170,0	70,0	50,0	170,0	70,0	50,0	170,0	70,0

Анализ гармонического состава картин МДС (рис. 1) показал, что со стороны обеих полюсностей присутствуют высшие гармонические, но их амплитуда с учетом обмоточных коэффициентов уменьшается и на работу двигателя существенного влияния не оказывает, причем со стороны $2p_1=10$ полюсов относительно к первой гармоники амплитуда высших гармонических равна: $A_2=0,64\%$, $A_5=0,75\%$, $A_6=0,42\%$, $A_7=0,59\%$, а со стороны $2p_2=12$ полюсов $A_2=1,28\%$, $A_5=0,77\%$, $A_7=0,37\%$ [10, 11].

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

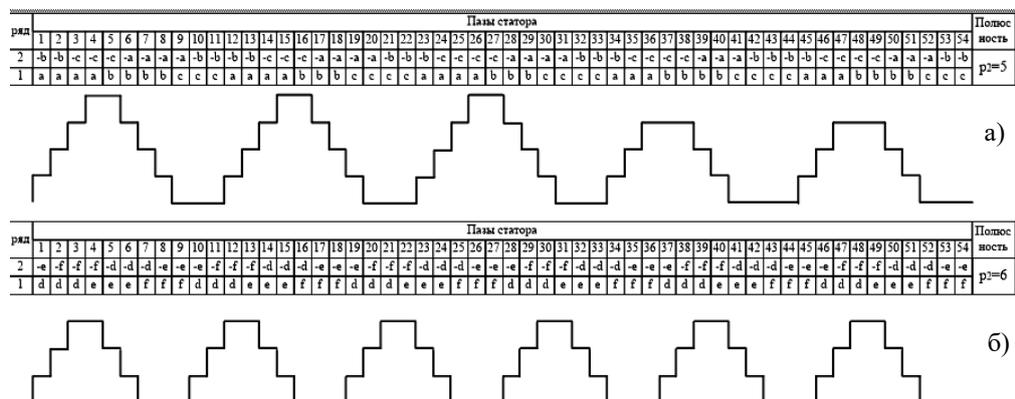


Рис. 1. Картины МДС при $2p_1/2p_2=10/12$ на основе БС «УУУ/УУУ»
а) для $2p_1=10$, б) для $2p_2=12$

Коэффициент дифференциального рассеяния σ_0 (в воздушном зазоре) является одним из критериев при оценке свойств обмотки, а именно показателем отношения реактивного сопротивления высших гармонических к главному реактивному сопротивлению обмотки.

Расчёт коэффициента дифференциального рассеяния проводится на основе теоремы Кронделя с использованием многоугольника намагничивающих сил (НС) Гёргеса [12].

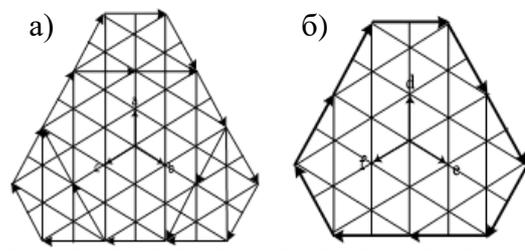


Рис. 2. Диаграммы Гёргеса при $2p_1/2p_2=10/12$ на основе БС «УУУ/УУУ»
а) для $2p_1=10$, б) для $2p_2=12$

На рис. 2 показаны диаграммы Гёргеса для ППО на основе БС «УУУ/УУУ» на соотношение полюсов 10/12 в 54 пазах статора при шаге обмотки $y=5$. Значения коэффициентов дифференциального рассеяния для для $2p_1=10$ стороны $\sigma_0=7,31\%$, для $2p_1=12$ стороны $\sigma_0=5,86\%$.

Согласование магнитных индукций в воздушном зазоре может быть достигнуто только за счет небольшой разницы в значениях обмоточных коэффициентов, причем с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{об1}=0,833$ и $k_{об2cp}=0,831$ [10, 11].

Отношение магнитных индукций в воздушном зазоре:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{p_2 k_{обм1} w_1}{p_1 k_{обм2} w_2} = \frac{6 \cdot 0,833 \cdot 6}{5 \cdot 0,831 \cdot 6} = 1,2$$

Как видно, наряду с несимметрией в этой обмотке не согласованы магнитные индукции в воздушном зазоре, что ведет к недоиспользованию активной части машины на высшей скорости вращения, кроме того неравномерно распределенная картина МДС со стороны $2p_1=10$ приводит к появлению шума и вибрации в работе двигателя.

Разработанная обмотка может найти применение в подъемно-транспортных механизмах и в механизмах с тяжелым пуском, при которых двигатель на меньшей скорости должен развивать большие или равные моменты по отношению к высшей. В данном случае мощность двигателя, развиваемая на высокой скорости соизмерима с мощностью на низкой скорости. Для механизмов с вентиляторной нагрузкой данная обмотка не пригодна, так как мощность, потребляемая механизмом, пропорциональна кубу скорости вращения приводного двигателя, а момент сопротивления механизма пропорционален квадрату скорости вращения [13, 14].

Для улучшения электромагнитных свойств и обеспечения высокого использования активной части машины со стороны высшей скорости (особенно для двигателей механизмов с вентиляторной нагрузкой) целесообразно использовать обмотки по схеме «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями», они также очень удобны в эксплуатации, т.к. отсутствует дополнительное коммутирующее устройство [3, 11].

На основе данных предыдущего примера (табл. 1) построим ППО по схеме «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями».

Для этого исключим по одной катушке из каждой полюсной зоны со стороны полюсности $2p_1$. Соответственно, со стороны полюсности $2p_2$ это могут быть катушки в пазах под номерами: для фазы D – 12, 30, 48; для фазы E – 6, 24, 42; для фазы F – 18, 36, 54 (в табл. 1 они подчеркнуты снизу). Эти катушки выводятся в дополнительные ветви и, перераспределяясь по фазам, участвуют в создании магнитного поля полюсности $2p_2$. В данном случае, взаимокompенсация ЭДС дополнительных ветвей осуществляется при соединении катушек дополнительных ветвей последовательно и распределении по окружности магнитопровода с отставанием по отношению друг к другу на угол сдвига, равный 120 эл. градусам при помещении обмотки в магнитное поле с меньшим числом полюсов [11].

Объединение групп катушек в обмотку осуществляется в соответствии со способом предыдущего примера с соединениями катушек в БС «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями» (табл. 5).

Таблица 5

Распределение катушек в ветвях базовой схемы

№ катушек	Ветви БС YYY/YYY с дополнительными ветвями											
	D _{доп}	D-A	D-B	D-C	E _{доп}	E-A	E-B	E-C	F _{доп}	F-A	F-B	F-C
	48, 12, 30	46, 1, 2, 3, 11	28, 37, 38, 39, 47	10, 19, 20, 21, 29	42, 6, 24	13, 14, 22, 23, 33	49, 50, 4, 5, 15	31, 32, 40, 41, 51	54, 18, 36	25, 34, 35, 44, 45	7, 16, 17, 26, 27	43, 52, 53, 8, 9

Полученная ППО симметрична по отношению к источнику питания со стороны $2p_2$ полюсности (табл. 7), а со стороны $2p_1$ имеет расхождение суммарных векторов ЭДС (табл. 6) между ветвями одноименной фазы D-A и D-B по амплитуде на 6,2% и по фазе на 6,91 эл. градусов, и соответственно, это приводит к различию обмоточных коэффициентов.

Таблица 6

Обмоточные данные со стороны $2p_1=10$

	Ветви БС YYY/YYY с дополнительными ветвями								
	D-A	D-B	D-C	E-A	E-B	E-C	F-A	F-B	F-C
A	8,12	8,66	8,21	8,12	8,66	8,21	8,12	8,66	8,21
K _{обм}	0.821	0.866	0.821	0.821	0.866	0.821	0.821	0.866	0.821
φ	20,81	27,72	11,06	140,81	147,72	131,06	99,19	92,28	108,94

Таблица 7

Обмоточные данные со стороны $2p_2=12$

	Ветви БС YYY/YYY с дополнительными ветвями								
	A-D	A-E	A-F	B-D	B-E	B-F	C-D	C-E	C-F
A	13,24	13,24	13,24	13,24	13,24	13,24	13,24	13,24	13,24
K _{обм}	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827	0,827
φ	61,03	58,97	178,97	61,03	58,97	178,97	61,03	58,97	178,97

Анализ гармонического состава картин МДС (см. рис. 3) показал, что со стороны обеих полюсностей присутствуют высшие гармонические, но их амплитуда с учетом обмоточных коэффициентов уменьшается и на работу двигателя существенного влияния не оказывает, причем со стороны $2p_1=10$ полюсов относительно к первой гармонике амплитуда высших гармонических равна: $A_2=1,08\%$, $A_3=1,37\%$, $A_5=0,72\%$, $A_6=0,39\%$, $A_7=0,38\%$, а со стороны $2p_2=12$ полюсов $A_2=1,29\%$, $A_5=1,22\%$, $A_7=0,37\%$.

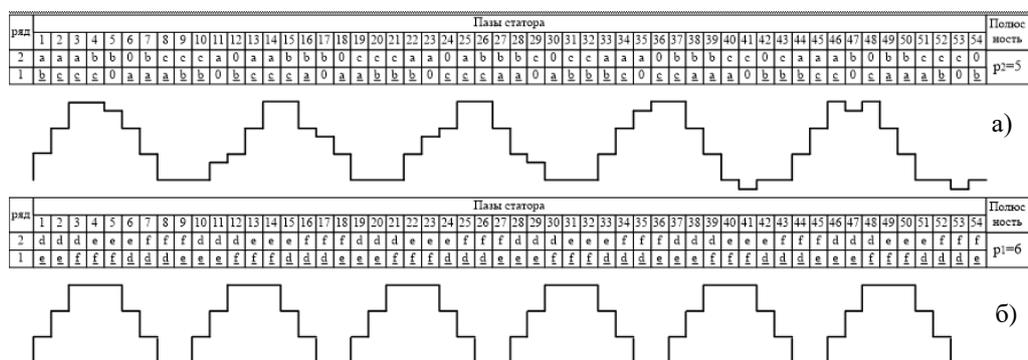


Рис. 3. Картины МДС при $2p_1/2p_2=10/12$ на основе БС «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями», а) для

На рис. 4 показаны диаграммы Гёргеса для ППО на основе БС «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями» на соотношение полюсов 10/12 в 54 пазах статора при шаге обмотки $y=5$. Значения коэффициентов дифференциального рассеяния для $2p_1=10$ стороны $\sigma_0=5,36\%$, для $2p_1=12$ стороны $\sigma_0=6,89\%$ [11].

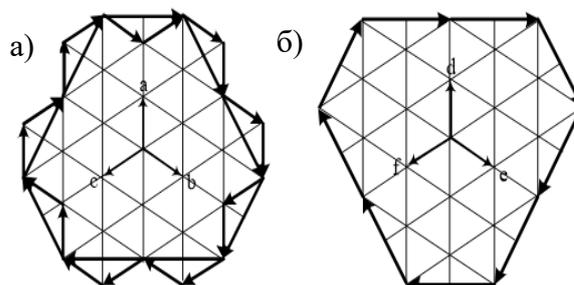


Рис. 4 – Диаграммы Гёргеса при $2p_1/2p_2=10/12$ на основе БС «УУУ/УУУ с дополнительными ветвями» а) для $2p_1=10$, б) для $2p_2=12$

Катушки дополнительных ветвей целесообразно выполнить проводом с сечением в три раза большим (в этих катушках протекает ток в три раза больший по величине) и соответственно с числом витков в три раза меньшим, чем в остальных катушках. При этом будет достигнуто практически полное согласование магнитных индукций в воздушном зазоре, при котором отношение магнитных индукций должно быть как можно ближе к единице [13, 14]:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{p_2 k_{обм1} w_1}{p_1 k_{обм2} w_2} = \frac{6 \cdot 0,833 \cdot 5}{5 \cdot 0,827 \cdot 6} = 1,01$$

Полученная обмотка может найти применение в механизмах с вентиляторным моментом нагрузки, так как мощность и момент двигателя возрастают обратно-пропорционально числу полюсов.

Таким образом, разработанные ППО имеют улучшенные картины МДС и равномерно-распределённые по окружности диаграммы Гёргеса, что приводит к уменьшению присутствия высших гармонических и уменьшению коэффициентов дифференциального рассеяния, а также к улучшению виброакустических характеристик со стороны обеих полюсных [15, 16].

Литература

1. Kovacs C 2018 Pole-Changing Windings for Close Ratio and 1:N Ratio Using the 3//Y/3//Y Method. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* 3 (4) pp 241-253. DOI: 10.25046/aj030424.
2. M. V. Cistelean, L. M. Melcescu, H. B. Cosan and M. Popescu, "Induction motors with changeable pole windings in the ratio 1:4" *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion, Joint Conference, Istanbul, 2011*, pp. 781-786, doi: 10.1109/ACEMP.2011.6490700.
3. Kh.G. Karimov. Methods for developing pole-changing windings for motors in controlled electrical drives in general use. *Problemi Informatiki i Energetiki*, 1, 1993.
4. Karimov Kh G Yu A Tupoguz A Method for Designing Electrically Aligned Windings in AC Machines. *Electricity* 1987, №9, pp 29–38.
5. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov. "New pole-changing windings of asynchronous motors". Magazine "Elektrichestvo" (Russia), 1996, №1, Moscow, pp. 27-32
6. Kh.G. Karimov and M.K. Bobojanov, "New design of pole-changing windings for induction Motors for intense operating conditions", Magazine "Electrical Technology" (United Kingdom), №1, 1996, pp.19-28.
7. Kh.G. Karimov and M.K. Bobojanov, "Two speed induction motors with an improved design of pole- changing windings". *Electromotion'99. 3rd International Symposium on advanced Electromechanical Motion Systems; Patras, Greece, July 8-9, 1999*, pp.35-38.
8. Kh.G. Karimov, D.A. Rismukhamedov: "Two – speeds induction motors for the energy saving measures", 6 th International conference on Engineering of Modern Electric Systems.- Oradea (Romania), pp. 385-389, 2001.
9. Kh.G. Karimov, M.K. Bobojanov, D.A. Rismuhamedov: "The methodology of construction and analysis of the electromagnetic properties of a pole switchable winding", *Bulletin of TSTU*, no. 3, pp. 71-78, 2004.

10. Bobozhanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N. Construction and analysis of a pole-switched winding for a pole ratio of 5/6 by the DZPF method. Problems of Energy and Resource Saving No. 3-4, 2016, 138-143 p.
11. Rismukhamedov D.A., MavlonovZh.M., Tuichiev F.N., Markhabaev B.A. Three-phase pole-switchable winding with a pole-pair ratio of 5/6 // Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan. Invention patent IAP 05698, 09.10.2018.
12. H. Liu, J. Wang, Z. Zhang: "Performance analysis of variable speed multiphase in-duction motor with pole phase modulation", Archives of electrical engineering, vol. 65 (3), pp. 425–436 (2016).
13. M.K. Bobojanov, D.A. Rismukhamedov, F.N. Tuychiev: "Development of a pole-changing winding for a 5/6 pole ratio at 108 stator slot using the DSSF method with additional branches". Bulletin of TSTU, No. 1 (106), pp. 57–63, 2019.
14. Makhsud Bobojanov, Dauletbek Rismuxamedov, Furkat Tuychiev, Khusniddin Shamsutdinov, Khayotullo Magdiev. "Pole-changing motor for lift installation". E3S Web of Conferences 216, 01164 (2020). <https://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. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. (2020). Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(7), 9206-9211.

*Представлено Алмалыкским филиалом
Ташкентского государственного технического университета*

**К РАСЧЕТУ МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ
КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ****Д.С. Ахметбаев, А.Р. Джандигулов, А.Д. Ахметбаев**

При выборе средств компенсации, устанавливаемых в распределительных сетях, предполагается, что энергосистемой задается экономически обоснованная наибольшая величина реактивной мощности, которая может быть передана из системы в режиме наибольших нагрузок распределительной сети, а также наименьшая величина реактивной мощности, которая может быть передана из сети энергосистемы в режиме ее наименьших нагрузок. При этом энергосистема считается эквивалентным экономическим источником реактивной мощности. В этих условиях задача определения мощности компенсирующих устройств и места их установки сводится к обеспечению наибольшей экономичности при соблюдении всех технических ограничений. Существующая методология расчета мощности компенсирующих устройств не предусматривает возможности определения их взаимного влияния на режимы напряжения распределительной сети в целом. Поэтому требуется разработка нового метода, позволяющего решить задачу определения мощности компенсирующих устройств и места их установки с позиции системного подхода к этой проблеме. Для реализации данного подхода применяется топологический метод с использованием коэффициентов распределения задающих токов.

В работе излагается методика расчета мощностей компенсирующих устройств на основе топологии распределительной сети. При этом учитываются режимные особенности распределительных сетей, которые могут существенно упростить топологические выражения. Приводятся преобразованные топологические уравнения напряжений узлов электрической сети сложной структуры относительно мощности компенсирующих устройств. Разрабатываются алгоритмы поиска и определения возможных и специфических деревьев направленного графа сложной распределительной сети. Разрабатываются алгоритмы расчетов реактивных мощностей компенсирующих устройств, необходимых для обеспечения допустимых отклонений напряжения, с позиции синтеза режимов по напряжению. При этом составляется и решается система линейных уравнений относительно мощности компенсирующих устройств. Полученные уравнения ограничений дают возможность разработки нового подхода к решению задачи оптимизации распределитель-

тельных сетей различного назначения с ограничениями по техническим условиям.

When selecting the means of compensation installed in distribution networks, it is assumed that the energy system sets the economically justified maximum value of reactive power that can be transferred from the system in the mode of the highest loads of the distribution network, also, the smallest amount of reactive power that can be transferred from the energy system network in the mode of its lowest loads. In this case, the energy system is considered an equivalent economic source of reactive power. Under these conditions, the task of determining the power of the compensating devices and the place of their installation is reduced to ensuring the greatest efficiency while observing all technical restrictions. The existing methodology for calculating the power of compensating devices does not provide for the possibility of determining their mutual influence on the voltage modes of the distribution network as a whole. Therefore, it is required to develop a new method that allows solving the problem of determining the power of compensating devices and the place of their installation from the standpoint of a systematic approach to this problem. To implement this approach, a topological method is applied using the distribution coefficients of the driving currents.

The paper describes a methodology for calculating the capacity of compensating devices based on the topology of the distribution network. In this case, the regime features of distribution networks are taken into account, which can significantly simplify topological expressions. The transformed topological equations of the voltages of the nodes of the electrical network of a complex structure with respect to the power of the compensating devices are given. Algorithms for searching and determining possible and specific trees of a directed graph of a complex distribution network are being developed. Algorithms are being developed for calculating the reactive powers of compensating devices necessary to ensure permissible voltage deviations from the standpoint of the synthesis of voltage modes. In this case, a system of linear equations for the power of compensating devices is drawn up and solved. The obtained equations of constraints make it possible to develop a new approach to solving the problem of optimizing distribution networks for various purposes with constraints on technical conditions.

Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях распространяется на всех потребителей электроэнергии и является обязательной для всех энергоснабжающих организаций независимо от их ведомственной принадлежности [1,2]. Известно, что передача реактивной мощности из сети 6- 35 кВ в низковольтную сеть, как правило, оказывается экономически не выгодной. Основные потребители реактивной мощности присоединяются к сетям до 1000 В. Компенсация реактивной мощ-

ности этих потребителей может осуществляться при помощи синхронных двигателей и батареи статических конденсаторов, присоединенных непосредственно к сетям до 1000 В. В то же время, реактивная мощность в сеть до 1000 В может передаваться со стороны сети 6-10 кВ от высоковольтных синхронных двигателей и батарей статических конденсаторов. Необходимо обратить внимание на то, что высоковольтные источники реактивной мощности, устанавливаемые на стороне 6-10 кВ, экономичнее батареи конденсаторов на напряжение до 1000 В [3]. Однако, передача реактивной мощности может привести к увеличению мощности трансформаторов 6-10/0,4, что сопровождается с увеличением потерь электроэнергии как в сети, так и в трансформаторах [4].

С целью обеспечения нормативных показателей качества электроэнергии требуется непрерывное управление режимами компенсирующих устройств, которое связано с большими трудностями из-за взаимного влияния и разнообразия режимов [5]. Напряжение в разных точках распределительных сетей различно и зависит от параметров сети и режима потокораспределения. Жесткие требования к поддержанию напряжения в технически определенных пределах вызывает необходимость его автоматического регулирования. Одним из основных способов регулирования напряжения в электрических сетях является применение компенсирующих устройств на понижающих подстанциях, работающих на принципе стабилизации напряжения [6,7]. Установка компенсирующего устройства в произвольной точке сети приводит к перераспределению реактивной мощности по распределительной сети в целом. Достижение желаемого уровня напряжения при этом, становится достаточно сложной задачей. Поэтому разработка системного метода определения необходимой реактивной мощности компенсирующих устройств является актуальной задачей в условиях цифровизации управления напряжением в электрических сетях.

В работе [8] разработана методика расчета коэффициентов распределения задающих токов на основе топологии электрической сети. Разработанные алгоритмы реализованы в виде программного комплекса поиска и определения всех возможных и специфических деревьев направленного графа сложной электрической сети [9,10]. Коэффициенты распределения задающих токов формализуются на основе топологического выражения [8]:

$$C_{ij} = \frac{\sum F_{ij}}{\sum F}, \quad (1)$$

где $\sum F_{ij}$ - алгебраическая сумма специфических деревьев i -ой ветви относительно j -го узла;

$\sum F$ - арифметическая сумма возможных деревьев графа.

Для распределительных сетей топологическое выражение элемента матрицы токораспределения (1) существенно упрощается и определяется выражением [9]:

$$C = M^{-1},$$

где M - первая матрица инцидентий, составляемая по топологии электрической сети.

Узловые напряжения определяются выражением, формализованным на основе топологии электрической сети [10,11]:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 - \underline{C}^t \underline{Z}_d \underline{C} \hat{U}_d^{-1} \hat{S}, \quad (2)$$

где \underline{C} - матрица коэффициентов распределения задающих токов; \underline{Z}_d - диагональная матрица комплексных сопротивлений ветвей; \dot{U}_0 - напряжение базисного узла; \hat{U}_d - диагональная матрица сопряжённого комплекса узловых напряжений; \hat{S} - столбцевая матрица сопряжённого комплекса узловых нагрузок; t - знак транспонирования матрицы.

Предположим, что обеспечение требуемого напряжения достигается включением статических конденсаторов на шинах обмотки низкого напряжения трансформатора. Следовательно, значения желаемого напряжения на шинах понижающей подстанции можно считать заданной величиной. Тогда, требуется найти мощности КУ, установлены для обеспечения желаемого уровня напряжения узлов.

Аналитическая зависимость между мощностями компенсирующих устройств и параметрами режима и сети может быть установлена на основе преобразования уравнения (2).

Рассмотрим сложную электрическую сеть энергосистемы, где желательны значения напряжений узлов обеспечиваются путем регулирования мощности КУ. Тогда уравнение (2) запишется в виде [10,11]:

$$\dot{U}_{i\alpha} = \dot{U}_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_{j\alpha} \underline{C}_{ji} \hat{U}_{i\alpha}^{-1} \hat{S}_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \underline{C}_{ij}^t \underline{Z}_{j\alpha} \underline{C}_{ji} \dot{U}_{i\alpha}^{-1} jQ_{ki}, \quad (3)$$

где $\dot{U}_{i\alpha}$ - комплексное желательное значение напряжения i -го узла;

Q_{kj} - мощность КУ j -го узла.

Уравнение (3) может быть записано в матричной форме [2]:

$$\dot{U}_{i\alpha} = \dot{U}_0 \mathbf{E} - \underline{C}^t \underline{Z} \underline{C} \hat{U}_{\alpha d}^{-1} \hat{S} + \underline{C}^t \underline{Z} \underline{C} \hat{U}_{\alpha d}^{-1} jQ_k, \quad (4)$$

где \mathbf{E} - единичная матрица;

$\underline{C}^t \underline{Z} \underline{C} = \underline{Z}_y$ - матрица узловых сопротивлений.

Неизвестными параметрами в выражениях (3) и (4) являются фазы узловых напряжений (δ) и мощности КУ (Q_k).

Нелинейные уравнения относительно вещественной и мнимой части баланса напряжения i -го узла определяются из (3) в следующем виде [12-15]:

$$\omega_{\underline{U}_i}(\delta, Q_k) = -U_{i\text{жс}} \cos \delta_i + U_0 - \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \cos(\delta_j - \varphi_j + \psi_{ij}) - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \sin(\delta_j + \psi_{ij}), \quad (5)$$

$$\omega_{\underline{U}_i''}(\delta, Q_k) = -U_{i\text{жс}} \sin \delta_i + \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \sin(\delta_j - \varphi_j + \psi_{ij}) - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \cos(\delta_j + \psi_{ij}), \quad (6)$$

где $\underline{Z}_{ij} = \sqrt{(\text{Re} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{ik}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jj})^2 + (\text{Im} \sum_{j=1}^m \underline{C}_{ik}^t \underline{Z}_j \underline{C}_{jj})^2}$ - модуль взаимного узлового сопротивления;

$U_{\Delta ij} = \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} \sqrt{P_j^2 + Q_j^2}$ - модуль частичного узлового падения напряжения i -го узла;

$U_{i\text{жс}}$ - желательное напряжение i -го узла;

P_j, Q_j - активная и реактивная расчетные мощности i -го узла;

U_i', U_i'' - вещественная и мнимая части комплексного напряжения i -го узла.

Из (5) и (6) видно, что для сложной схемы электрической сети, состоящей из n независимых узлов, составляется система из $2n$ уравнений с $2n$ неизвестными, которую можно решить методом Ньютона.

Матрицу Якоби при переменных δ, Q_k можно записать в блочном виде, следующим образом:

$$\frac{\partial \underline{W}_v(x)}{\partial \underline{x}} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \omega_{v'}(\delta, Q_k)}{\partial \delta} & \frac{\partial \omega_{v'}(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} \\ \frac{\partial \omega_{v''}(\delta, Q_k)}{\partial \delta} & \frac{\partial \omega_{v''}(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega_{v'_i}(\delta, Q_k)}{\partial \delta} &= U_{i\text{жс}} \sin \delta_i - U_{\Delta ii} \sin(\delta_i - \varphi_i + \psi_{ii}) + \underline{Z}_{ii} U_{i\text{жс}}^{-1} Q_{ki} \cos(\delta_i + \psi_{ii}) - \\ &- \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_{\Delta ij} \sin(\delta_j - \varphi_j + \psi_{ij}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \underline{Z}_{ij} U_j^{-1} Q_{kj} \cos(\delta_j + \psi_{ij}); \\ \frac{\partial \omega_{v'_i}(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} &= \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} \sin(\delta_j + \psi_{ij}); \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \omega_{v_i}^r(\delta, Q_k)}{\partial \delta} = -U_{i\text{жс}} \cos \delta_i + U_{\Delta ii} \cos(\delta_i - \varphi_i + \psi_{ii}) + \underline{Z}_{ii} U_{i\text{жс}}^{-1} Q_{ki} \sin(\delta_i + \psi_{ii}) +$$

$$+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_{\Delta ij} \cos(\delta_j - \varphi_j + \psi_{ij}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \underline{Z}_{ij} U_j^{-1} Q_{kj} \sin(\delta_j + \psi_{ij})$$

$$\frac{\partial \omega_{v_i}^r(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} = - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} \cos(\delta_j + \psi_{ij}) - \text{элементы } i\text{-ой строки блочной}$$

матрицы Якоби.

Подматрицы (7) – квадратные, n –го порядка.

Если пренебречь влияниями фаз узловых напряжений на значения задающих токов, то расчетные выражения для частных производных матрицы Якоби упрощаются, так как уравнения баланса действительной и мнимой части напряжения i -го узла запишутся в виде [16,17]:

$$\omega_{v_i}(\delta, Q_k) = -U_{i\text{жс}} \sin \delta_i + U_0 - \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \cos(-\varphi_j + \psi_{ij}) - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \sin \psi_{ij} = 0, \quad (8)$$

$$\omega_{v_i}^r(\delta, Q_k) = -U_{i\text{жс}} \sin \delta_i - \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \sin(-\varphi_j + \psi_{ij}) - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \cos \psi_{ij} = 0. \quad (9)$$

А для элементов матрицы Якоби справедливы следующие выражения:

$$\frac{\partial \omega_{v_i}(\delta, Q_k)}{\partial \delta} = U_{i\text{жс}} \sin \delta_i; \quad \frac{\partial \omega_{v_i}(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} = \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \sin \psi_{ij};$$

Пр

$$\frac{\partial \omega_{v_i}^r(\delta, Q_k)}{\partial \delta} = -U_{i\text{жс}} \cos \delta_i; \quad \frac{\partial \omega_{v_i}^r(\delta, Q_k)}{\partial Q_k} = - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \cos \psi_{ij}.$$

и расчётах распределительных сетей можно пренебречь поперечной составляющей падения напряжения, тогда баланс напряжения i -го узла описывается уравнением вида [18]:

$$\omega_{\underline{U}_i}(Q_k) = -U_{i\text{жс}} + U_0 - \sum_{j=1}^n U_{\Delta ij} \cos(-\varphi_j + \psi_{ij}) - \sum_{j=1}^n \underline{Z}_{ij} U_{j\text{жс}}^{-1} Q_{kj} \sin \psi_{ij} = 0 \quad (10)$$

или в матричной форме:

$$W(Q_k) = -U_{\text{жс}} + U_0 - \text{Re}(\underline{C}^t \cdot \underline{Z}_d \cdot \underline{C} \cdot U_{d\text{жс}}^{-1} \cdot \hat{S}) - \text{Im}(\underline{C}^t \cdot \underline{Z}_d \cdot \underline{C} \cdot U_{\text{жс}}^{-1} \cdot Q_k), \quad (11)$$

где $U_{\text{жс}}$ - матрица столбец желаемых узловых напряжений;

$\text{Re}(\underline{C}^t \cdot \underline{Z} \cdot \underline{C} \cdot U_{dg}^{-1} \cdot \hat{S})$ - продольные составляющие желаемых узловых падений напряжений;

$\text{Im}(\underline{C}^t \cdot \underline{Z} \cdot \underline{C}) \cdot U_{dg}^{-1}$ - квадратная матрица коэффициентов при мощности компенсирующих устройств.

4. Пример расчета мощности компенсирующих устройств

В качестве примера приводятся расчеты необходимых мощностей КУ для участка реальной распределительной сети 10 кВ «Валиханова», изображенной на рис.1.

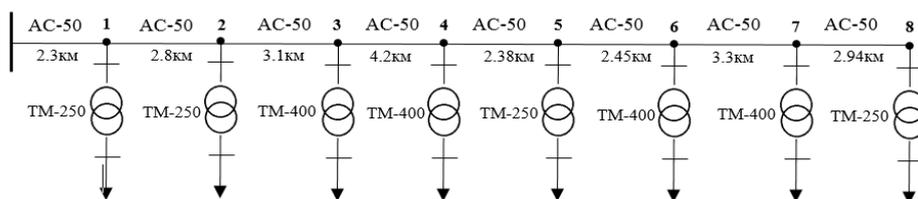


Рис.1. Схема сети 10 кВ

Параметры, необходимые для выполнения расчетов, представлены в матричной форме:

-сопротивления ветвей, мощность узловых нагрузок:

$$Z_B = \begin{bmatrix} 1.368 + j0.902 \\ 1.666 + j1.098 \\ 1.845 + j1.215 \\ 2.499 + j1.646 \\ 1.416 + j0.933 \\ 1.458 + j0.96 \\ 1.963 + j1.294 \\ 1.749 + j1.152 \end{bmatrix}; S = \begin{bmatrix} S_{p1} \\ S_{p2} \\ S_{p3} \\ S_{p4} \\ S_{p5} \\ S_{p6} \\ S_{p7} \\ S_{p8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.123 + j0.034 \\ 0.12 + j0.031 \\ 0.189 + j0.042 \\ 0.185 + j0.052 \\ 0.111 + j0.037 \\ 0.184 + j0.057 \\ 0.193 + j0.047 \\ 0.126 + j0.031 \end{bmatrix};$$

-коэффициенты распределения узловых токов

$$C = M^{-1} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Принимая $U_0=10,5$ кВ, определим значений узловых напряжений без компенсации по формуле (2):

$$U = U_0 - C^T \cdot Z_B \cdot C \cdot U \cdot S = \begin{bmatrix} 10.302 - j0.066 \\ 10.085 - j0.138 \\ 9.87 - j0.209 \\ 9.633 - j0.285 \\ 9.53 - j0.318 \\ 9.444 - j0.347 \\ 9.371 - j0.373 \\ 9.346 - j0.382 \end{bmatrix} \text{ кВ.}$$

Из проведённых расчётов видно, что узловые отклонения напряжения лежат в допустимых пределах только для первых пяти узлов (рис 2). На основе разработанных алгоритмов определяются значения необходимых мощностей КУ с позиции синтеза режима по напряжению. Предположим, что желаемые значения напряжения узлов заданы: $U_{1ж}=10.325$ кВ, $U_{2ж}=10.136$ кВ, $U_{3ж}=9.953$ кВ, $U_{4ж}=9.758$ кВ, $U_{5ж}=9.679$ кВ, $U_{6ж}=9.618$ кВ, $U_{7ж}=9.582$ кВ, $U_{8ж}=9.58$ кВ и требуется найти мощности компенсирующих устройств.

Решение системы (11) в матричной форме может быть записано в виде:

$$Q_k = \left[\text{Im}(C^t \cdot Z_d \cdot C \cdot U_{ж}^{-1}) \right]^{-1} \cdot \left[U_0 - U_{ж} - \text{Re}(C^t \cdot Z_d \cdot C \cdot U_{ж}^{-1} \cdot \hat{S}) \right] \quad (12)$$

Мощности КУ, обеспечивающие заданный желаемый режим по напряжению определяются решением систему (12), которые равны:

$$Q_{ку} = \begin{bmatrix} 0.075 \\ 0.069 \\ 0.074 \\ -0.148 \\ 0.319 \\ 0.12 \\ 0.005 \\ -0.144 \end{bmatrix} \text{ МВАр.}$$

Установка КУ с мощностями определенными выше, должны обеспечить желаемые значения напряжений узлов. Нетрудно заметить, что при обеспечении желаемых напряжений узлов исследуемой сети возникает необходимость установки шунтирующих реакторов.

С целью проверки правильности выполненных расчетов определения мощности КУ, проведем расчеты режима напряжении с учетом реактивных мощностей компенсирующих устройств по формуле (2).

Матрица узловых мощностей с учетом компенсирующих устройств имеет вид:

$$S = \begin{bmatrix} S_{p1} \\ S_{p2} \\ S_{p3} \\ S_{p4} \\ S_{p5} \\ S_{p6} \\ S_{p7} \\ S_{p8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.123 - j0.041 \\ 0.12 - j0.038 \\ 0.189 - j0.032 \\ 0.185 + j0.2 \\ 0.111 - j0.282 \\ 0.184 - j0.063 \\ 0.193 - j0.042 \\ 0.126 + j0.171 \end{bmatrix} \text{ МВА,}$$

а значения напряжений узлов будут равными:

$$U = U_0 - C^T \cdot Z_B \cdot C \cdot U_D^{-1} \cdot S = \begin{bmatrix} 10.335 \\ 10.151 \\ 9.964 \\ 9.753 \\ 9.678 \\ 9.591 \\ 9.501 \\ 9.5 \end{bmatrix} \text{кВ.}$$

Как видно, из полученных результатов расчета напряжений узлов, что их значения незначительно отличаются от соответствующих желаемых величин. На рис.2 представлены графические изображения напряжений узлов без учета и с учетом мощности компенсирующих устройств. Нетрудно заметить, что для обеспечения желаемых значений напряжения в узлах 4 и 8 требуются ректорные установки. Расчеты без учета шунтирующих реакторов приводит к повышению напряжений узлов, которые находятся в пределах их допустимых значений (рис.2).

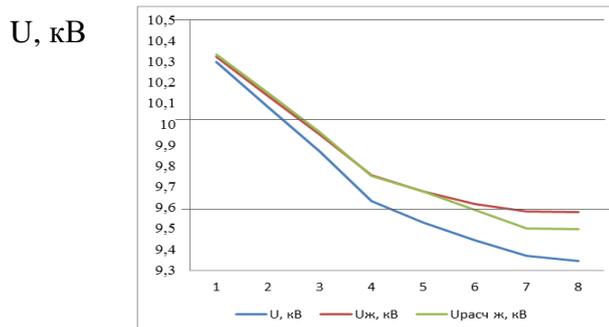


Рис 2. Графики отклонения напряжений
Для наглядности анализа, полученные результаты представлены в табл.1.

Таблица 1

Сравнительная оценка расчетов

№	Мощности узловых нагрузок $P+jQ$, МВА	Напряж. узлов без учета компенс. U , кВ	Желаемые значения узловых напряж. $U_{ж}$, кВ	Мощности компенс. устройств, $Q_{ку}$, Мвар	Узловые мощности с учетом компенс. устройств $P+j(Q-Q_{ку})$, МВА	Расчетн. значения желаемых напряж. $U_{жр}$, кВ	Погрешности %
1	0.123 +j0.034	10.3	10.325	0.075	0.123 -j0.041	10.335	-0,01
2	0.12 +j0.031	10.085	10.136	0.069	0.12-j0.038	10.151	-0,015
3	0.189 +j0.042	9.87	9.953	0.074	0.189 -j0.032	9.964	-0,011
4	0.185 +j0.052	9.633	9.758	-0.148	0.185 +j0.2	9.753	0,005
5	0.111 +0.037	9.53	9.679	0.319	0.111 -j0.282	9.678	0,001
6	0.184 +j0.057	9.444	9.618	0.12	0.184 -j0.063	9.591	0,027
7	0.193+j0.047	9.371	9.582	0.005	0.193 -j0.042	9.501	0,081
8	0.126 +j0.031	9.346	9.58	-0.14	0.126 +j0.171	9.5	0,08

Результаты произведенных расчетов подтверждают правильность работы разработанных алгоритмов определения мощности компенсирующих устройств. Повышение эффективности топологического алгоритма определения необходимых мощностей компенсирующих устройств, наблюдается по мере усложнения условий обеспечения желаемых напряжений в узлах распределительных сетей. Это дает возможность разработки оптимальных алгоритмов управления режимами напряжения на основе минимизации приведенных затрат.

Выводы:

1. Разработан топологический метод расчета мощности компенсирующих устройств с позиции синтеза режимов по напряжению.
2. Разработан алгоритм поиска и определения величин направленных деревьев графа.
3. Разработана программа расчета мощности компенсирующих устройств на основе топологических выражений сети.
4. Разработанная программа может быть использована для определения мощности и места установки КУ для обеспечения желаемого уровня напряжения в системах электроснабжения.

Литература

1. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. /ВНИИЭ.-М.: Энергия, 1974,-73 с.
2. Архипов Н.К. Режим напряжения в электрических распределительных сетях. М.: изд-во ВЗЭИ, 1964. -131 с.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Госсандарт, 1998. - 32 с.
4. Железко Ю.С. Определение мощности и мест установки местного регулирования напряжения // Электрические станции. Москва. 1972. - № 11. - С.34-36.
5. Железко Ю.С. Потери Электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.-420 с.
6. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г.; Шарова Ю.В. Управление качеством электроэнергии учеб.пособие: рек. УМО.– М.: Изд-ий дом МЭИ, 2008. - 355 с.
7. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии –М.: Электроатомиздат, 1985. -224 с.
8. Dauren S. Akhmetbayev, Daurenbek A. Aubakir, Yermek Zh. Sarsikeyev, Bakhtybek A. Bainiyazov, Mikhail A. Surkov, Vitaliy I. Rozhko, Gulbahit N. Ansabekova, Assel S. Yerbolova, Azamat T. Suleimenov, Miramgul S. Tokasheva. Development of topological method for calculating

current distribution coefficients in complex power networks, //Results in Physics, 2017, 7, -С.1644-1649.

9. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. - М.: Энергия, 1972. - 232 с.

10. Ахметбаев Д.С., Джандигулов А.Р., Бердыгожин А.С. Топологический алгоритм формирования мощности компенсирующих устройств распределительных электрических сетей. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации. В 3-х книгах. / Книга 3 / Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2020, - С. 347-354.

11. Ахметбаев Д.С., Ахметбаев А.Д., Айдарова А. Р., Утегенов Е.К.

Системный метод расчета мощностей компенсирующих устройств в электрических сетях энергосистем: Методические вопросы исследования надежности больших систем: Вып. 69. Надежность развивающихся систем энергетики. В 2^хКнигах. / Книга2 / Отв. ред. Н.И. Воропай – ИСЭМ СО РАН, 2018. - С.421-429.

12. Ахметбаев Д. С., Ахметбаев А.Д., Жантлесова А.Б. Формирование z-формы уравнений установившего режима сложных электрических сетей энергосистем: Методические вопросы исследования надежности больших систем: Вып. 69. Надежность развивающихся систем энергетики. В 2^х Книгах. /Книга 2 / Отв. ред. Н.И. Воропай – ИСЭМ СО РАН, 2018. - С. 159-167.

13. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Реализация нового топологического алгоритма расчета коэффициентов токораспределения в сложных электрических сетях. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1552 от 31 января 2019 г.

14. Джандигулов А.Р., Ахметбаев Д.С. Нахождение всех остовных графов заданного графа. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №1551 от 31 января 2019.

15. Dauren Akhmetbayev, Arman Akhmetbayev, Azamat Suleymenov, Michal Kolcun. Modeling the Set Mode of Complex Power Grid, Based on Infeed Coefficients// Proceedings of the 9th International Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA 2017, 12.-14. 9. 2017, Stará Lesná, Slovak Republic.

16. D.S. Akhmetbaev, A.R. Dzhandigulov, A.D. Akhmetbaev. Topological algorithm for forming nodal stresses of complex networks energy systems. Web of Conferences 139, 01066(2019).

17. D.S. Akhmetbaev ; A.D. Akhmetbaev ; A.R. Dzhandigulov. New Approach to the Topological Method of Analysis of Electrical Networks. Inter-

national Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon, 2019.

18. D.S. Akhmetbaev, A.R. Dzhandigulov, A.D. Akhmetbaev. Topological algorithm for forming nodal stresses of complex networks energy systems. E3S Web of Conferences 139, 01066 (2019).

19. Ахметбаев Д. С., Джандигулов А.Р., Ахметбаев А.Д., Ахметова С.О. Оптимизация алгоритма нахождения остовных деревьев графа. : Методические вопросы исследования надежности больших систем: Вып. 70 Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2^х книгах. /Книга2 / Отв. ред. Н.И. Воропай – ИСЭМ СО РАН, 2019. -С.361-366.

20. Ковалев Г.Ф. Надежность систем энергетики/ Г.Ф. Ковалев, Л.М. Лебедева; отв. ред. Н.И. Воропай. -Новосибирск:Наука,2015, -224с.

Представлено Казахским агротехническим университетом им. С. Сейфуллина

УДК 621.311.721

**СОЗДАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕС-
КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕ-
ГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ****М. Саъдуллаев, М.К. Бобожанов, Р.Ч. Каримов**

Ушбу мақолада электр таъминоти тизимларида реактив қувватни ростлаш учун автоматик қурилмаларига оид адабиёт манбаларини таҳлил қилиш натижалари бўйича материаллари келтирилган. Компенсацияловчи қурилмаларнинг иш режими электр энергияси истеъмолчиларида рухсат этилган кучланиш оқишларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади. Бошқарув параметрлари сифатида кучланиш, юклама токи, реактив қувват йўналишлари, қувват коэффициенти, таъминот кучланиши ва юклама токи орасидаги фаза ўзгариш бурчаги, шунингдек вақт ишлатилиши мумкин. Бундан ташқари, мақолада контактсиз қурилмаларнинг ишлаб чиқилган схемаларини ишлашига оид материаллар ва улардан фойдаланган ҳолда қурилмаларнинг ишлашини экспериментал тадқиқи келтирилган. Шу мақсадда, Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети "Электр таъминоти" кафедраси ва Навоий давлат кончилик институти "Электр энергетикаси" кафедраси лабораторияларида синовдан ўтказилган конденсатор батареялари қувватини ростловчи контактсиз қурилмаларнинг тажриба нусхалари яратилди. Шунингдек, турли хил иш режимларида кондансатор батареяларининг қувватни автоматик ростлаш учун контактсиз коммутацияловчи қурилманинг тажриба нусхасининг экспериментал тадқиқи бўйича ҳам материаллар келтирилган. Конденсатор батареялари қувватини контактсиз бошқариш қурилмалари тажриба нусхаси-нинг экспериментал маълумотларини олиш ва қайта ишлаш учун "Fluke" дастурий-назорат ўлчов қурилмаси ишлатилган. Кондансатор батареяларини қувватни автоматик ростлаш учун янги қурилманинг экспериментал тадқиқотлари натижаларини умумлаштириб, унинг бундай қурилмаларга қўйиладиган талабларга тўлиқ жавоб беришини ва тегишли қувват коэффициенти билан электр таъминоти тармогининг ишончли ишлашини таъминлай олишини таъкидлаш мумкин.

В данной статье представлен материал на основе результатов анализа литературных источников по автоматическим устройствам для регулирования реактивной мощности в системах электроснабжения. Режим работы компенсирующих устройств определяется с учетом допустимых отклонений напряжения на зажимах приёмников электро-энергии. В качестве параметров управления могут использоваться

напряжение, ток нагрузки, направления реактивной мощности, коэффициент мощности, угол сдвига фаз между напряжением питающей сети и током нагрузки, а также время. Кроме этого, в статье представлена информация касательно работоспособности разработанных схем бесконтактных устройств и проверки экспериментального исследования работы установок с их применением. Для этой цели были созданы опытные образцы бесконтактных устройств регулирования мощности конденсаторных батарей, которые были испытаны в лабораториях кафедры “Электроснабжение” Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова и кафедры “Электроэнергетика” Навоийского государственного горного института. Также представлен материал об экспериментальном исследовании опытного образца бесконтактного коммутационного устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей в различных режимах работы. Для снятия и обработки экспериментальных данных опытного образца бесконтактных устройств регулирования мощности конденсаторных батарей было использовано измерительное устройство с программным управлением “Fluke”. Резюмируя результаты экспериментальных исследований нового устройства автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, можно констатировать, что оно полностью удовлетворяет требования, предъявляемые к таким устройствам и может обеспечить надежную работу сети электроснабжения с соответствующим коэффициентом мощности.

This article presents material based on the results of the analysis of literature sources on automatic devices for regulating reactive power in power supply systems. The operating mode of the compensating devices is determined taking into account the permissible voltage deviations at the terminals of the electric power receivers. Voltage, load current, reactive power directions, power factor, phase angle between the supply voltage and load current, as well as time can be used as control parameters. In addition, the article presents material regarding the operability of the developed circuits of contactless devices and an experimental study of the operation of installations with their use. For this purpose, prototypes of non-contact devices for regulating the power of capacitor banks were created, which were tested in the laboratories of the Department of Power Supply of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov and the Department of Power Engineering of the Navoi State Mining Institute. Also presented is material on the experimental study of a prototype of a contactless switching device for automatic power control of capacitor banks in various operating modes. To record and process experimental data of a prototype of non-contact devices for regulating the power of capacitor banks, a measuring device with programmed control

“Fluke” was used. Summarizing the results of experimental studies of a new device for automatic power control of capacitor banks, it can be stated that it fully meets the requirements for such devices and can ensure reliable operation of the power supply network with an appropriate power factor.

В последние годы в системах электроснабжения крупных промышленных и коммерческих потребителей внедряются устройства компенсации реактивной мощности с автоматическим регулированием. Главной причиной такого применения стала необходимость поддержания напряжения сети на приемлемом уровне и компенсации реактивной мощности для снижения потерь в распределительных сетях среднего напряжения [1, 2].

Для обеспечения наиболее экономичных режимов работы систем электроснабжения применяется регулирование мощности компенсирующих устройств. Регулирование генерируемой конденсаторами реактивной мощности можно вести ступенями путём деления батарей на части. Чем больше число таких ступеней, тем совершеннее регулирование, но тем больше капитальные затраты на установку переключателей и защитной аппаратуры [2, 3].

Режим работы компенсирующих устройств определяется с учетом допустимых отклонений напряжения на зажимах приёмников электроэнергии [3]. В качестве параметров управления могут использоваться напряжение, ток нагрузки, направления реактивной мощности, коэффициент мощности, угол сдвига фаз между напряжением питающей сети и током нагрузки, а также время [4].

Регулирование мощности компенсирующих устройств по напряжению осуществляют в зависимости от отклонения напряжения. При этом управление компенсирующими устройствами должно быть согласовано с регулированием величины напряжения с другими средствами.

Наиболее простым способом является управление по времени. В этом случае режим работы системы электроснабжения должен быть изучен предварительно [4, 5].

По суточному графику потребления реактивной мощности должно быть определено, что одна часть батарей конденсаторов включается постоянно в течение 24 часов, а вторую включают по графику нагрузок только на определенное время t_1 .

Ступенчатое регулирование мощности КБ приводит к значительному усложнению схем управления поэтому для напряжений до 1000 В рекомендуется применять комплектные конденсаторные установки (ККУ) единой мощностью 75, 100, 150, 200, 250, 300 кВАр в единице, а при напряжении 6-10 кВ – комплектные конденсаторные установки единой мощностью 300, 450, 600, 750, 900, 1050, 1200 кВАр с присоединением через отдельный выключатель [4, 5, 6].

Требование потребителей промышленных предприятий по обеспечению минимального отклонения рабочего напряжения от номинального можно удовлетворить также регулированием мощности конденсаторной батареи в зависимости от напряжения [4, 7]. В этом случае КБ наряду с основной функцией – повышением коэффициента реактивной мощности предприятия используются также для регулирования напряжения [6, 8].

В часы минимальной нагрузки, когда напряжение высокое, включение конденсаторных батарей приводит к сверхдопустимому значению напряжения. Поэтому для поддержания номинального напряжения на шинах подстанций, конденсаторные батареи отключают при повышении напряжения сверх допустимого значения, а при понижении напряжения – включают [6, 9].

В системах электроснабжения для компенсации реактивной мощности (РМ) используются ещё автоматизированные низковольтные установки с коммутацией ступеней конденсаторных батарей (КБ) со специальными электромеханическими контакторами.

Временной интервал задержки переключения ступеней (в среднем около 60 с.), обусловленный требованиями стандарта к уровню разряда КБ перед повторным включением и отстройкой от кратковременных колебаний РМ в компенсируемой сети, ограничивает применение данных КУ для больших групп технологического оборудования (сварочного, подъемно-транспортного, кузнечно-прессового и т.д.) [8, 10].

Поэтому при резкопеременной индуктивной нагрузке применяется так называемая "динамическая компенсация РМ" - Dynamic Power Factor Correction, т.е. компенсация РМ в режиме реального времени, существенно расширяющая функциональные возможности использования КУ, но требующая комплектации установки специальными типами полупроводниковых пускателей и регуляторов РМ [2, 6, 11].

Кроме этого, вышеприведенные установки имеют ряд недостатков, связанных с появлением дуги при каждой коммутации, изнашиванием и прилипанием контактов, шумом при работе, а также потерями электроэнергии на катушке контакторов.

Далее анализируем устройства автоматического регулирования мощности компенсирующих устройств с использованием бесконтактных элементов [5, 8, 12].

В мире ведутся научные исследования по разработке и усовершенствованию регуляторов реактивной мощности и улучшению эксплуатационных характеристик бесконтактных коммутирующих устройств. При этом создание бесконтактных устройств для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей и коммутации различных потребителей, работающих в напряженном режиме с частыми переключениями, считается одной из важных задач [3, 8, 13].

Для проверки работоспособности разработанных схем бесконтактных устройств и экспериментального исследования установок были созданы опытные образцы бесконтактных устройств регулирования мощности конденсаторных батарей [2, 6, 9, 14].

На основе схемы трехфазного бесконтактного автоматического регулятора мощности конденсаторных батарей [2, 15], которая работает в зависимости от угла сдвига φ и по напряжению в точке присоединения, был создан опытный образец.

Схема бесконтактного реле напряжения содержит конденсатор C_1 , который последовательно соединен с двумя маломощными тиристорами VS_1, VS_2 . управляющий электрод тиристора VS_1 подключен к вторичной обмотке трансформатора через последовательно соединенный резистор R_1 и диод VD , а управляющий электрод тиристора VS_2 через резистор R_2 и тиристор VS_1 также подключается к этой обмотке трансформатора. Реле работает следующим образом: при определенном значении напряжения сети управляющий сигнал открывает тиристор VS_1 под углом 90° . После этого откроется тиристор VS_2 и конденсатор C_1 заряжается до максимального напряжения вторичной обмотки трансформатора [1, 16].

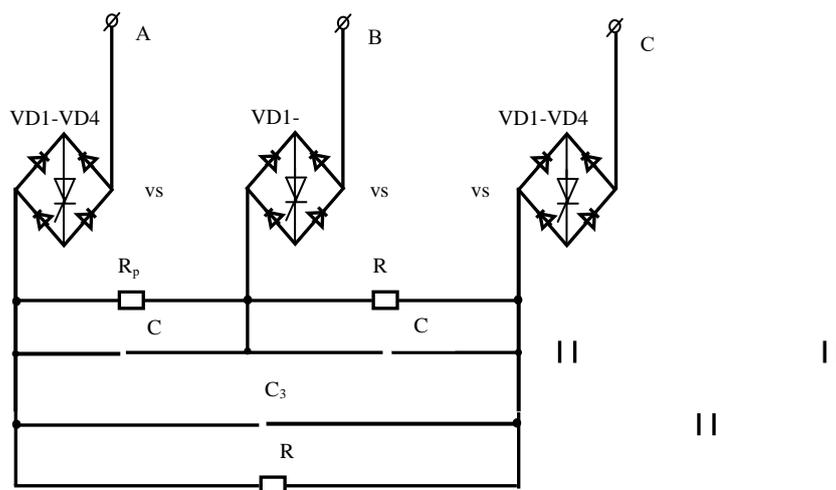


Рис.1. Принципиальная схема включения силовых конденсаторных установок

Тиристорное устройство для включения и отключения конденсаторных батарей, собранных по схеме треугольника, содержит диодные мосты, в диагональ которых включены управляющие силовые тиристоры (рис.1).

К управляющим электродам тиристоров в цепи силовых конденсаторов сигналы подаются через понижающий трансформатор и бесконтактное реле напряжения. Коммутация трехфазных конденсаторных

батарей в функция напряжения осуществляется с помощью двух таких реле, настроенных на разные напряжения срабатывания [3, 9, 17].

Выбор элементов рассмотренной схемы реле напряжения осуществлен с учетом мощности нагрузки, напряжения вторичной обмотки трансформатора, рабочие и управляющие токи тиристоров [18].

Экспериментальные исследования нового устройства показали, что конденсаторные батареи включаются в однофазную сеть при напряжении 140 В, а при напряжении 190 В они отсоединяются от сети.

На рис.2 показан общий вид устройства автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига φ и по напряжению. Схема состоит из элементов со следующими: $R_1=3,9$ Ом, $R_2=2$ кОм, $R_3=560$ Ом, $R_4=470$ Ом, $R_H=1000$ Ом, $R_7=R_8=R_9=330$ Ом, тип МЛТ-2; VS_6, VS_7, VS_8 - КУ202Н; Конденсатор $U=50$ В с ёмкостью $C_1=220$ мкФ; Конденсаторы $C_{12}=C_{23}=C_{31}=1$ мкФ на 400 В; $VS_1, VS_2, VS_3, VS_4, VS_5$ - КУ202Н; VD_1 - Д226Б. Индуктивная нагрузка - трансформатор в режиме холостого хода $S_H=160$ ВА. $U_H=220$ В. Активная нагрузка - реостат $R=1000$ Ом, $I_H=1,4$ А [5, 6, 19].



Рис.2. Общий вид устройства автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига φ и по напряжению

Использование данного устройства для бесконтактного включения и отключения конденсаторных батарей способствует оптимальному использованию мощности конденсаторных батарей и уменьшению дефицита реактивной мощности. При этом достигается экономия определенной величины электроэнергии. Регулирование мощности конденсаторных батарей на производственных предприятиях дает возможность разгрузить систему от реактивной нагрузки [5, 9, 20].

Опытные образцы новых разработок были испытаны в лабораториях кафедры “Электроснабжение” Ташкентского государственного технического университета и Навоийского государственного горного института.

Автоматические регуляторы мощности КБ, которые зависят от значения угла сдвига фаз φ и одновременно от напряжения на нагрузке, дают возможность к повышению надежности и улучшению качества работы

электрических аппаратов, уменьшению весогабаритных показателей [3, 4].

На рис.3-7 показаны характеристики экспериментальных исследований устройства автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига φ и по напряжению, который был создан на основе схемы приведенной на рис.1.

Для регистрации и обработки экспериментальных данных был использован аппарат с программным управлением "Fluke". Кривые изменения тока и напряжения при преобладании активной нагрузки приведена на рис.3.

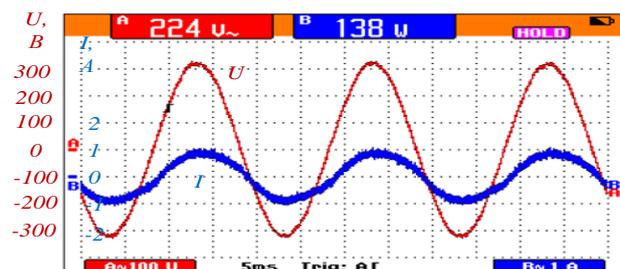


Рис.3. Кривые изменения тока и напряжения при активном характере нагрузки

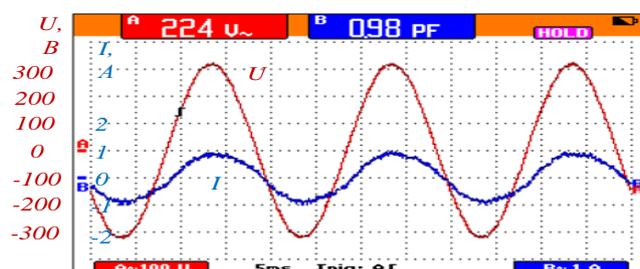


Рис.4. Кривые изменения тока и напряжения при коэффициенте $\cos\varphi=0,98$

В этом случае, при $U=224$ В величины потребляемых активной и реактивной мощностей были соответственно равны 138 Вт и 28 ВАР, а величина полной мощности составила 141 ВА. На рис.4 приведены кривые изменения тока (синяя линия) и напряжения (красная) для вышеописанного случая.

В этом режиме работы угол открывания тиристоров равен 13° и величина коэффициента мощности составила 0,98 [9]. На рис.4 и 5 приведены кривые изменения тока и напряжения, а также указаны угол открывания тиристоров и величина коэффициента мощности.

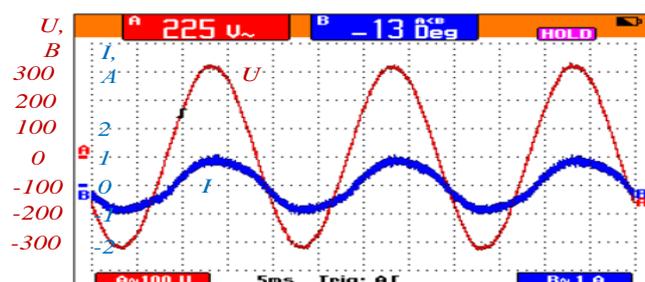


Рис.5. Кривые изменения тока и напряжения при $\varphi=13^{\circ}$

При уменьшении активной нагрузки соответственно уменьшается величина $\cos\varphi$ до значения срабатывания устройства ($\cos\varphi < 0,95$). При этом бесконтактный регулятор автоматически включает конденсаторные батареи в сеть. Каждая КБ имеет емкость 1 мкФ для напряжения $U=400$ В.

В этом случае значения мощностей $P=61$ Вт, $Q=34$ Вар и $S=70$ ВА, величина угла сдвига между напряжением и током нагрузки составила $\varphi=30^{\circ}$ и $\cos\varphi=0,87$ [6, 9].

На рис.6 приведены кривые изменения тока и напряжения при включенной КБ.

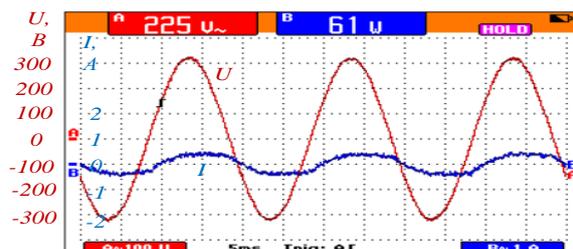


Рис.6. Кривые изменения тока и напряжения при включении КБ

Далее были исследованы кривые изменения тока и напряжения в каждой фазе во время включения КБ [5, 6, 13].

На рис.7 показаны изменения тока и напряжения в фазе А при включении КБ, в других фазах кривые имеют аналогичный характер.

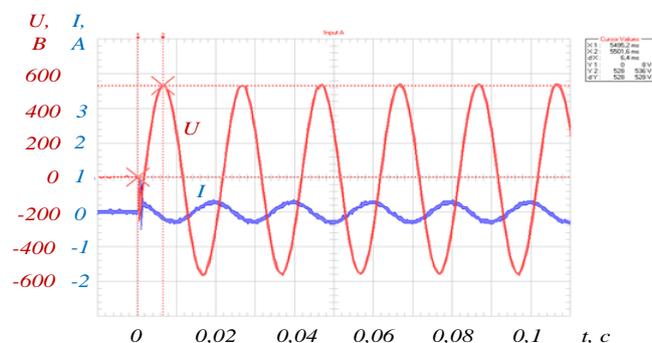


Рис.7. Кривые изменения тока и напряжения в фазе А при включении КБ

Исследования опытного образца бесконтактного регулирования мощности трехфазных конденсаторных батарей по напряжению и угла “ φ ” нагрузки показали, что при обеспечении полного функционирования опытного образца устройств, он отличается своей простотой управления.

Проведены экспериментальные исследования в лабораторных и в производственных условиях опытного образца бесконтактного устройства для регулирования мощности конденсаторных батарей и сняты осциллограммы изменения напряжения, тока и других показателей.

Литература

1. Кублановский Я.С. Тиристорные устройства /2-изд. Учебное пособие. – М.:Радиосвязь, 1997. –112 с.
2. Баркан Я.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов / Учебное пособие. – М.: Энергия, 1978. –238 с.
3. Каримов Р.Ч., Усманов Э.Г., Холбеков Ж.А. Ночизикли электр занжиридаги динамик жараённи «Ўзгармасни вариациялаш» усули ёрдамида тадқиқ қилиш // «ТошДТУ хабарлари» журнали (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2019. - №2(107). – Б.75-82.
4. Bobojanov M.K., Usmanov E.G, Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches // Scientific journal «European Science Review». Austria, - 2018. №1-2. – PP.210-212.
5. Бобожанов М.К., Каримов Р.Ч., Сатторов Х.А. Электр таъминоти тизимида контактсиз кучланиш релесини тадқиқ қилиш // “Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари” илмий журнали, 2020. №1(11). - Б.111-114.
6. Кадыров Т.М., Усмонов Э.Г, Саъдуллаев М. Регулирование мощности конденсаторных батарей в функции напряжения // Вестник ТашГТУ, Ташкент. 2010, №1-2. – С.69-72.
7. Иляшов В.П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей / Учебное пособие. – М.: Энергия, 1987/ –105 с.
8. Усманов Э.Г., Каримов Р.Ч., Давренов Д.У. Бесконтактное реле напряжения / В сборнике материалов научно-практическая конференция “Қайта тикланувчи энергетиканинг замонавий муаммолари” 18-19 май 2018, г. Карши. - С.405-407.
9. Очилдиев А.И., Омонов Ф.Б., Саъдуллаев М.М., Каримов Р.Ч. Исследование бесконтактных коммутирующих устройства для пуска электродвигателей в системах электроснабжения // Международный научный журнал «Путь науки», г.Волгоград. 2018. №3(49), С.23-25.
10. Махмудов А.А., Бобожанов М.К., Саъдуллаев М.С. Каримов Р.Ч. Вопросы пуска конденсаторных батарей в системах электроснабжения / В сборнике материалов Международной научно-практической конференции

«Закономерности развития современного естествознания, техники и технологий», г. Белгород. 2018. - С.189-191.

11. Karimov R.Ch., Rasulov A.N., Meliqo'ziyev M.V., Almardonov O., Rafiqov M.Z. Analysis on diode electrical circuits // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. IJARSET, Vol. 6, Issue 3, March. India. PP.8294-8298, (2019.)

12. Каримов Р.Ч., Усманов Э.Г., Холбеков Ж.А. Ночизикли электр занжиридаги динамик жараённи «Ўзгармасни вариациялаш» усули ёрдамида тадқиқ қилиш // «ТошДТУ хабарлари» журналі (ISSN: 1684-789X). Тошкент. 2019. - №2(107). – Б.75-82.

13. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики // Учебное пособия. - 2-е изд. Переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1986. –568 с.

14. Бобожанов М.К., Саъдуллаев М., Товбаев А.Н. Бесконтактный пускатель для пуска электродвигателей / Труды VIII Международной научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои, 19-21 ноября 2015. – С.189-190.

15. R.Ch.Karimov, M.Bobojanov, A.Rasulov, E.G.Usmanov. Controlled switching circuits based on non-linear resistive elements // E3S Web of Conferences 139, 01039 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/201913901039.

16. Karimov R.Ch. Technical science and innovation, 2, (2019). uzjournals.edu.uz/btstu/vol2019/iss2/8.

17. Кадыров Т.М, Усманов Э.Г., Саъдуллаев М.. Устройства для автоматической коммутации конденсаторных батарей / Патент Рес.Узб. IAP № 04003, 29.07.2009.

18. E.G.Usmanov, A.N.Rasulov, M.K.Bobojanov, R.Ch.Karimov. Non-contact voltage relay for switching windings of a boost transformer // E3S Web of Conferences 139, 01079 (2019), doi.org/10.1051/e3sconf/201913901079.

19. Karimov R., Bobojanov M., Tairova N., Egamov, A., Shamsiyeva N. and others. Non-contact controlled voltage stabilizer for power supply of household consumers // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 883(1), 012120, (2020). [doi:10.1088/1757-899X/883/1/012120](https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012120).

20. Karimov R.Ch., Rasulov A.N., Shamsiyev K., Shamsiyev K., and others. Reliability indicators of stabilizing devices in the agriculture electrical supply system // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 883(1), 012142, (2020). [doi:10.1088/1757-899X/883/1/012142](https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012142).

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.3.048 (075.8)

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ПРЯМОТОЧНОЙ ВОЛОЧИЛЬНОЙ МАШИНЫ**В.П. Иванова, В.В. Цыпкина, Д.Н. Исамухамедов,
А.У. Турабеков, Ф.А. Акбаров**

Мақолада чизиш технологиясининг ўтказувчан ўтказгичлар сифатига таъсири ҳақида сўз боради. Тўғридан-тўғри оқим чизиш машинасининг автоматлаштирилган электр ҳайдовчисига умумлаштирилган талабларни ишлаб чиқишида чизиш жараёни ва технологик жиҳозларни ҳисобга олган ҳолда электромеханик тизимнинг ишлаш хусусиятлари ҳисобга олиниши шарт. Чизма машинасининг автоматлаштирилган электр ҳайдовчисининг ишлашига қўйиладиган талабларни тўғри тузиш вазифаси қийин ва уни ҳал қилиш технологик ускуналарнинг электр ҳайдовчисини бошқариш тизимини қуришининг асосий тамойилларини аниқлашга имкон берди. Мақолада кабел йиғилишларининг электромеханик тизимлари ўртасидаги асосий фарқлар ўрганилган. Тўғридан-тўғри оқим чизиш машинасининг тузилган функционал диаграммаси сими машинасининг электр қўзғалиши ва уни бошқаришни бошқариш тизимининг асосий усулларини кўриб чиқишга имкон берди. Чизиш жараёнини бошқариш тизимининг элементлар базасини тўғри танлаш жараёнининг асосий технологик параметрларини ва "тўлаш барабани - ўлдирувчи барабан" тизимидаги симларнинг кучланиш даражасини назорат қилишни таъминлаш шартларини аниқлади. Ускунанинг ишлаши тўғридан-тўғри оқим чизиш машинасининг электр қўзғалишини қўлланиладиган бошқариш тизимининг тури билан, шунингдек асосий технологик параметрларни тартибга солиш доирасини тўғри белгилаш билан аниқланади: бошқариладиган координаталар сони, олинадиган сигнал тури ва ускунанинг аниқлиги учун технология талаблари. Тадқиқотлар натижаларига кўра, тўғридан-тўғри оқим чизиш машинасининг автоматлаштирилган электр ҳайдовчисининг модернизатсия қилинган тизими, натижада кабел ва сим маҳсулотларининг оқим ўтказувчи ядроси сифатига ижобий таъсир кўрсатадиган натижаларни олиш имконини берди. асосий бошқариладиган координаталар сифатида технологик тизимда зарур бўлган симли кучланиш оралигини таъминлаш билан технологик жараёнининг ҳозирги шароитлари учун электромеханик тизимнинг элементар базасини танлашга имкон берадиган такомиллаштирилган тизимни яратишга. Тадқиқот натижаларини таҳлил қилиш тўғридан-

тўғри оқим чизиш машинасининг электромеханик тизимининг ишлашига ишлаб чиқариш хусусиятларининг ўсишини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган умумлаштирилган талабларнинг тўғрилигини кўрсатди. Шунингдек, мақолада кабел ва сим маҳсулотларини ишлаб чиқаришида ва умуман кабел саноатида ресурс ва энергия тежашда яхши натижаларни таъминлаган илмий тадқиқотларнинг асосий натижалари келтирилган.

В статье рассматриваются вопросы влияния технологии волочения на качество токопроводящих жил. Разработка обобщенных требований к автоматизированному электроприводу прямоочной волочильной машины в обязательной мере должна учитывать особенности работы электромеханической системы, с учетом процесса волочения и технологического оборудования. Задача правильности составления требований к работе автоматизированного электропривода волочильной машины является сложной, а ее решение позволило определить основные принципы построения системы управления электроприводом технологического оборудования. В статье изучены основные отличия электромеханических систем кабельных агрегатов. Построенная функциональная схема прямоочной волочильной машины позволила рассмотреть основные способы системы управления электроприводом кабельной машины и ее контроля. Правильный выбор элементной базы системы управления процесса волочения определила условия обеспечения контроля основных технологических параметров процесса и уровня натяжения проволоки в системе «отдающий барабан – фильера – тянущий барабан». Установлено, что работа оборудования определяются видом применяемой системы управления электроприводом прямоочной волочильной машины, а также правильным определением диапазона регулирования основных технологических параметров: количество контролируемых координат, вид снимаемого сигнала и предъявляемые требования технологии к точности работы оборудования. По результатам проведенных исследований модернизированная система автоматизи-рованного электропривода прямоочной волочильной машины позволила получить результаты, которые оказывают в конечном итоге положительное влияние на качество токоведущей жилы кабельно-проводниковой продукции за счет создания усовершенствованной системы позволяющей осуществить подбор элементной базы электромеханической системы для действующих условий технологического процесса с обеспечением требуемого диапазона натяжения проволоки в технологической системе, как основной регулируемой координаты. Анализ результатов исследования показал правильность разработанных обобщенных требований к работе электромеханической системы прямоочной волочильной машины с учетом повышения эксплуатационных характеристик. Также с статье приведены основные результаты научных исследований, которые обеспечили хорошие резуль-

маты по ресурсо- и энергосбережению в производстве кабельно-проводниковой продукции и в кабельной промышленности в целом.

The article discusses the influence of drawing technology on the quality of conductive conductors. The development of generalized requirements for an automated electric drive of a direct-flow drawing machine must necessarily take into account the peculiarities of the operation of an electromechanical system, taking into account the drawing process and technological equipment. The problem of correctly compiling the requirements for the operation of the automated electric drive of the drawing machine is difficult, and its solution allowed us to determine the basic principles of building a control system for the electric drive of technological equipment. The article studies the main differences between the electromechanical systems of cable assemblies. The constructed functional diagram of the direct-flow drawing machine made it possible to consider the main methods of the control system for the electric drive of the cable machine and its control. The correct choice of the element base of the control system of the drawing process determined the conditions for ensuring control of the main technological parameters of the process and the level of wire tension in the system "payoff drum - die - pulling drum". It has been established that the operation of the equipment is determined by the type of the applied control system of the electric drive of the direct-flow drawing machine, as well as by the correct determination of the range of regulation of the main technological parameters: the number of controlled coordinates, the type of signal being picked up and the technology requirements for the accuracy of the equipment. According to the results of the studies, the modernized system of the automated electric drive of the direct-flow drawing machine made it possible to obtain results that ultimately have a positive effect on the quality of the current-carrying core of cable and wire products due to the creation of an improved system that allows the selection of the elemental base of the electromechanical system for the current conditions of the technological process with the provision of the required the range of wire tension in the technological system, as the main controlled coordinate. The analysis of the research results showed the correctness of the developed generalized requirements for the operation of the electromechanical system of the direct-flow drawing machine, taking into account the increase in operational characteristics. Also, the article presents the main results of scientific research, which provided good results in resource and energy saving in the production of cable and wire products and in the cable industry as a whole.

Основным конструктивным элементом большинства кабельных изделий является токопроводящая жила (ТПЖ), которую изготавливают путем холодного волочения на волочильных машинах (ВМ). поддержа-

ние качества ТПЖ на высоком уровне обеспечивается жестким соблюдением технологических и технических требований, предъ-являемых к технологическому процессу волочения, а именно: регулирование натяжения проволоки, контроль петлеобразования, отсутствие перетягов и обрывов, контроль натяжения отволоченного изделия и минимизация относительного удлинения проволоки, а также условиями эксплуатации будущего кабельного изделия. Все вышеперечисленные требования регламентированы в нормативно-технической документацией. Технологическая служба цеха в свою очередь осуществляет контроль за их соблюдением в технологии изготовления кабельной продукции. Выполнение требований путем контроля технологических параметров в требуемом диапазоне позволяет в конечном итоге получить качественную кабельную продукцию – кабель или провод.

Разработка обобщенных требования к процессу волочения, также зависит от конструктивных особенностей ВМ, которые учитывают особенности работы электромеханической системы (ЭМС). Данные требования являются определяющими для работы автоматизированного электропривода (АЭП)[1]: согласование движения рабочих органов ВМ, пуск и останов; регулирование рабочей скорости в заданном диапазоне; регулирование натяжения проволоки и стабилизация равномерности раскладки; регулирование натяжения и диаметра проволоки; обеспечение высокой надежности электрооборудования; стабилизация диаметра проволоки и ее остаточных деформаций, фиксированная вытяжка на заданный диаметр готового изделия, соблюдение маршрута волочения, петлеобразование и обрывность, плавность пуска и торможения, а так же включение режима аварийного останова технологического оборудования.

Таким образом, вопрос разработки требований к АЭП ВМ являются сложной задачей, решение которой позволит определить основные принципы построения системы управления электроприводом (СУ ЭП) ВМ. Также следует отметить, что нужно уделять особое внимание типу ВМ, который определяется особенностями конструктивного исполнения (прямоточная, со скольжением, без скольжения и т.д.).

Кроме всего, основной отличительной чертой электромеханической системы любого кабельного агрегата (волочильная, крутильная машины; экструзионная линия, перемоточный станок) является стабилизация скорости движения проволоки (ТПЖ, сердечника, кабельного изделия), которая достигается путем уменьшения частоты вращения вала электродвигателя, связанного с осью приемного барабана через редуктор с обеспечением автоматического регулирования частоты вращения двигателя и, как следствие, поддержание натяжения и вытяжки изготавливаемого изделия в требуемом диапазоне.

Разработка требований к АЭП прямоточной ВМ позволят обеспечить контроль и управление основными технологическими параметрами:

длина и диаметр проволоки, натяжение, число витков на тянущем барабане, плавность разгона и торможения (рис.1). Решение вопроса согласования синхронной работы всех тянущих блоков и узлов, входящих в состав кабельного агрегата, являющееся основой бесперебойной работы ЭМС прямоточной ВМ.

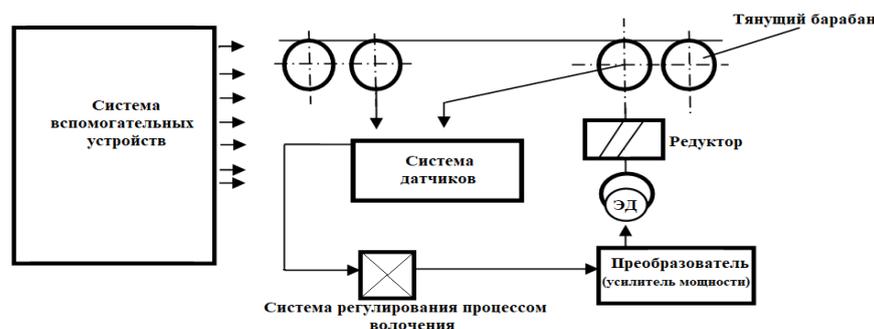


Рис.1. Функциональная схема СУ ЭП прямоточной ВМ

Построение функциональной схемы осуществляется на основании обобщенных требований к ЭП прямоточной ВМ. При этом работа функциональной схемы СУ ЭП прямоточной ВМ (рис.1) строится на усилителе мощности, который построен на основе тиристорных/транзисторных преобразователей. Выбор датчиков системы зависит от вида СУ ЭП прямоточной ВМ: количества контролируемых координат, вида снимаемого сигнала, требований к точности. Разработаны АЭП прямоточной ВМ должен обеспечить контроль основных технологических параметров процесса волочения с одновременным контролем уровня натяжения проволоки на последующем тянущем барабане: длины проволоки и диаметра, окружной и линейной скоростей и числа витков. Согласование скоростей барабанов и исключение перенатяжения выполняют петлеобразователи – (датчики натяжения), они дают возможность уменьшить чувствительность системы к упругости металла, а сигнал, получаемый с датчика натяжения, оценивает величину натяжения и позволяет системе оперативно управлять натяжением и идентифицировать другие параметры процесса волочения, которые недоступны прямому измерению [6, 7, 8].

Процесс намотки отволоченной проволоки на тянущий барабан приемника осуществляется устройствами с контактным и бесконтактным измерением радиуса намотки (прямой и косвенный способы) [8, 7].

Контактный способ не может обеспечить высокую точность измерений текущего радиуса намотки (эксцентриситет барабана), поэтому предпочтительными являются устройства, реализующие бесконтактные способы измерения радиуса (косвенная оценка отношения линейной скорости барабана к окружной, измерение радиуса барабана как длины наматываемой проволоки при повороте барабана на угол равный одному

радиану). В состав устройства входят: импульсные датчики частоты вращения наматывающего вала. Длина намотанной проволоки определяется количеством импульсов напряжения на выходе датчика с достаточно высокой точностью.

Натяжение проволоки является основной регулируемой координатой АСУ ЭП прямоточной ВМ и соответственно определяет свойства ее электромеханической системы [2]. Система регулирования натяжения реализуется на принципах косвенного и прямого регулирования. Автоматизация и оперативный контроль технологических режимов работы оборудования в общем случае реализуются системой управления электроприводом прямоточной ВМ с использованием двухконтурных систем подчиненного регулирования частоты вращения двигателей тянущих блоков ВМ и приемника. Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы) позволяют во внутреннем контуре тока двигателей ВМ тянущих блоков и приемника компенсировать инерционность силовой цепи и формировать переходный процесс в контуре тока. Работа устройства основана на способе управления плотностью намотки (Архимедова спираль) [3], формированием, в соответствии с законом регулирования, натяжения проволоки в функции сигнала разности фактического и теоретического радиусов намотки, поступающего через интегратор на вход датчика натяжения. Сигналы оперативного контроля скорости намотки, длины проволоки, ее натяжения, показатели равномерности раскладки, радиуса барабана и числа витков поступают в управляющее устройство и обеспечивают выдачу текущей информации о ходе технологического процесса.

При выборе варианта построения системы управления процессом волочения [4, 5, 6, 13, 14], который строится на разработанных обобщенных требованиях к работе ЭП прямоточной ВМ, необходимо учитывать динамические характеристики объекта управления, контура регулирования натяжением объекта волочения, контур регулирования плотности намотки.

Проведенный анализ [15, 16, 17, 18, 19, 20] позволил сделать вывод о том, что правильно выбранный вариант САУ ЭП прямоточной ВМ, который зависит, прежде всего, от разработанных обобщенных требований к работе ЭМС прямоточной ВМ, и позволит повысить эксплуатационные характеристики прямоточной ВМ на 10% по сравнению с имеющимися. При этом будет достигнута существенная экономия меди за счет уменьшения числа аварийных остановов, сокращение заправочных концов и, как следствие, внедрение программы ресурсо- и энергосбережения в технологию изготовления кабельно-проводниковой продукции [9, 10, 11, 12].

Литература

1. Ганель В.Я. Электропривод волочильных станов и канатных машин. -М., Metallurgizdat, 2002. -С.102-125.
2. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижаяев С.А. Электропривод и автоматизация волочильного оборудования. – Самара: ООО «ИЦ Книга», 2002. -С. 63-74.
3. Быстров А.М. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности /Быстров А.М., Глазунов В.Ф. -М.: Легкая индустрия, 2007. - С.225-263.
4. Глазунов В.Ф. Принципы подчиненного регулирования при построении электропривода высокоскоростной поточной линии, 2000. - С. 75-86.
5. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижаяев С.А. Автоматизация и наладка кабельного оборудования.- Самара:ООО «ИЦ Книга», 2001. - С. 175-185.
6. В.В.Цыпкина, А.Ш.Ахмедов, Д.Б.Рикситуллаева, В.П. Цыпкина. Разработка способа улучшения параметров медной проволоки при волочении // Проблемы энерго- и ресурсосбережения (специальный выпуск) № 3-4, -Ташкент, 2013. С.-205.
7. Иванова В.П., Якубов Б.Э. Разработка информационной модели ресурсосберегающего способа волочения // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2017. № 3(36). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/4550> (дата обращения: 25.02.2019).
8. Цыпкина В.В., Иванов А.А. Разработка обобщенных требований к модернизации электропривода волочильных машин кабельного производства // UNIVRESUM: Технические науки. №4 (37). Москва, 2017.
9. Пирматов Н.Б., Цыпкина В.В. Ресурсосбережение в кабельной промышленности для волочильного оборудования. –Т.: ТашГТУ, 2021. – 112 с.
10. Пирматов Н.Б., Иванова В.П. Повышение энерго- и ресурсосбережения прямоточных волочильных станов. –Т.:ТашГТУ, 2021. – 180с.
11. Иванова В.П., Цыпкина В.В. Повышение надежности энерго-снабжения активных потребителей за улучшения технологии изготовления кабельного изделия. /Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (92-е заседание, 21 – 26 сентября 2020), г. Казань, КГЭУ, 2020.
12. Мещанов Г.И. «Мировой кабельный рынок и его развитие по материалам доклада на 68-ом общем собрании Ассоциации "Электрокабель", 19-22 сентября 2016 г.» Журнал "Кабели и провода" (Москва)

ISSN:2072-215x 5/2000 и 1/2001.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27524330>

13. Tsyapkina V, Ivanova V 2019 Modeling of a resource-saving method of drawing E3S Web of Conference 139 (2019) 10 1073 RSES 2019 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20191390> E 3S 139 (2019) 10 1073).

14. Ivanova V, Tsyapkina V 2020 Improving the reliability of power supply to active consumers by improving the technology for manufacturing cable product E3S Web of Conferences 216, 01152 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601152>.

15. Автоматизация волочильного стана (протяжного стана) для производства проволоки. <https://eltech.kiev.ua/pf47606-avtomatizatsiya-volochilnogo-stana.html>.

16. Tsyapkina V Issamukhamedov D Turabekov O 2019 Resource-saving method for secondary cable production, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 7, <http://www.ijarset.com/upload/2019/july/47-Daniyar-June-100.pdf>.

17. Карандаев А.С. Математическое моделирование тиристорного электропривода с переключающейся структурой / А.С. Карандаев, В.Р. Храпшин, В.В. Галкин, А.А. Лукин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2010. – №3. – С. 47-53.

18. Храпшин В.Р. Разработка и внедрение автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосного стана горячей прокатки // Вестник ИГЭУ. – 2012. №6. – С. 100-104.

19. Храпшин В.Р. Система автоматической коррекции скоростей электроприводов клеток широкополосного стана горячей прокатки // Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”. – 2012. – № 37(296). – С.60-67.

20. Радионова Л.В., Фаизов С.Р., Лисовская Т.А., Лисовский Р.А Автоматизированный лабораторный волочильный стан, ЮУГУ, <https://elibrary.ru/item.asp?id=30503764>

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.9: 621.316

О МОНИТОРИНГЕ РЕЖИМА И СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

О.В. Радионова, Р.А. Ситдиков

Мақолада электр тармоқларининг самарадорлигини ошириш муаммоларини ҳал қилиш учун уларнинг режими ва ҳолатини кузатиш зарурлиги асослаб берилган. Энергия текширувлари (энергетик аудитлар) вақтида электр тармоқлари режимларининг мажбурий мониторингини ўтказиш таклиф этилади. Ҳозирги вақтда электр тармоқларининг энергетик аудитини ўтказишда уларнинг электр режимлари бўйича ҳисоб-китоблар амалга оширилмайди, чунки бунда энергетик аудит ўтказиш қоидалари ва усуллари назарда тутилмаган. Электр тармоқининг энергия самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш учун реал вақт режимида узлуксиз мониторинг ўтказиш зарур.

В статье обосновывается необходимость мониторинга режима и состояния электрических сетей для решения задач повышения их эффективности. Предлагается проводить обязательный мониторинг режимов электрических сетей при проведении энергетических обследований (энергоаудитов). В настоящее время при проведении энергоаудитов электрических сетей расчёты их электрических режимов не проводятся, так как это не предусматривается правилами и методиками проведения энергоаудитов. Для повышения энергоэффективности и надёжности электрической сети необходимо проводить постоянный мониторинг в режиме реального времени.

The article substantiates the need for monitoring the mode and state of electrical networks to solve the problems of increasing their efficiency. It is proposed to carry out mandatory monitoring of the modes of electrical networks during energy surveys (energy audits). At present, when conducting energy audits of electrical networks, calculations of their electrical modes are not carried out, as it does not provide for the rules and methods of conducting energy audits. To improve the energy efficiency and reliability of the electrical network, it is necessary to conduct constant monitoring in real time.

Введение. Неотъемлемой частью любой программы, направленной на экономию энергии, является энергетическое обследование, которое позволяет определить существующий уровень энергетических расходов, выявить сектора с наибольшими потерями энергии, определить потенци-

ал для энергосбережения и, на основе полученных данных, реализовать программу внедрения энергосберегающих мероприятий.

Анализ проведения энергетических аудитов (обследований) электрических сетей и их элементов показывает, что проведение периодических, но достаточно редких энергетических аудитов в современных условиях лишь частично удовлетворяет решению задач повышения энергоэффективности и энергосбережения. Это связано с укрупнением и интеллектуализацией электрических сетей, усложнением режимов, новыми требованиями к эффективности и надёжности их функционирования [1-4].

Традиционные методы проведения энергетических обследований электрических сетей регламентируются соответствующими нормативно-правовыми документами, в том числе и в Узбекистане [5]. Для получения полной картины баланса электроэнергии на этапах ее передачи, распределения и потребления, включая балансы по объектам (подстанции, ЛЭП), уровням напряжения, собственным нуждам и т.д., необходим постоянный мониторинг электрических сетей (ЭС) и их объектов. Таким образом, необходимо переходить от традиционных правил и методов проведения энергоаудитов к непрерывному мониторингу эффективности электрической сети, её режимов и состояния элементов.

Непрерывный мониторинг электрической сети. Использование оперативного мониторинга при проведении энергетического аудита позволяет непрерывно или с заданными интервалами времени контролировать состояние электрической сети и её элементов, а также режимы, и принимать решения по повышению эффективности их функционирования [6-9].

С точки зрения технологии энергетического аудита (ЭА), непрерывный мониторинг электрической сети является одним из вариантов дальнейшего развития энергообследования путём сокращения периодов измерений, при постоянном использовании принципов целевого энергетического мониторинга (ЦЭМ). Название «целевой энергетический мониторинг» произошло от перевода международного термина «Energy monitoring and targeting» (M&T) [8,9]. Непрерывный мониторинг состояния и режимов электрических сетей и их элементов позволяет контролировать и управлять энергоэффективностью и надёжностью функционирования в режиме “on line”.

На рис.1 показана упрощённая структура электрической сети, являющейся связующим звеном между источниками генерации электроэнергии и потребителями.

Метод M&T достаточно широко применяется в промышленности и энергетике развитых стран [7], в том числе и для повышения энергоэффективности электрических сетей. Это становится особенно важным в связи с созданием «умных» сетей, когда пассивная роль сетей переходит в активную категорию и становится определяющей в цепочке «генерация -

распределение – потребление» электроэнергии. Усовершенствованные и расширенные возможности М&Т критически важны для того, чтобы гарантировать бесперебойное электроснабжение и одновременное повышение экономичности электрических сетей.

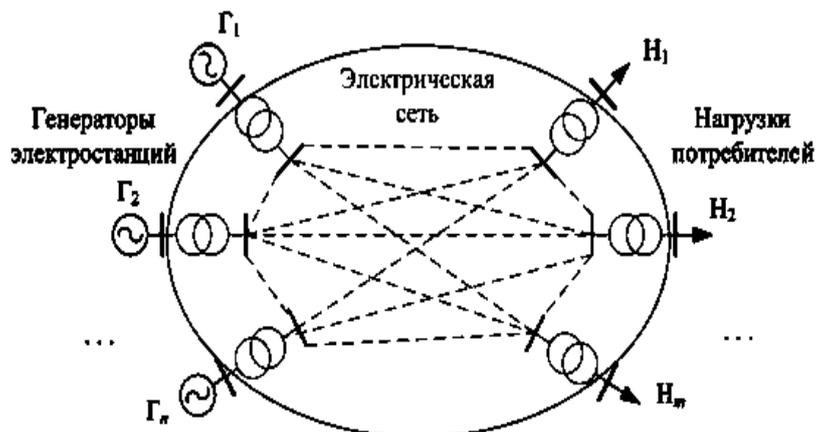


Рис.1. Упрощенная структура электрической сети

Известно, что расчёты потерь электроэнергии подразделяются на три вида [9]:

- ретроспективные;
- перспективные;
- оперативные.

Ретроспективные расчёты определяют потери электроэнергии за прошедшие интервалы времени и служат для определения:

- структуры потерь электроэнергии;
- оценки коммерческих потерь;
- выявление групп элементов сети с повышенными потерями.

Перспективные расчёты определяют ожидаемые потери электроэнергии на следующие периоды (месяцы, годы) и служат основной для нормирования потерь электроэнергии и планирования развития электрических сетей.

Как ретроспективные, так и перспективные потери основываются на оперативных измерениях и расчётах.

При оперативных расчётах определяют потери за текущие интервалы времени; и они служат для контроля текущих значений потерь электроэнергии, оперативной коррекции режима для уменьшения потерь, формирования базы данных по потерям и т.д.

Например, целевыми задачами мониторинга потерь электроэнергии [10,11] являются:

- мониторинг параметров режимов электропотребления в точках поставки на границе балансовой принадлежности с потребителями, а

также в точках технического учета электроэнергии в электрической сети в оперативном режиме, на основе информации, получаемой в темпе процесса с установленных на присоединениях подстанций датчиков и средств измерений всех видов;

- оперативный контроль текущего уровня фактических потерь при транспорте электроэнергии на участках сети, которые обеспечены средствами измерений и/или учета электроэнергии;

- повышение точности и обоснованности результатов расчетов структурных составляющих балансов электроэнергии, технических и нетехнических потерь электроэнергии в сетях, в соответствии с уровнем обеспеченности их средствами измерений и/или учета электроэнергии;

- выявление мест и анализ причин повышенных технических и нетехнических потерь мощности и электроэнергии в сетях в целях принятия оперативных мер по их снижению;

- повышение эффективности использования технологической информации, предоставляемой средствами автоматизации для целей мониторинга, коммерческого и технического учета электроэнергии в сетях;

- переход от контроля уровня потерь в электрической сети в целом к определению объекта с очагом потерь;

- формирование балансов электроэнергии с автоматическим оформлением результатов контроля.

Отметим, что по особенностям схем и режимов электрических сетей Узбекистана, их информационной обеспеченности выделяются четыре группы сетей, расчёт потерь в которых в настоящее время производят различными методами [9]:

- транзитные электрические сети 500 – 220 кВ и отдельные ЛЭП 110 – 35 кВ, входящие в транзитную сеть;

- распределительные (разомкнутые) сети 110 – 35 кВ и отдельные линии 220 кВ;

- электрические сети 6 – 10 кВ;

- электрические сети 0,4 кВ.

Балансы электроэнергии. Энергетический баланс является важной характеристикой состояния электрической сети и отражает полное количественное соответствие между суммой подведенной энергии (приходной частью), с одной стороны, и суммой полезной энергии и потерь (расходной частью) - с другой [8,12]. Поэтому мониторинг параметров энергетических балансов сетей и соответствующих графиков нагрузки, во многом определяют их энергоэффективность и потенциалы энергосбережения.

Электроэнергетические балансы характеризуются балансами активной и реактивной мощностей (и энергии) в исследуемом периоде времени.

Условия баланса активной энергии определяются тем, что приходная часть должна равняться сумме всей потребляемой электроэнергии, включая суммарные потери в сети, преобразовательных установках, расходы собственных нужд и непосредственно передаваемую потребителям, кВт.ч:

$$W_{np} = \sum_{i=1}^n W_{ni} + \sum_{j=1}^m W_j \quad i = (1, \dots, n), j = (1, \dots, m);$$

где: W_{np} - приходная часть баланса;

W_{ni} - полезный расход электроэнергии i -ми потребителями;

W_j - потери электроэнергии в различных j -х элементах сети.

При решении проблемы компенсации реактивной мощности и связанных с ней вопросов снижения потерь электроэнергии в различных элементах сети и повышения качества электроэнергии, составляется баланс реактивной мощности. При этом баланс реактивной мощности определяется условием равенства генерируемых реактивных мощностей Q_r сумме всех потребляемых мощностей, с учетом потерь реактивной мощности в сети и других её элементах, кВар:

$$Q_r = \sum Q_i + \sum Q_j ;$$

где: Q_i - реактивная мощность, потребляемая i -ми потребителями;

Q_j - потери реактивной мощности в j -х элементах электросети.

Значение Q_c будет определяться реактивной мощностью, генерируемой энергосистемой в данном узле сети, реактивными мощностями компенсирующих устройств (синхронные компенсаторы, конденсаторные установки, длинные ЛЭП и др.). Основными потребителями реактивной мощности являются силовые трансформаторы, асинхронные электродвигатели, на долю которых приходится до 80% всей реактивной мощности, потребляемой от сети, остальная часть приходится на долю различных индукционных аппаратов, воздушных электрических сетей и т.д.

В общем случае эффект от построения, расчета и анализа электробаланса будет получен также при условии мониторинга показателей, характеризующих объем электроэнергии, используемой для собственных и хозяйственных нужд.

Мониторинг качества электроэнергии [10,13,14] также относится к целевым задачам мониторинга электрических сетей. При этом производятся:

– мониторинг текущего состояния качества передаваемой электроэнергии, выявление проблемных участков и анализ причин отклонения показателей качества электроэнергии;

– переход от контроля качества электрической энергии в отдельной точке присоединения, к контролю и анализу в масштабах энергорайона (использование возможностей АИИСКУЭ);

- выявление виновников и определение степени их влияния на ухудшение качества электроэнергии;
- формирование специальной карты качества электроэнергии на основе непрерывных измерений с автоматической фиксацией результатов контроля;
- автоматизированное выявление нарушений нормативов на качество электроэнергии и причин нарушений;
- выработка оперативных и перспективных мероприятий по повышению качества электроэнергии в сети (необходимость подключения регулирующих фильтров).

В дальнейшем возможно решение сопутствующих мониторингу задач:

- объективное и конструктивное взаимодействие с потребителями по вопросам качества электроэнергии;
- разработка (актуализация) нормативно-правовой базы, направленной на повышение качества электроэнергии и снижение потерь;
- планирование ремонтов, перспективного развития сети; и других.

Заключение. Внедрение непрерывного мониторинга режима [15] и состояния электрических сетей, производимое одновременно с проведением энергоаудитов, позволит значительно повысить эффективность функционирования электросетей, качество электрической энергии и надёжность электроснабжения [16]. Развитие методов мониторинга даёт возможность использовать передовую технологию «умных сетей» и современную информационную базу для оперативной разработки, коррекции и внедрения энергосберегающих мероприятий, наиболее подходящих для достижения максимального результата по принципу «здесь и сейчас», а также для планирования перспективного развития электрических сетей.

Литература

1. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии», –Ташкент. 1997. 25 апреля 1997 г., № ЗРУ-412-І.
2. Закон Республики Узбекистан «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии»», –Ташкент, 14 июля 2020 г., № ЗРУ-628.
3. Закон Республики Узбекистан «Об электроэнергетике» 30.09.2009 г. №ЗРУ-225.
4. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы. –Ташкент. 2020.
5. Типовая программа проведения энергетических обследований электрических сетей. – Ташкент:Узэнергонадзор. 2006.

6. Загоскин Р.И., Гук А.А. Опыт эксплуатации систем мониторинга высоковольтного оборудования на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» // Энергия единой сети. —2016. —№ 5(28). —С.48—54.

7. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. -2006.

8. Ситдиқов Р.А. Энергетические обследования предприятий энергетической отрасли Узбекистана / Насиров Т.Х., Ситдиқов Р.А. – Ташкент. -2014. -280 с.

9. Насиров Т.Х. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. / Т.Х. Насиров, Т.Ш. Гайибов, Р.А. Ситдиқов, В.Г.Васильев. –Т.:Инновацион риволаниш нашриёт-матбаа уйи. 2020. -276 с.

10. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчётов / Железко Ю.С.–М.:ЭНАС, -2009. - 456 с.

11. [Электронный ресурс]. <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.html> (дата обращения: 15.02.2016).

12. Воротницкий В.Э. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: Справочно-методическое издание / под общей редакцией А.Г.Вакулко. –М: Интехэнергоиздат – Теплоэнергетик. 2016. -336 с.

13. Аллаев К.Р. Мирзабаев А.М., Шаисматов С.Э. и др. Обеспечение качества электрической энергии. –Т.: Фан ва технология. 2019. -196 с.

14. Материалы электронного журнала ЭСКО [Электронный ресурс]. <http://esco-ecosys.narod.ru> (дата обращения: 17.05.2019).

15. Насиров Т.Х. Применение узлового метода в задачах анализа режимов электроэнергетических систем. / Т.Х. Насиров, Т.Ш. Гайибов, О.В. Радионова. –Т.:Фан ва технология. 2019. -260 с.

16. Назарычев А.Н. Надежность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения. /А.Н. Назарычев, Д.С. Крупенёв. –Новосибирск:Наука. 2020. -224 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

UDK 656.259.12

**MODELING THE CROSSING AUTOMATIC SIGNALING SYSTEM
AND WAYS OF ITS ENERGY EFFICIENCY****S.T. Boltaev, B.B. Raxmonov, J.F.Kurbanov,
M.Yu. Khokimjonov¹, E.Sh. Jonikulov**

Йўл кесишмаси темир йўл ва автомобил йўлларининг бир даражада кесишишидан ҳосил бўлади. Бу эса йўл кесишмалардаги хавфсизликни таъминлаш ва поездларни йўл кесишмаларга яқинлашиб келиш вақтини ва яқинлашиш участкасини узунлиги йўл кесишмаларидаги техник фойдаланиш қоидаларини талабларидан келиб чиққан ҳолда танланади ва мақолада келтирилган математик ифодалар ёрдамида ҳисоблаб топилди. Бу мақолада турли хил участкалардаги йўл кесишмалар учун йўл кесишмаларнинг автоматик сигналлаштириш тизими ишлаш тамойили Петри тармоғи математикаси ёрдамида техник фойдаланиш қоидалари талабларини бажарган ҳолда моделлаштирилган

Переезд – это пересечение железных и автомобильных дорог на одном уровне. Это означает, что безопасность переезда и время извещения поездов к переезду и длины участков извещения выбираются исходя из требований правил технической эксплуатации и рассчитываются с использованием математических выражений, приведенных в статье. В работе моделируется принцип работы системы автоматической переездной сигнализации с использованием математической сети Петри, с соблюдением требований правил технической эксплуатации для переездов на различных участках.

Crossing occurs at the intersection of railways and highways to some extent. This means that the safety of the crossing and the time of approach of trains to the crossing and the length of the approach section are selected based on the requirements of the rules of technical operation of the crossing and calculated using mathematical expressions in the article. In this article, the principle of operation of the automatic signaling system of the crossing for crossings in different sections is modeled using Petri Nets mathematics in compliance with the requirements of the rules of technical operation.

Introduction

Ensuring the safety of train traffic at railway crossings remains one of the most pressing issues today. At present, JSC "Uzbekistan Railways" has 580 crossings on the railways, of which 28% fall into the category of guarded crossings [1]. In order to ensure the safety of vehicles and trains on the

crossing, the approach of the crossing to the crossing is considered to be a crossing section for the timely closure of the crossing [2-14]. Based on the rules of use of the equipment, the following requirements are taken into account: the guaranteed time required for the operation of the system of automatic signaling (PAS) of the train as soon as the train enters the approach area, the vehicle entering the crossing at the time of PAS how many roads and railway tracks are crossed, the maximum length and speed of the moving vehicle on the crossing are taken into account.

Mathematical calculation of the crossing approach plot

The approach time of the train to the crossing is calculated as follows

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3; \tag{1}$$

where is:

t_1 – the time it takes for the car to cross the crossroads, c ;

$t_2 = 4c$ – the operating time of the crossing signaling device control devices and the approach signal transmission chain, c ;

$t_3 = 10c$ – backup warranty time, c ;

t_1 the time is determined by the following formula:

$$t_1 = \frac{l_n + l_p + l_0}{v_p}; \tag{2}$$

where is:

l_n – the length of the crossing, ie the distance from the crossing stoplight (or half-barrier) farthest from the edge of the rail to the edge of the rail on the opposite side, plus 2.5m, m ;

$l_p = 24$ m – the length of the vehicle;

$l_0 = 5$ m – the distance from the crossing traffic light to the parking lot;

$v_p = 1,4$ m/c – the speed at which the vehicle crosses the crossroads.

The approach to the crossing is determined as follows:

$$L_p = 0,28v_{\max}t_c = 0,28v_{\max} \left(\frac{l_n + l_p + l_0}{v_p} + t_2 + t_3 \right); \tag{3}$$

where is:

0,28 – coefficient of speed conversion from km / h to m / s;

v_{\max} – set section speed for train movement on the crossing section,

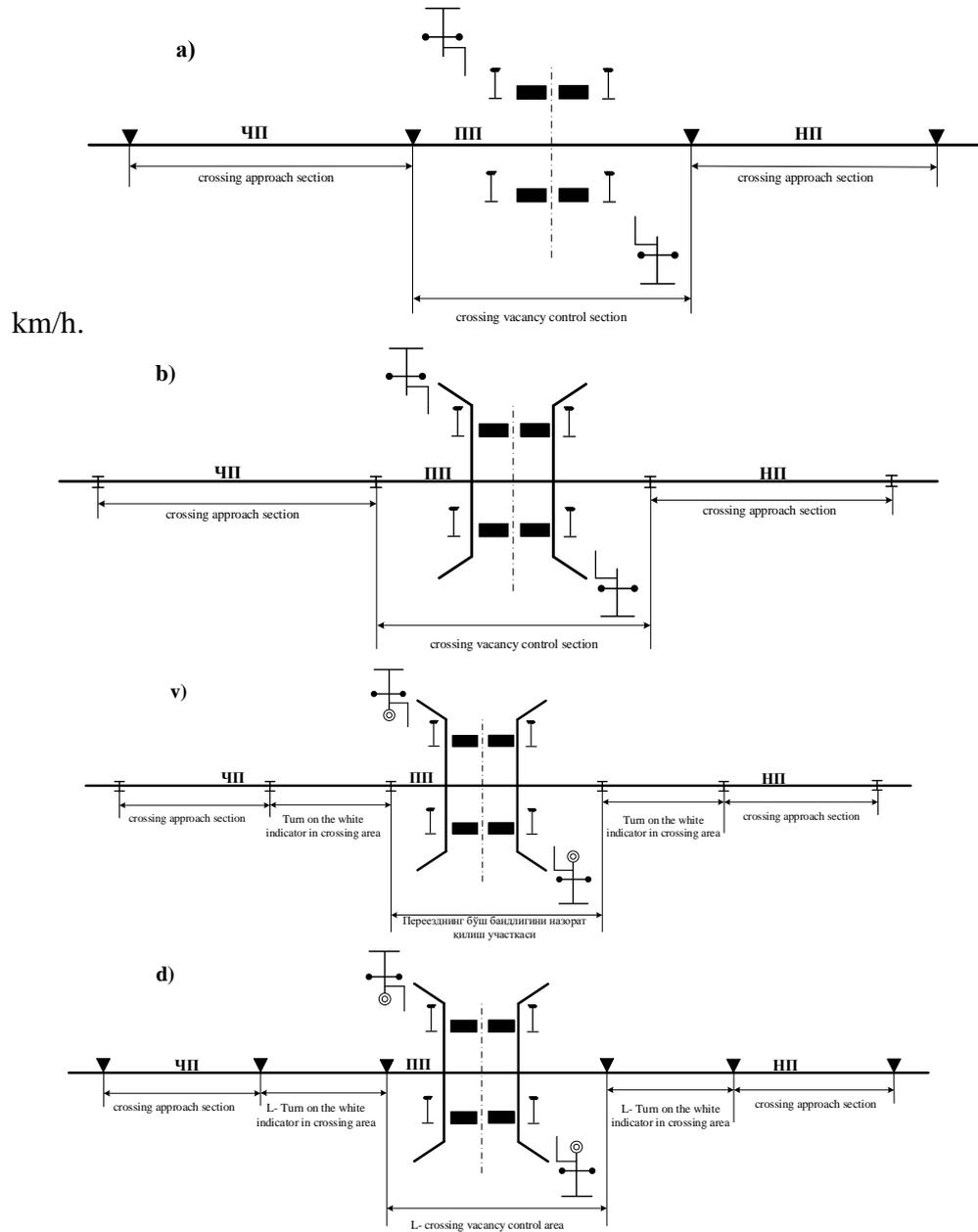


Fig.1. Crossing's road plan

The crossing closes when the train enters the approach section (NP or ChP), the crossing opens when the crossing clears the crossing busy area (PP).

The approach signal is sent by the rail chain (Figure 1a) or the switch counting system sensors (Figure 1b). If the crossing is located on a haul equipped with an auto-lock, the approach message is sent from the auto-

blocking rail chains or sensors, if the crossing is located at a station, the approach message is sent from the station rail chains, sensors and signal relays.

If the approach track does not include station tracks, the crossing can be equipped with a white indicator at the crossing, regardless of the location of the crossing, if there is no barrier stop on the railway and the crossing is located on the haul, then the end of the train is 150 m from the crossroads. (1v, d-picture).

Calculation of the section approach to trains for trains of different categories

The above methods are not ideally suited for sections where high-speed traffic and normal traffic are carried out together, ie if the approach point is designed for high-speed trains, there will be a lot of waiting at the crossing during normal train traffic, resulting in traffic congestion. can come out. If the approach section of the crossing is calculated for trains in normal motion, then the scheme of setting the high-speed traffic mode is additionally added to the automatic signaling system of the crossing. The high-speed mode is set by the nearest station attendant (DSP) by pressing the "high-speed" button on the remote control. When switching to high-speed mode, the message to approach the crossing comes with the train entering 2NP (2ChP). At other times, the message to approach the crossing comes with the train entering 1NP (1ChP) (Figure 2 a, b). The length of the 2NP (2ChP) section is calculated according to the velocity using formulas (1), (2), (3).

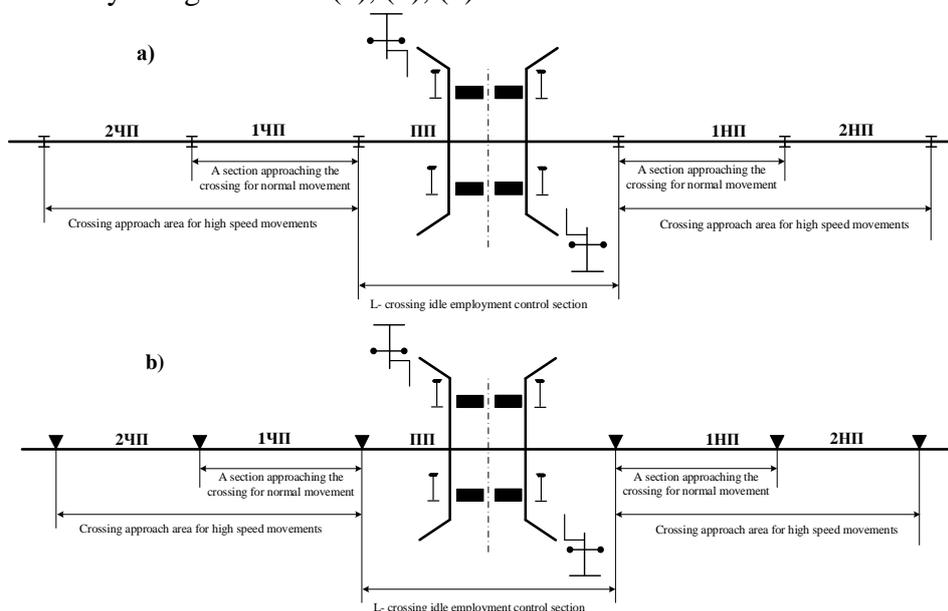


Fig.2. Crossing road plan with high speed movement mode added

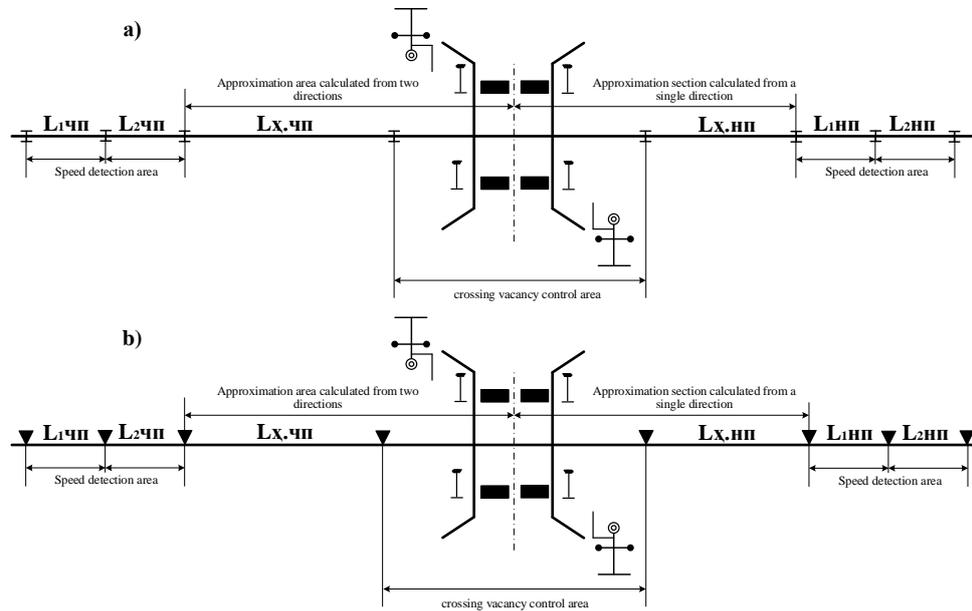


Fig. 3. The road plan of the crossing in the proposed way

Adding a high-speed motion mode depends on the human factor. To eliminate these shortcomings, the following should be done: Depending on the classification of the train, the crossing should be closed and opened, and information on the status of the crossing should be sent to the train driver.

This article proposes to address this issue as follows. In the proposed method, the approach section is extended due to the addition of train speed detection sections on the approach section of the crossing (Figure 3 a, b)

In this way $L_{x,чп}$ ($L_{x,нп}$) the length of the approach plots is also calculated for the maximum velocity determined on the plot using formulas (1), (2) and (3). Speed detection plots $L_{1чп}$ ($L_{1нп}$) and $L_{2чп}$ ($L_{2нп}$). When the train enters the speed detection section, the time counting device is activated on the automatic signaling devices of the crossing and the train $L_{x,чп}$ ($L_{x,нп}$) counts until it enters the section.

$$S_1 = v_{01}t_1 + \frac{at_1^2}{2} \quad (4)$$

where is :

S_1 — $L_{1чп}$ ($L_{1нп}$) section length, m ;

t_1 — $L_{1чп}$ ($L_{1нп}$) the time it takes for the train to cross the section, c ;

v_{01} — $L_{1чп}$ ($L_{1нп}$) the initial speed of the train on the section, m/c ;

a — acceleration of the train.

$$S_2 = v_{02}t_2 + \frac{at_2^2}{2} \quad (5)$$

where is :

$S_2 - L_{2,чп}(L_{2,пп})$ section length, m ;

$t_2 - L_{2,чп}(L_{2,пп})$ the time it takes for the train to cross the section, c ;

$v_{02} - L_{2,чп}(L_{2,пп})$ the initial speed of the train on the section, m/c ;

$$v_{02} = v_{01} + at_1 \tag{6}$$

Using (4), (5) and (6), find the acceleration a and velocity v_{02} of the train.

$$S_3 = v_{03}t_3 + \frac{at_3^2}{2} \tag{7}$$

$$v_{02} = v_{01} + at_2 \tag{8}$$

where is :

$S_3 - L_{x,чп}(L_{x,пп})$ section length, m ;

$t_3 - L_{x,чп}(L_{x,пп})$ the time it takes for the train to cross the section, c ;

Using (7) and (8), the time taken for the train to reach the crossing is t_3 .

We find the difference Δt by subtracting the approach time t_c from the calculated t_3 time and give a time delay Δt for the operation of automatic alarm devices.

Modeling the principle of operation of the PAS system

Considering the above methods, we consider the modeling of the principle of operation of the PAS system for simple moving trains using Petri Nets.

Table 1 shows the state of the devices in the transition, Table 2 shows the process of transition of devices from one state to another, and Figure 5 shows a graph of modeling the operation of devices in the transition using Petri Nets.

In accordance with the graph shown in Figure 5 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_{18}\}$ – the state of the devices in the perez and $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{23}\}$ – represents the processes of transition of devices from one state to another.

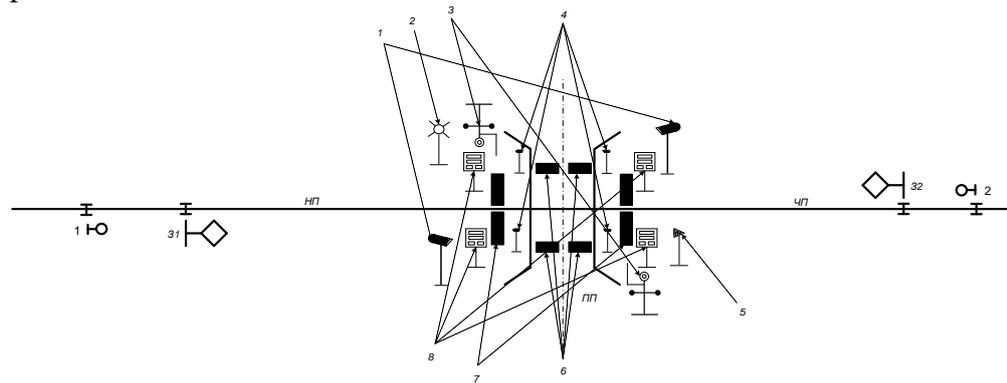


Fig.4. Equipping the crossing with devices

1 - video cameras for recording the movement of vehicles, pedestrians and trains; 2 - floodlight for lighting the crossing; 3 - crossing traffic lights and auto

barriers; 4 - locators signaling the absence of vehicles; 5 - audible warning device (siren); 6 - SPD; 7 - pedestrian crossings; 8 - electronic information boards

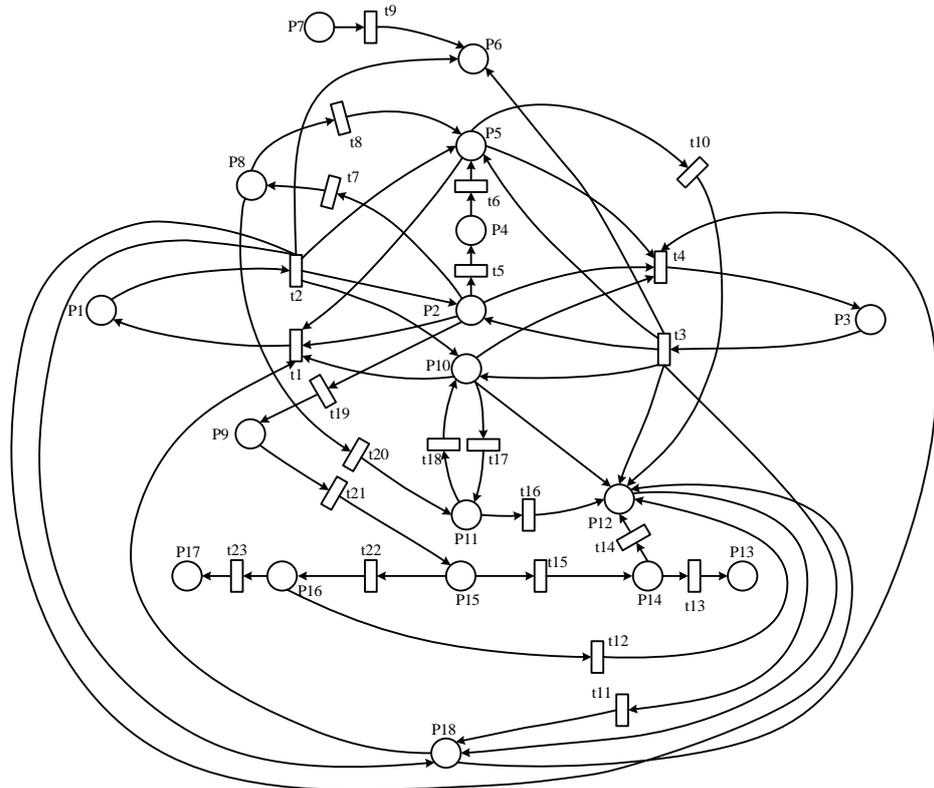


Fig.5. Modeling the operation of devices in Crossing using Petri Nets

The set can be represented using two matrices in the form of Petri Nets I and O [15-18]. Each matrix is placed in a column of the states of the devices at $n = 18$ intervals and in a series of processes of transition of the devices at $k = 23$ intervals from one state to another. The acceptance of the value 0 or 1 by the elements of the matrix varies according to the fulfillment of the conditions of expression of the corresponding elements (9) and (11).

Table 1

Crossing device status					
№	P _i	Many positions	№	P _i	Many positions
1	P ₁	Checking the condition of the section of the train approaching from the odd direction to the crossing	10	P ₁₀	Monitoring the condition of locators at the crossroads
2	P ₂	Checking the status of the crossing vacancy detection plot	11	P ₁₁	Checking the status of barrier devices in the crossing
3	P ₃	Checking the condition of the section where the train approaches the crossing from two directions	12	P ₁₂	Check the status of the table in crossing
4	P ₄	Check the condition of the beam at the crossing	13	P ₁₃	Checking the condition of traffic lights in two directions
5	P ₅	Monitoring the condition of barriers at the crossing	14	P ₁₄	Check the status of the obstacle stoplight in two directions
6	P ₆	Checking the status of the audible signal at the crossing	15	P ₁₅	Control the position of the push-button when the crossing is not released from the vehicle
7	P ₇	Check the status of the audible alarm switch button on the switch	16	P ₁₆	Checking the condition of the obstacle stoplight in the single direction
8	P ₈	Check the status of the emergency exit button	17	P ₁₇	Checking the condition of traffic lights in the single direction
9	P ₉	Check that the crossing is not unloaded from the vehicle	18	P ₁₈	Checking the condition of traffic lights at the crossing

Table 2

Conditions for the transition of devices in the transition from one state to another

№	t_i	Multipletransfers	№	t_i	Multipletransfers
1	t_1	Crossing from the crossing section to the crossing in the odd direction	13	t_{13}	Switching from the position of the obstacle stoplight in a double direction to the position of the stoplight in a double direction
2	t_2	Crossing crossing the intersection approaching the crossing in a single direction	14	t_{14}	Switch from the position of the obstacle stoplight in the double direction to the position of the sign on the crosswalk
3	t_3	Crossing is the passage of a pair of directions from the intersection approaching the crossing to the crossing to determine the vacancy	15	t_{15}	Switching from the push-button position to the double-barrier stoplight mode when the crossing is not released from the vehicle
4	t_4	Crossing is the passage of a crossing approach to a crossing in a double direction to a vacant employment detection section	16	t_{16}	Switch from the position of the barrier devices in the crossing to the position of the board in the crossing
5	t_5	Go from the crossing vacancy detection section to check the condition of the beam	17	t_{17}	Switch from the position of the locators on the crossing to the position of the barrier devices on the crossing
6	t_6	switch from checking the condition of the crossing beam to checking the condition of the barrier	18	t_{18}	Switch from the position of the barrier devices on the crossing to the position of the locators on the crossing
7	t_7	go from the crossing idle detection section to check the status of the emergency opening button	19	t_{19}	Transition from the position of the crossing to the position of unloading the crossing

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

8	t_8	Switch from checking the status of the emergency release button to checking the status of the barrier	20	t_{20}	Switch from checking the status of the emergency release button to the status of the barrier devices on the crossing
9	t_9	switch from the position of the crossing sound signal switch button to the position of the crossing sound signal	21	t_{21}	Switch from non-exit mode to push button mode
10	t_{10}	Switch from checking the position of the barrier to the position of the table in crossing	22	t_{22}	Switching from the position of the push-button to the position of the barrier stoplight in an odd direction when the crossing is not released from the vehicle
11	t_{11}	Switch from the position of the sign on the crossing to the position of the traffic lights at the crossing	23	t_{23}	Switch from single-lane barrier traffic lights to single-lane traffic lights
12	t_{12}	Switch from the position of the obstacle stoplight in the odd direction to the position of the crossing table			

According to the matrix method of Petri Nets mathematics, j is equal to the ije element at the intersection of the row and e is the column, if p_e is an arc from the top of the place and t_j is an arc from the top of the transition, otherwise it is zero. The oje element standing at the intersection of the j -row and the e -column is equal to t_j if there is an arc from the transition vertex to the top of the p_e point, and zero if there is no arc from t_j . If there is a bow from t_j to p_e , Petri Nets will not exist. It is possible to write in the form of expressions (9), (10) - input, (11), (12) - output conditions of the conditions of transition of devices in the transition from one state to another state of Petri Nets mathematics.

The inputs for checking the transition conditions of the devices in the crossover from one state to another are as follows: $I(t_1) = \{p_2, p_5, p_{10}, p_{18}\}$, $I(t_2) = \{p_1\}$, $I(t_3) = \{p_3\}$, $I(t_4) = \{p_2, p_5, p_{10}, p_{18}\}$, $I(t_5) = \{p_2\}$,

$$\begin{aligned}
 O(t_4) &= \{p_3\}, O(t_5) = \{p_4\}, O(t_6) = \{p_5\}, O(t_7) = \{p_8\}, O(t_8) = \{p_5\}, \\
 O(t_9) &= \{p_6\}, O(t_{10}) = \{p_{12}\}, O(t_{11}) = \{p_{18}\}, O(t_{12}) = \{p_{12}\}, O(t_{13}) = \{p_{13}\}, \\
 O(t_{14}) &= \{p_{12}\}, O(t_{15}) = \{p_{14}\}, O(t_{16}) = \{p_{12}\}, O(t_{17}) = \{p_{11}\}, O(t_{18}) = \{p_{10}\}, \\
 O(t_{19}) &= \{p_9\}, O(t_{20}) = \{p_{11}\}, O(t_{21}) = \{p_{15}\}, O(t_{22}) = \{p_{16}\}, O(t_{23}) = \{p_{17}\}.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

according to expression (12) the expression forms a matrix in appearance.

$$o_{j\varepsilon} = \begin{cases} 1, \text{azap} \rightarrow p_\varepsilon \in P^0 t_j \cup t_j \in T^I p_\varepsilon, \\ 0, \text{azap} \rightarrow p_\varepsilon \notin P^0 t_j \cap t_j \notin T^I p_\varepsilon. \end{cases}
 \tag{12}$$

The matrix values in the form of expressions (10) and (13) are given in terms of checking the transition conditions of the devices in the transition state from one state to the next state.

A value of 1 in the matrix indicates that the state of the devices in the switch is performed on the condition that they pass from one state to the next.

A value of 0 in the matrix, on the other hand, indicates that the state of the devices in the matrix has not been met on the condition that it passes from one state to another.

$$O = |o_{j\varepsilon}| = \begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix}
 \tag{13}$$

Results

Here we determine in which direction the train is approaching the crossing using [19-21] cases P1 or P3, as shown in Table 1 and Figure 5. The vacancy or busyness of the transition is determined by the position of P2 (or depending on the transitions t1, t2, t3, and t4, respectively). After that, if the crossing is busy, the control of the state of non-discharge of the crossing from the motor vehicle by switching to t19 is switched to position P9. Then the shift officer presses the button P15, which is pressed when the crossing is not released from the vehicle, by passing the button t21, which is pressed when the crossing is not released from the vehicle. After pressing the button when the crossing is unloaded from the vehicle, the obstacle stoplights in the single or double t22 or t15 direction change to the P16 and P14 position, depending on which direction the direction of movement is from, and the driver of the train approaching the crossing from the t2ve or t13 stop in the single or double direction. sees the directional stop lights switched to the stop light in P17 or P13 position. In this case, the train stopped at the approaching section of the train until the fault or obstruction in the crossing was eliminated.

For the normal operation of the PAS system, the condition of the devices on the crossing and the conditions of transition of the crossing devices from one state to the next state work in accordance with the rules of technical operation.

Conclusion

In particular, the introduction of high-speed trains leads to an increase in the time of approach to the crossings located on the railway sections. This leads to an increase in waiting times for vehicles at crossings. With this in mind, it is possible to reduce the waiting time of vehicles on the crossings and calculate the optimal approach time for each train approaching the crossing by calculating the approach time of trains to the crossings based on the dynamic parameters of trains. With this in mind, the principle of operation of automatic signaling of the crossing was modeled using Seth Petrie's mathematics. The values given in expressions (10) and (12) are shown in Figure 4 showing the interrelationships of the transition devices. Here, the conditions for the transition of the device from one state to another are based on the rules of technical use, and under what conditions the transition should be in what state.

Literature

1. The concept of development of high-speed and high-speed passenger trains on the railways of Uzbekistan / JSC "Boshtransloyikha". - Tashkent, 2010. -- 89 p.
2. Rules for the technical operation of the railways of the Republic of Uzbekistan. Tashkent, 2001. – 168p.
3. Vasilenko M.N. Automation of calculation of the parameters of the crossing signaling / M.N. Vasilenko, T.A. Telezhenko, S.I. Valiev //Izv. PGUPS. - 2010. - Issue. 3. - P. 53–61.
4. Pozdnyakov V.A. Safety at railway crossings / V.A. Pozdnyakov, Yu.A. Tyupkin – URL : <http://www.css-rzd.ru/zdm/03-2000/00039.htm>.
5. Calculation of the parameters of the crossing signaling: guidelines for the design of automation, telemechanics and communication devices in railway transport I-276-00. - M.: GTSS, 2000. -- 36 p.
6. Nikitin A.B., Boltaev S.T. Ensuring safety at station crossings when organizing high-speed traffic on existing lines /A.B. Nikitin, S.T. Boltaev // Bulletin of the Petersburg University of Railways. - St. Petersburg: PGUPS, 2016. - No. 2. -P. 206-214.
7. Sapozhnikov VI. V. Operational bases of automation and telemechanics /VI.V. Sapozhnikov. - M.: Transport, 2006. – 247 p.
8. Soloviev A.L. Microprocessor-based crossing signaling with axle counting equipment /A.L. Soloviev, V.A. Cheblakov, A.F. Petrov // Automation, communication, informatics. – 2008. – № 6. – C. 2–5.
9. Telezhenko T.A. Features of the calculation of the parameters of station crossings / T.A. Telezhenko // Automation, communication, informatics. - 2006. - No. 6. - P. 27-29; No. 8. - p. 20–23.
10. Technical solutions microprocessor-based automatic crossing signaling system for crossings without a duty employee (APS MN-N) UZhDA-04-02 TR. - Yekaterinburg, 2005. - 17 p.
11. Cheblakov V.A. New crossing signaling systems / V.A. Cheblakov, V. A. Shevtsov // Automation, communication, informatics. - 2014. - No. 14. -P. 6–8.
12. Shchigolev S. A. Microprocessor system of automatic crossing signaling APSMP-M / S. A. Shchigolev, A. V. Kondakova // RSPEkspert. - 2014. - No. 2. -P. 22–23.
13. Shchigolev S. A. Complex solution to transport problems / S.A. Shchigolev // Eurasia Vesti. - 2010. - No. 12. -P. 20.
14. Shchigolev S.A. Track sensors for railway automation devices / S.A. Shchigolev, A.V. Kondakova, D.E. Sobol //Automation, communication, informatics. - 2013. - No. 11. - P. 23–24.
15. Anthony Spiteri Staines Ordinary Petri Net Matrices. ITM Web of Conferences 24, 02007 (2019) AMCSE 2018.

<https://doi.org/10.1051/itmconf/20192402007>.

16. Jorg Desel and Javier Esparza FREE CHOICE PETRI NETS. Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science. Cambridge University Press 1995. – 244pp.

17. Di Cesare F., Harhalakis G., Proth J. M., Silva M., Vernadat F.B. Practice of Petri Nets in Manufacturing I F. Di Cesare. Hong Kong, 1993. – 302 pp.

18. Jensen, K.: Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. Springer, Berlin (1997). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60794-3>

19. İlker Üstoğlu, Danie Töpel, Mustafa Seçkin Durmus and Roman Yurievich Tsarev. Obtaining Generic Petri Net Models of Railway Signaling Equipment Intelligent Systems Applications in Software Engineering, Proceedings of 3rd Computational Methods in Systems and Software 2019, Vol. 1 - pp.174-188.

20. Uğur YILDIRIM, Mustafa Seçkin DURMUŞ, Mehmet Turan Söylemez Fail-Safe Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: An Automation Petri Net Approach. Proceedings of 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems (IMS 2010), International University of Sarajevo, Sakarya University Department of Industrial Engineering, Sarajevo, Bosnia Herzegovina, September 15-17, 2010 -pp. 461-470.

21. Durmus M.S., Yıldırım U., Kursun A., Söylemez M.T. Fail-Safe Signalization Design for a Railway Yard: A Level Crossing Case. Discrete Event Systems 10 (1) 2010 - pp. 337-342.

*Presented by Tashkent
State Transport University*

UDC 621.472 001.5

**FEATURES OF THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR STATIONS
IN DECENTRALIZED POWER SUPPLY****A.Y. Jumayev**

В работе представлен анализ использования фотоэлектрических солнечных станций в децентрализованном электроснабжении в регионах Туркменистана. На основе проведенных расчетов солнечной радиации в регионах Туркменистана получена оценка количества падающей солнечной энергии, поступающая на поверхность солнечной панели. Определены критерии для оценки рационального режима работы фотоэлектрических солнечных станций и ожидаемое количество выработки электроэнергии солнечными панелями. Экономически целесообразное применение фотоэлектрических солнечных станций возможно при обоснованном определении мощности и соотношения источников энергии для электроснабжения объектов и территории. Это можно осуществить, используя достоверные данные о потенциале солнечной энергии в заданной географической точке, с учетом непостоянства его проявления (в частности прихода солнечной радиации), а также многовариантности расположения источников генерации на рассматриваемой территории. Получить информацию об инсоляции можно, например, на метеорологических станциях, однако она может ограничена местом их расположения. Кроме того, интенсивность потока солнечного излучения можно определить расчетными методами, но они трудоемки и требуют дополнительной верификации результатов. То есть, возможно для оценки потенциала солнечной энергии на предварительном этапе проектирования фотоэлектрических солнечных станций в любой точке на территории области могут использоваться данные об интенсивности солнечного излучения в её областном центре.

The paper presents an analysis of the use of photovoltaic solar stations in the decentralized power supply in the regions of Turkmenistan. Based on the calculations of solar radiation in the regions of Turkmenistan, an estimate of the amount of incident solar energy entering the surface of the solar panel is obtained. The criteria for evaluating the rational mode of operation of photovoltaic solar stations and the expected amount of electricity generated by solar panels are defined. Economic feasibility of applying of photovoltaic solar stations is possible with a reasonable definition of power and ratio of energy sources for power supply of objects and territories. This can be accomplished using reliable data on the solar energy potential in a given geographic location, taking into account the variability of its manifestations (particularly solar

radiation inflow), as well as the multi-variant of generation source location on the territory under consideration. It is possible to get information about insolation, for example, at meteorological stations, but it may be limited by their locations. Furthermore, the intensity of solar radiation flow can be determined by calculation methods, but they are cumbersome and require additional verification of results. In other words, to assess the solar energy potential at the preliminary phase of designing solar power plants anywhere in the region there can be used data on solar radiation intensity in its regional center.

The resolution of the President of Turkmenistan dated December 4, 2020 approved the "National Strategy for the Development of Renewable Energy until 2030". The national strategy of Turkmenistan for the development of renewable energy was developed with the aim of diversifying fuel and energy resources, increasing the export potential of natural gas and electricity, providing remote regions with low-cost and clean energy, improving the living standards of the population and developing industry, as well as achieving the Sustainable Development Goals and the Paris Climate Agreement [9, 10].

Turkmenistan has a great potential to widely developed the solar electric generating systems. This huge energy resources will significantly lead the country to support the international efforts to reduce the emissions of greenhouse gases (GHGs). The renewable energy resources provide a reliable alternative to mitigate the unwanted consequences of climate change, to produce the safe energy and achieve sustainable development. The main objective of this report is to plan the best locations to develop the solar electric generating systems in Turkmenistan based on geoinformation system and satellite remote sensing [8].

According to climate conditions, the structure and needs of agricultural development, Turkmenistan is one of the most promising regions in the world where the use of solar energy can and should find practical implementation. This applies primarily to the desert part of the territory, which is remote from the cultural zone, where there are no energy and water sources. There are two ways to involve the potential of the desert territory in the development of agriculture: industrial and autonomous micro-complexes [18, 19, 20].

The methods applied in this article are inspired by a research conducted in Russia, where the values of the solar radiation intensity were calculated for urban districts of the Rostov region and there were determined the distances at which you can reliably use these calculated data, based on the geographical coordinates of the cities along the lines of latitude and longitude. Calculated insolation in each of them was compared with similar values for the regional center – the city of Rostov-on-Don, where the weather station is located. The calculation results revealed that the annual insolation values for cities that are centers of districts and regions do not differ significantly and are in the range of 0,2-2,4 %. In other words, the study concludes that to assess the solar energy

potential at the preliminary phase of designing solar power plants anywhere in the region one can use data on solar radiation intensity in its regional center—the city of Rostov-on-Don [1,4,5,6,11,12].

To ensure the capacity of the power plant required a total area of solar panels is determined based on the data about the efficiency of a photovoltaic array and a specific level of illumination of the surface of solar panels, which in turn depends on the time of day, latitude, climate and slope of the photoconverter with respect to the horizontal surface [13, 14, 16, 17].

The initial data for determining the economic efficiency of using photovoltaic solar stations (FSS) are:

- average monthly daily amount of solar radiation E , kW·h/m²;
- the average annual amount of total solar radiation on a horizontal surface E_{year} , kW·h/m²
- average monthly amounts of total solar radiation per horizontal surface E_{month} , kW·h/m²;
- average monthly daily energy illumination E , kW/m².

The technical acceptable level of solar radiation at present can be determined from the expression [13]

$$E \geq 0,2 \text{ kw/m}^2 \quad (1)$$

In a decentralized power supply, for the production of AC electrical energy of standard parameters, in addition to the photovoltaic converter itself, a semiconductor DC voltage converter, an electric power storage device – a battery (AB), a controller, switching equipment, etc. are required. The unit cost of a complete FSS increases in accordance to $K_{unit \text{ cost}} = 800\text{-}1000$ dollars/kW installed capacity [13].

To determine the required power of photovoltaic converters, it is advisable to use data not on the total installed power of electricity consumers of the power supply facility P, but on the average daily electricity consumption W.

The use of an autonomous FSS in a decentralized power supply in the mode of long-term continuous operation assumes the absence of periodic recharging of the AB from an external source. In this case, the photovoltaic converter is the only source of energy in the system, which, at a minimum of its peak power, should fully provide electricity to the autonomous object.

To determine the power of the FSS, it is necessary to calculate the total amount of electricity that can be generated by one solar panel over the estimated period of time. The calculation will require the value of solar radiation, which is taken during the operation of the station, when solar radiation is minimal E_{month} . In the case of year-round operation - this is December.

By determining the value of solar radiation for the period of interest and dividing it by 1000, we get the so-called number of pick hours, i.e., the conditional time during which the sun shines with an intensity of 1000 W/m².

A solar panel with a power of P_{panel} will generate the following amount of energy during the selected time period:

$$W_{pan} = (k \cdot P_{pan} \cdot E) / 1000, kW \cdot h, \quad (2)$$

where E is the value of the insolation for the selected period in $kW \cdot h/m^2$; k – a coefficient that takes into account the correction for the loss of power of solar panels when heated in the sun, as well as the oblique incidence of rays on the surface of photovoltaic converters during the day.

The value of k is assumed to be 0,5 in summer and 0,7 in winter. The difference in its value in winter and summer is due to less heating of the panels and less solar insolation in winter.

The total power of the FSS panels is determined from the expression:

$$P_{FSS} = (30 \cdot W / W_{pan}) \cdot P_{pan}, kW, \quad (3)$$

where W is the average daily electricity consumption of the power supply facility, kWh.

Table 1 shows the average monthly daily amounts of solar radiation, monthly and total annual values of solar radiation ($kW \cdot h/m^2$) for cities and etraps of the Akhal Velayat of Turkmenistan, as well as with gradation at different angles of inclination of the surface of solar panels relative to the horizontal surface.

In a scientific article [8] direct solar radiation incident on a horizontal surface (Direct Normal Irradiance, DNI) is being studied and a large energy potential for the introduction of FSS in the territory of Turkmenistan has been identified. The data obtained in 2012 by the SRTMV2 (Shuttle Radar Topography Mission) and MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) methods showed that the solar radiation falling on the horizontal surface during the year is about $1800 kW \cdot h/m^2$ and 75% of the territory has a high potential, 11,5% of the territory has an average potential and 13,5% of the territory has a low potential for implementing the FSS.

The criterion for determining the rational mode of operation of the FSS (year-round or seasonal) can serve as data on the total radiation to the earth's surface:

$$K_{rad} = E_{year} / E_{month} \quad [4]$$

where E_{year} is the average annual amount of total radiation on a horizontal surface, $kW \cdot h/m^2$; E_{month} is the average monthly amount of total radiation on a horizontal surface, the minimum during the year, $kW \cdot h/m^2$. If the K_{rad} value is greater than 50, only seasonal application of the FSS is possible.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Table 1.
Average monthly daily amounts of solar radiation, kW·h/m²

	january	february	march	april	may	june	july	august	septembre	october	novembre	december	annual
Ashgabat city													
northern latitude 37,9 ^o	2,21	3,0	3,86	4,95	6,01	6,76	6,72	6,16	5,04	3,7	2,63	2,08	4,43
horizontal position of the panels (day)													
Inclination of the panel 36 ^o (day)	3,699	4,377	4,786	5,039	5,475	5,854	5,94	6,006	5,72	5,11	4,305	3,673	4,999
horizontal position of the panels (month)	68,51	84,0	119,66	148,5	186,31	202,8	208,32	190,96	151,2	114,7	78,9	64,48	1618,34
Inclination of the panels 36 ^o (month)	114,669	122,556	148,366	151,17	169,725	175,62	184,14	186,186	171,6	158,41	129,15	113,863	825,455
Tejen etrap													
northern latitude 37,4 ^o	2,28	3,13	3,92	5,0	6,08	6,94	6,86	6,28	5,1	3,65	2,61	2,03	4,5
horizontal position of the panels (day)													
Inclination of the panel 36 ^o (day)	3,785	4,532	4,833	5,075	5,521	5,996	6,044	6,098	5,763	4,96	4,278	3,725	5,051
horizontal position of the panels (month)	70,68	87,64	121,52	150,0	188,48	208,2	212,66	194,68	153,0	113,15	78,3	62,93	641,24
Inclination of the panels 36 ^o (month)	117,329	126,903	149,834	152,25	171,14	179,885	187,353	189,034	172,89	153,771	128,334	115,477	844,2
Gokdepe etrap													
norther latitude 38,2 ^o	2,21	3,14	3,94	4,94	6,03	6,77	6,73	6,16	4,95	3,48	2,43	1,96	4,4
horizontal position of the panels (day)													
Inclination of the panel 36 ^o (day)	3,717	4,578	4,708	5,049	5,499	5,876	5,97	6,024	5,628	4,764	4,002	3,481	4,941
horizontal position of the panels (month)	68,51	87,92	122,14	148,2	186,13	203,1	208,63	190,96	148,5	107,88	72,9	60,76	606,43
Inclination of the panels 36 ^o (month)	115,234	128,187	145,957	151,46	170,48	176,291	185,055	186,759	168,845	147,688	120,066	107,91	803,932
Baharden etrap													
Northern latitude 38,4 ^o	2,18	2,99	3,87	4,91	5,95	6,69	6,5	5,96	4,97	3,55	2,49	1,99	4,34
horizontal position of the panels (day)													
Inclination of the panel 36 ^o (day)	3,682	4,422	4,632	5,023	5,438	5,827	5,766	5,829	5,671	4,874	4,113	3,554	4,903
horizontal position of the panels (month)	67,58	83,72	119,97	147,3	184,45	200,7	201,5	184,76	149,1	110,05	74,7	61,69	585,52
Inclination of the panels 36 ^o (month)	114,143	123,822	143,604	150,688	168,587	174,81	178,731	180,699	170,123	151,099	123,404	110,178	789,887

The applied spatial data consisted of DEM (Digital Elevation Model), land use data, road network, the water bodies. The DEM of Turkmenistan was extracted from SRTM V2 to generate slope, aspect, and solar map. The rest of the spatial data was extracted from MODIS satellite image for the year 2012. The data was used to conduct a model based on MCE (Multi Criteria Evaluation) subsequent to data standardization by fuzzy set membership function. The outcomes addressed the most and least suitable areas to plan the best locations for solar electric generating systems[8].

The intensity of solar radiation falling on the surface of a solar battery tilted relative to the horizon at the optimal angle in the territory of Turkmenistan varies from 1819,882 kW·h/m² annually for Balkanabat to 1897,407 kW·h/m² annually for Mary city[7 2, 3]. Table 2 shows the values of the criteria for determining the rational mode of operation of the FSS for the cities and etrap of the Akhal Velayat of Turkmenistan. The results of the study showed that the value of K_{rad} varies from 15 to 32. This shows the possibility of year-round use of the FSS.

Table 2.

K_{prad} criteria for determining the rational mode of operation of the FSS

№	Velayat	City, etrap	Inclination of the panel relative to the horizontal surface, degrees	The average annual total radiation entering the inclined surface of the solar panel, kW·h/m ²	Average monthly amount of total radiation coming to the inclined surface, minimum during the year, kW·h/m ²	K_{prad} criteria for determining the rational mode of operation of the FSS
1	Ahal	Ashgabat	0	1618,34	64,48	25,1
			36	1825,455	113,863	16,03
2	Ahal	Tejen	0	1641,24	62,93	26,08
			36	1844,2	115,477	15,97
3	Ahal	Gokdepe	0	1606,43	60,76	26,44
			36	1803,932	107,91	16,72
4	Ahal	Baherden	0	1585,52	61,69	25,7
			36	1789,887	110,178	16,25

We will consider the areas of the Akhal Velayat for the possibility and feasibility of installing solar power plants in the private sector, and also consider the possibility of using the FSS in settlements isolated from the central power supply. Table 3 lists the average data values of the intensity of solar radiation incident on an inclined surface solar panels at different angles of inclination to the horizon for areas of Ahal velayat [7, 15].

Table 3.
Average annual total radiation entering the inclined surface of the solar panel

Velayat in Turkmenistan	City or etrap	Geographical coordinates, degrees		Average annual total radiation entering the inclined surface of the solar panel, kW·h/m ²	
		Northern Latitude	East longitude		
				Inclination angle $\beta=36^{\circ}$	Inclination angle $\beta=38^{\circ}$
Ahal	Gokdepe	38,2	58,0	1803,932	1802,125
	Baherden	38,4	57,4	1789,887	1785,711
	Ashgabat	37,9	58,3	1825,455	1816,144
	Tejen	37,4	60,5	1844,2	1827,226

We determine by the formula (2) the total amount of electricity that can be generated by one solar panel. For a solar panel with a capacity of 250W, the value of the W_{pan} will be 21,106 kW·h for the Gokdepa etrap, 21,265 kW·h for the Baharden etrap, 21,611 kW·h for Tejen etrap and 21,45 kW·h for Ashgabat, respectively.

With an average daily electricity consumption of 3570 kW·h (Ahal velayat Gokdepinsky etrap village Bori) and 240 kW·h (Ahal velayat Gokdepinsky etrap village Yandakli), the required total power of the FSS calculated by formula (3) will be about 1269 kW and 85 kW, respectively (Table4).

Table 4.
Total power of the FSS

City or etrap	Name village in etrap	Count of house	Average daily electricity consumption, kW·h	Power of the FSS, kW
Baherden	Kirpili	177	2655	936
Gokdepe	Gorya	10	150	53
Gokdepe (Derveze)	Bori	238	3570	1269
Tejen	Garajaowlak	79	1185	411
Baherden	Hajyolen	12	180	64
Gokdepe	Yandakly	16	240	85

References

1. Daus Yu.V., Kharchenko V.V., Yudaev I.V. Analysis of solar potential on the territory of the Rostov region of the Russian Federation// Proceeding of international conference “Energy of Moldova-2016. Regional aspects of development”. (29 September-01 October , 2016).-Chisinau, Republic of Moldova,2016. - p 482-484.
2. Jumayev A., Jumayev B., Sariyev K. Building Photoelectrical Power Station in the Region of Turkmenistan. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global, Chapter 3. 2018.- p. 61-85.
3. Jumayev A., Jumayev B., Sariyev K. Complex usage of renewable energy sources in the regions of Turkmenistan//Ekaterinburg: International research journal.- 2017. -№12(66), - p. 77-83.
4. Kharchenko V., Nikitin B., Tikhonov P., Gusarov V. Investigation of experimental flat PV thermal module parametres in natural conditions// Conference Proceeding - 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering.(3-6 September, 2013).- Prague, Czech Republic,2013.p. 309-313.
5. Kharchenko V., Adomavicius V., Valickas J., Gusarov V. Res-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture. // Conference Proceeding - 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering.(3-6 September, 2013).- Prague, Czech Republic,2013.p. 51-55.
6. Komendantova N., Schwarz M.M., Amann W. Economic and regulatory feasibility of solar PV in the Austrian multiapartment housing sector. (2018), AIMS Energy, vol. 6, issue 5, 2018. p. 810-831.
7. Nazarow S., Jumaýew A. Türkmenistanyň welaýatlarynda Günüň energiýasyny ulanmak mümkinçiligi.// Türkmenistanda ylym we tehnika. – 2019. -№6, - C. 54-59.
8. Ramin, N., Bairam, K. C. Planing the best locations for solar electric generating systems in Turkmenistan// International conference Science, technology and innovative technologies in the prosperous epoch of the powerful state. (2015, June), - Ashgabat. 2015. p. 254-256.
9. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Türkmenistanda 2030-njy ýyla çenli gaýtadan dikeldilýän energetikany ösdürmek boýunça Milli Strategiýa. Aşgabat, 2020ý.
10. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Energiýany tygşytlamagyň 2018-2024-nji ýyllar üçin Döwlet maksatnamasy. Aşgabat, 2018ý.
11. Yu.V. Daus, v.V. Kharchenko, and I.V. Yudaev. Evaluation of the Radiation Intensity for the Territory of the Southern Federal District of Russia

when designing microgrids based on the renewable Energy Sources// Applied Solar Energy.- 2016. Vol. 52, - №2. p.124-129.

12. Yu.V. Daus, V.V. Kharchenko, and I.V. Yudaev. Evaluation of Solar Radiation Intensity for the Territory of the Southern Federal District of Russia when Designing Microgrids Based on Renewable Energy Sources// Applied Solar Energy.- 2016, Vol 52, № 2, -p. 151-156.

13. Бурмистров А.А., Виссарионов Г.В., Дерюгина Г.В. и др. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учебное пособие.- М.: Издательский дом МЭИ. 2009. -144 с.

14. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

15. Джумаев А.Я. Возможности использования солнечной энергии в регионах Туркменистана// Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. Научно-практический журнал. – 2020. - №3/4(82,83). - С. 74-80.

16. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2008. – 184 с.

17. Лосюк Ю.А., Кузьмич В.В. Нетрадиционные источники энергии: Учебное пособие.- Мн.: УП «Технопринт», 2005. -234с.

18. Пенджиёв А.М., Мамедсахатов Б.Д. Основные условия и факторы развития фотоэнергетики в Туркменистане// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology.-2007.-№7(51).- p 62-66.

19. Стребков Д.С., Пенджиёв А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. – М.:ГНУ ВИЭСХ. 2012. - 496с.

20. Рыбаковой Л.Е. Использование солнечной энергии. - А.: Ылым, 1985, - 280с.

*Presented by state
energy institute of Turkmenistan*

УДК 665.6

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА**Б.Ш. Акрамов, Ш.Х. Умедов, Ж.Ф. Нуритдинов, Т.О. Комилов**

Маколада Шимолий Шўртан кони мисолида нефт ва нефтгаз конларни ишлатиш жараёнида йўлдош газнинг утилизация қилиш масалалари кўриб чиқилган. Йўлдош нефт газидан олинадиган махсулотлар сифатида қуруқ газ ва суюлтирилган углеводород газлари белгиланган. Дунёда суюлтирилган углеводород газига эҳтиёж ортиб бориши ва унинг ривожланиши, хомашё мустақиллигини таъминлаш имкониятини беради. Air Visual компаниясининг маълумотига кўра, ҳавонинг ифлосланганлиги бўйича Ўзбекистон 16-ўринни эгаллайди. Шу сабаб, йўлдош газни йўқотиш нефт ва газ соҳасида асосий муаммолардан бири ҳисобланади. 2004-йилгача Ўзбекистонда табиий йўлдош газ машъалларда тўлик ёқиларди. Бу жараён билан қурашиш мақсадида 2013-йилга бориб, табиий йўлдош газнинг 75 %, 2018-йилда эса 83 % утилизация қилинишига эришилди. Табиий йўлдош нефт газини утилизация қилиш ва унинг самарадорлигини ошириш мақсадида қуйидаги 4 та асосий омил тавсия этилди: кон жойлашган ҳудуднинг инфратузилмаси, коннинг ишлатилиш босқичи ва газнинг сонли ва сифатли тавсифи. Табиий йўлдош газни утилизация қилишда энергия тежамкорлигининг яна бир истиқболли йуналишларидан ҳисобланган газни ёкмай туриб, детандергенератор агрегатлари ёрдамида йўлдош газдан фойдаланиб, экологик тоза электр энергия ишлаб чиқариш усули тавсия этилган. Бу усул магистрал газ қувури тизимида газни узатиш ва тақсимлашдаги босимнинг технологик ўзгаришига асосланган. Ҳозирги кунда табиий йўлдош нефт газининг машъаллара ёқиши кескин камайган бўлиб, бу газ асосан электр энергияси ишлаб чиқариш ёки қайта ишлашда фойдаланилади. Ишлаб чиқилган электр энергияни газ қувурларининг электр-кимё ҳимоясини тўхтовсиз таъминлашдаги энергия таъминот, газ тақсимлагич станциялари ва газ билан таъминлашнинг бошқа объектларида ҳисоблагич асбобларини таъминлашда Rotaflex туридаги насос ускуналарини ишлатишда ҳамда ўз эҳтиёжига ишлатишга сарфлаш мумкин.

В статье рассмотрены вопросы энергосберегающих технологий утилизации попутного нефтяного газа при разработке нефтяных и нефтегазовых месторождений на примере месторождения Северный Шуртан. Показано, что товарными, продуктами, получаемыми из попутного нефтяного газа, являются: сухой газ, виды сжиженных углево-

дородных газов. Спрос на сжиженные углеводородные газы в мире постоянно растет, увеличение его производства может сделать шаг в сторону независимости от сырьевой экономики. Отмечено, что по качеству воздуха по данным компании Air Visual, Узбекистан занял 16-е место в мире по загрязненности воздуха. По этой причине сжигание попутного нефтяного газа является одним из основных проблем нашей нефтегазовой сферы. Если до 2004 года в Узбекистане попутный газ полностью сжигался на факелах, то на начало 2013 года достигнута утилизация до 75 %, а на начало 2018 года до 83 %. Предложены четыре основных критерия, определяющие выбор мероприятий по утилизации нефтяного газа и оценивающим его рентабельность: инфраструктура района расположения месторождения; стадия разработки месторождения; количественная и качественная характеристики газа. Предложено одно из перспективных направлений энергосбережения – применение детандер-генераторных агрегатов для выработки экологически чистой электроэнергии (без сжигания топлива) за счёт использования технологического перепада давления газа в системах магистрального транспорта и распределения природного газа. Выявлено, что на сегодняшний день попутный нефтяной газ стали сжигать на факелах все реже, а, в основном, он используется на электростанциях или поступает на газопереработку. Выработанную электроэнергию рекомендовано использовать для бесперебойного электроснабжения средств электрохимической защиты на линейной части газопроводов, приборов учета газа на газораспределительных станциях и других объектов газоснабжения (близлежащих объектов в газорегуляторных пунктах), при эксплуатации насосных установок “Rotaflex”, а также на собственные нужды.

The article addresses the issues of energy-saving technologies for utilization of associated petroleum gas in the development of oil and oil fields using the example of the North Shurtan field. It is shown that the commercial products obtained from associated petroleum gas are: dry gas, types of liquefied hydrocarbon gases. The demand for liquefied hydrocarbon gases in the world is constantly growing, an increase in its production can take a step towards independence from the commodity economy. It was noted that according to Air Visual, Uzbekistan took 16th place with air pollution. For this reason, associated petroleum gas combustion is one of the main problems of our oil and gas sector. Until 2004, in Uzbekistan, associated gas was completely burned on flares, then at the beginning of 2013 recycling was achieved up to 75%, and at the beginning of 2018 up to 83%. Four main criteria were proposed that determine the choice of events for the utilization of petroleum gas and assess their profitability: infrastructure of the field location area; development stage of the deposit; quantity of gas and quality of gas. One of the promising areas of energy saving is the use of expander-generator units for the generation of

environmentally friendly electricity (without fuel combustion) due to the use of technological gas pressure drop in main-line transport and natural gas distribution systems. It was revealed that today associated petroleum gas began to be burned on flares less and less often, and mainly it is used at power plants or goes to gas processing. It is recommended to use the generated electricity for uninterrupted power supply of electrochemical protection devices on the linear part of gas pipelines, gas metering devices at gas distribution stations and other gas supply facilities (nearby gas control points facilities), during the operation of Rotaflex pumping plants, as well as for their own needs.

Многие нефтедобывающие страны мира ставят перед собой задачу ведения экономически, технически и экологически обоснованной деятельности предприятий нефтяного бизнеса [1-7]. Существует ряд факторов, ограничивающих возможность осуществления максимально эффективной, рациональной и безопасной для окружающей среды добычи природных ископаемых. В связи с этим каждый год вводятся новые нормативно – правовые акты, которые ужесточают требования к нефтегазовым компаниям по вопросам утилизации свободного нефтяного газа, в частности, предусматривают увеличение налагаемых штрафов за сверхлимитное сжигание низконапорного газа на факельных установках [14-19].

На сегодняшний день возрастает актуальность полезного использования свободного нефтяного газа на нефтедобывающих промыслах, так как в результате его сжигания в атмосферу выбрасывается значительное количество CO₂, теряется потенциально выгодная энергия, которую можно направить на работу различных генераторов, оказывается негативное влияние на изменение климата [12-14].

В 2012 г. в РФ на нефтяных промыслах каждый год сжигается по последним данным до 20-25 млрд. кубометров попутного нефтяного газа (ПНГ). Еще до 12 млрд. куб. метров попадает в атмосферу через клапаны резервуаров нефтехранилищ. 1 тыс. м куб. ПНГ приблизительно эквивалентна 1 т обычной нефти, то есть счет идет на миллионы тон сырья. В то время как в США и Норвегии запрещено законом сжигание более 3% ПНГ. Юрий Трутнев [8-22] отмечает, что от переработки ПНГ в государственный бюджет могло поступать 362 млрд. рублей ежегодно, но вместо этого экономический ущерб от сжигания ПНГ составлял 139,2 млрд. рублей. Товарные продукты, получаемые из ПНГ, являются: сухой газ, виды сжиженных углеводородных газов (СУГ). Спрос на СУГ в мире постоянно растет, увеличение его производства может сделать шаг, в сторону независимости от сырьевой экономики [8-22].

Но, в последние годы российские нефтяники стараются использовать собственное топливо, для снабжения электроэнергией и теплом, как далекие месторождения, так и предприятия, расположенные в крупных

промышленных центрах. Следует отметить, что ПНГ стали сжигать на факелах все реже, а, в основном, он используется на электростанциях или поступает на газопереработку. Стимулом рационального использования ПНГ в России стало повышение штрафов за его сверхнормативное сжигание. По данным Всемирного банка в 2018 году Россия стала лидером по снижению объемов сжигания ПНГ (2,5 млрд. куб.м.).

По данным компании Air Visual качество воздуха в Узбекистане снизилось до 16-го места. По этой причине сжигание ПНГ является одним из основных проблем нашей нефтегазовой сферы. Если до 2004 года в Узбекистане попутный газ полностью сжигался на факелах, то на начало 2013 года достигнута утилизация до 75 %, а на начало 2018 года до 83 %. В результате, за счет утилизации попутного газа на нефтегазоконденсатном месторождении Кокдумалак выброс вредных веществ в атмосферу был сокращен на 37828,45 т (рис.1), Мубарекская группа месторождений – на 2053,3 т (рис.2), месторождение Шакарбулак – на 243,4 т в год [1-4].

При разработке нефтяных и нефтегазовых месторождений одним из проблем является утилизация попутного газа. В зависимости от способа добычи нефти попутный газ может иметь различные величины.

На сегодняшний день существуют различные способы утилизации попутного нефтяного газа. В свою очередь, эти методы позволяют отказаться от сжигания ценного ресурса. В данной статье предлагается применение попутного нефтяного газа либо для выработки электроэнергии, либо для водогазового воздействия на пласт.

Оценивая рентабельность мероприятий по утилизации попутного нефтяного газа, на практике существуют несколько основных критериев, которые определяют выбор того или иного способа: стадия разработки, расположение месторождения, количественная и качественная характеристика газа.

В мировой практике существуют четыре основных критерия, определяющие выбор мероприятий по утилизации нефтяного газа и оценивающим их рентабельность: инфраструктура района расположения месторождения; стадия разработки месторождения; количественная и качественная характеристики газа.

На месторождении Северный Шуртан, характеристика попутного газа, согласно выполненным анализам по содержанию метана и его гомологов, относятся к категории сухих метановых месторождений (рис.1). При этом содержание метана в них изменяется от 86,61% до 89,2%, а суммарное содержание его гомологов составляет 8,37% - 9,71%. Относительная плотность газа по воздуху изменяется в пределах: 0,65 - 0,654.

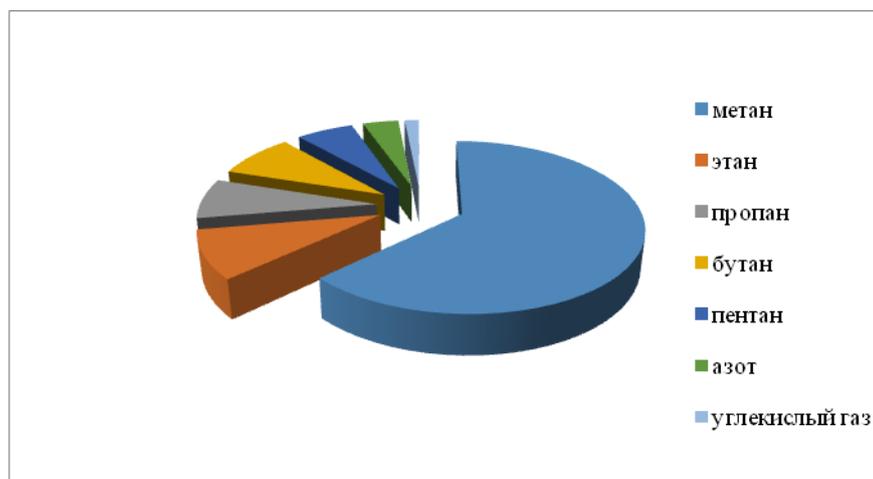


Рис.1. Состав попутного нефтяного газа месторождения Северный Шуртан

В исследованных пробах установлено также наличие неуглеводородных компонентов. Однако, в целом по залежи наблюдается пониженное содержание метана – от 75,44 до 87,96 % и повышенное содержание его гомологов – 9,46 - 16,7 %. Содержание азота 0,94 - 6,2 %, углекислого газа - 1,23 - 1,83 %, сероводорода – 0,02 - 0,07 % (по результатам полевых определений – 0,29 %).

Еще одно из направлений энергосбережения – применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА) для выработки экологически чистой электроэнергии (без сжигания топлива), то есть за счет использования технологического перепада давления газа в системах магистрального транспорта и распределения природного газа. При существующей в республике системе газоснабжения снижение давления транспортируемого природного газа производится обычно в двух ступенях – на газораспределительных станциях (ГРС) и на газорегуляторных пунктах (ГРП) и осуществляется за счет дросселирования. Применение вместо дросселя ДГА позволяет полезно использовать этот перепад давлений для производства электрической энергии.

В мировой практике накоплен значительный опыт успешной эксплуатации ДГА. Детандер-генератор подключается параллельно штатным регуляторам давления. Таким образом, часть газа, поступающего на ГРП, проходит через детандер, приводящий во вращение электрогенератор. Регулятор давления, находящийся за детандер-генератором, обеспечивает поддержание стабильного давления газа на выходе из ГРП. В случае возникновения внештатных ситуаций нормально закрытый электромагнитный клапан автоматически закрывается, прекращая прохождение газа через байпасную (обводную) линию.

ДГА – это устройство для получения электроэнергии за счет работы, совершаемой расширяющимся природным газом (без его сжигания). ДГА состоит из детандера, генератора, теплообменника, системы контроля и регулирования параметров процесса. В детандере энергия газового потока преобразуется в механическую работу, которая, в свою очередь, может быть преобразована в электрическую энергию в соединенном с детандером генераторе. При работе таких установок есть возможность помимо электроэнергии получать теплоту или холод.

Реализация этой технологии в простейшем виде осуществляется путем включения параллельно ГРС (ГРП) газопровода ДГА, работающего на перепаде давлений газа на ГРС (ГРП).

За сжиганием топлива следует ряд отрицательных воздействий на экологию, поэтому нужно уделять внимание производству экологически чистой электроэнергии. Применяя детандер-генераторный агрегат, позволяет выработать электроэнергию путем использования технологического перепада давления в системах магистрального транспорта и природного газа (рис.2.). Существует возможность эффективного использования перепада давления для выработки электроэнергии – это замена дросселя на ДГА.

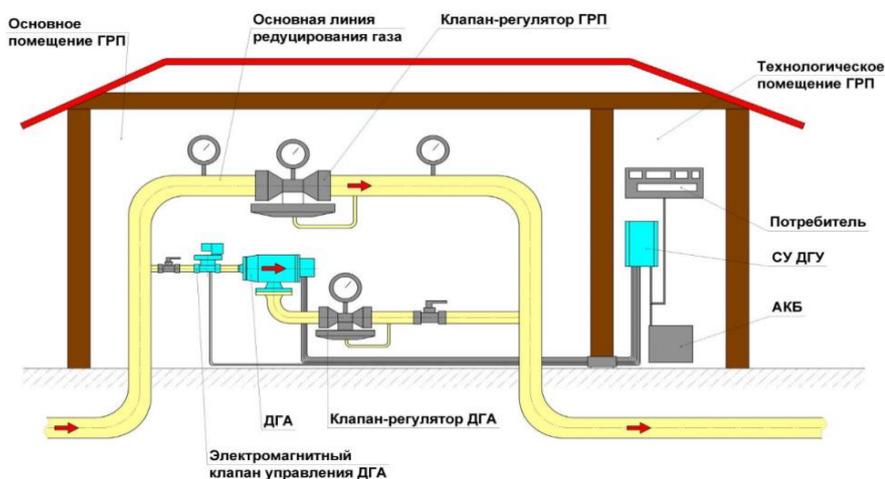


Рис.2. Схема подключения ДГА на линию газорегуляторных пунктов

Эксплуатация ДГА применяется в мировой практике довольно длительный период, за который был накоплен значительный опыт. В зарубежной научно-технической периодической литературе показана высокая

оценка эффективности ДГА, которая определяется прежде всего меньшими удельными капитальными затратами и удельными расходами топлива на выработку электроэнергии, чем на паротурбинных энергоблоках. При

работе таких установок есть возможность, кроме электроэнергии получать тепло или холод.

Объем попутного нефтяного газа, добываемого на месторождении Северный Шуртан составляет 175,2-193,9 млн. м³ в год.

Утилизировано: на предприятиях используются печи для подогрева – 1,58 млн. м³ в год; на факелах – 159,3-178,1 млн. м³ в год. Исходя, из вышеизложенных значений были произведены расчеты приблизительного срока окупаемости рассматриваемой установки ДГА. Подобраны характеристики детандер-генераторного агрегата с номинальной мощностью 300 кВт (табл.1.).

Таблица 1

Основные характеристики ДГА

Род тока	переменный
Напряжение, В	400
Номинальная мощность, кВт	300
Расход газа, тыс.м ³ /ч:	15...20
Давление газа на входе, атм	3,0...35
Давление газа на выходе, атм	0,3—12
Перепад температур при давлении на входе 3 атм, °С	60
Номинальная частота вращения ротора, об/мин	30 000
Габариты блока детандергенератора, мм	2900x1200x1300
Габариты блока управления, мм	4000x300x2000
Масса блока детандергенератора, кг	1500
Масса блока управления, кг	500

В табл.2 приведены результаты расчета освоения и окупаемости ДГА.

Таблица 2

Приблизительный срок окупаемости ДГА

Вырабатываемая электроэнергия	3,9	млн. кВт*ч/год
Срок освоения проекта	1	год
Срок окупаемости проекта	5	лет

Выработанную электроэнергию можно использовать для бесперебойного электроснабжения средств электрохимической защиты на линейной части газопроводов, приборов учета газа на газораспределительных станциях и других объектах газоснабжения (близлежащих объектах ГРП), при эксплуатации насосных установок “Rotaflex”, а также на собственные нужды.

Промысловый опыт показывает, что водогазовое воздействие на пласт как метод повышения нефтеотдачи сочетает в себе положительные стороны технологии вытеснения нефти газом высокого давления и технологии разработки залежи нефти заводнением. Данный метод был бы очень эффективным для месторождения Северный Шуртан, так как он имеет ряд преимуществ.

Для эффективного использования попутного нефтяного газа рекомендуется также применение следующего комплекса оборудования, которое позволяет применять энергетический потенциал попутного нефтяного газа для подогрева пластовой воды. При необходимости оборудование может быть оснащено функцией подогрева нефти и утилизации сточных вод, производства тепловой и электроэнергии с возможностью использования на собственные нужды или подачи в центральную сеть. Комплекс использования попутного нефтяного газа для подогрева пластовой воды способствует повышению нефтеотдачи месторождения за счёт термического воздействия на пласт. Благодаря этому увеличиваются извлекаемые запасы из месторождений.

Основным элементом указанного выше комплекса является циклонный реактор с установленными в нем двумя ярусами с горелочными устройствами, при помощи которых создается температура до 1200°C. Данный температурный режим обеспечивает полное сгорание углеводородов и практически сводит на нет образование сажи и окислов азота. Образовавшиеся в процессе термообработки дымовые газы поступают в рекуперативный блок, в котором происходит нагрев теплоносителя для регулирования температуры в контуре. На выходе из рекуперативного блока установлен аппарат воздушного охлаждения. Далее нагретый теплоноситель попадает в трубное пространство, а пластовая вода – в межтрубное пространство теплообменника. Пластовая вода нагревается до температуры 70-75°C и затем закачивается в пласт под давлением 150-200 атм. [8-15].

Таким образом, комплекс решает сразу несколько проблем, помогает избежать выплат в крупном размере за негативное воздействие на окружающую среду и рационально использовать попутный нефтяной газ, повышает нефтеотдачу за счёт термовоздействия на пласт, позволяет экономически выгодно использовать попутный нефтяной газ без вреда на окружающую среду.

Литература

1. Akramov B.Sh., Umedov Sh.Kh. Oil-and-gas production handbook. – Tashkent:Fan va tekhnologiya, 2010.
2. Агабабов В.С., Корягин А.В., и др. Использование детандергенераторных агрегатов в промышленности // Энергосбережение в Поволжье 2000. №3. -С. 89-91.
3. Акрамов Б.Ш., Ли Р.Ч., Айрапетян Л.Р. Пути повышения степени извлечения ценных компонентов из природного газа. //Вестник ТашГТУ-2005. № 4.
4. Акрамов Б.Ш., Хайитов О.Г. Нефт ва газни тозалаш асбоб ускуллари. - Тошкент, 2007.
5. Akramov, B. S., Khaitov, O. G. (2017). Oil displacement by water in an electric field. // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, (3-4), 20-22.
6. Умедов Ш.Х., Акрамов Б.Ш., Комилов Т.О., Нуритдинов Ж.Ф. Новая тампонажно-полимерная смесь на основе местного сырья // «Наука и образование сегодня» № 10 (57), - Москва, 2020. -С.18–22.
7. Акрамов Б. Ш., Умедов Ш.Х., Мирсаатова Ш.Х., Нуритдинов Ж.Ф., Комилов Т.О. Вскрытие продуктивного пласта с применением пен. // Технологии нефти и газа. 2017. №4. -С.35-38.
8. Акрамов Б.Ш., Умедов Ш.Х., Нуритдинов Ж.Ф. (2020). Инновационные методы повышения нефтеотдачи пластов // Международный научно-исследовательский журнал. том.№3, Евразийский союз ученых (ЕСУ), Ежемесячный научный журнал 2020. №1 (70).
9. Акрамов Б., Хайитов О., Нуритдинов Ж., Жанабаев Д., Джураев, С. Прогнозирование показателей разработки при водонапорном режиме. /Збірник наукових праць SCIENTIA. (2021).
10. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая): от 05.08.2000 № 117-ФЗ: (принят ГД ФС РФ 19.07.2000): (действующая ред. от 29.12.2014) //Консультант Плюс [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru>.
11. Андрейкина Л.В. Состав, свойства и переработка попутных газов нефтяных месторождений Западной Сибири: автореф. дис. канд. техн. наук: 02.00.13. -Уфа:НИИРеактив, 2005. -С.10.
12. Модельный кодекс о недрах и недропользовании для государств-участников СНГ: (принят Постановлением 20-8 на пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ) // Консультант Плюс [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru>
13. Официальный сайт Всемирного Банка [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldbank.org> (дата обращения 18.01.2015).
14. Using Russians Associated Gas. Prepared for the Global Gas Flaring Reduction Partnership and the World Bank By PFC Energy. December 10,

2007.http://siteresources.worldbank.org/INTGGFR/Resources/pfc_energy_report_pdf.

15. Официальный сайт ОАО АНК «Башнефть» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bashneft.ru>.

16. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minenergo.gov.ru>.

17. Официальный сайт ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gazprom.ru>.

18. World Energy Outlook 2013. – IEA, 2013
<http://www.worldenergyoutlook.org>.

19. Официальный сайт ОАО «Роснефть» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosneft.ru>.

20. Официальный сайт ОАО «ТНК-ВР Холдинг» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tnk.ru>.

21. Официальный сайт ОАО «Сургутнефтегаз» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.surgutneftegas.ru> (дата обращения 18.01.2015).

22. Официальный сайт ОАО «Лукойл» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lukoil.ru>.

23. Официальный сайт ОАО «Газпромнефть» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gazpromneft.ru>.

24. Официальный сайт ОАО «Татнефть» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tatneft.ru>.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 622.279.23/4.001.24

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРАЗРАБОТКИ ИСТОЩЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА

У.С. Назаров, В.М. Шевцов

Ушбу мақолада Ўзбекистон ҳудудида узоқ вақт давомида ишлатилаётган етти конларни (Алан, Зеварди, Култак, Ўртабулоқ, Денгизқўл, Сомонтена, Жанубий Кемачи) ишлаб чиқишнинг жорий ҳолатига оид материалларни тизимли таҳлил қилиш асосида, захиралари камайиб қолган конларни ишлаб чиқишни охирига етказишни лойиҳалаштириш жараёнига бундай объектларнинг қолдиқ геологик захираларини максимал даражада самарали чиқариб олишга қаратилган янги методологик ёндашувлар таклиф қилинган.

Конларнинг тоифасига (ишлаб чиқилаётган, тайёрланган ёки қидирув кони) қараб, газ қазиб чиқаришнинг энг самарали суръатларини прогнозлашнинг турли ёндашувлари мавжуд. Бу соҳадаги кўп йиллик амалиёт кўрсатишича, ишлаб чиқилаётган конлардан ҳар хил ёндашувларни қўллаган ҳолда, газ қазиб чиқариш ҳажмларини ошириш мумкин ва бу конларни ўзлаштириш босқичига боғлиқ (тажриба-саноат тарзида ишлатиш (ТСИ), саноат тарзида ишлаб чиқиш ва ишлаб чиқишни охирига етказиш). Мақолада ўрганиб чиқилаётган, узоқ вақт давомида ишлатилиб, унинг якуний (ишлаб чиқишни охирига етказиш) босқичида бўлган конлардан табиий газ қазиб чиқариш суръатлари, одатда, конда ўрнатилган компрессор станциясига боғлиқ бўлади, чунки янги ишлатиш қудуқларини бургилаш усули эндиликда қўлланилмайди. Қазиб чиқарилаётган газни узатиш ва тайёрлаш бўйича мавжуд тизимларни жиҳозлашни (модернизациялашни) охирига етказиш жараёнларида ҳам шунга ўхшаш ёндашувлар қўлланилади.

Шу маънода, ишлатиш қудуқларини бургилашни яна давом эттириш, кириш босими паст СКСни ишга тушириш, қазиб чиқарилаётган газни узатиш ва тайёрлаш тизимини кенгайтириш ҳисобига қатлам босими ўта паст бўлган шароитларида узоқ вақт ишлатилаётган конларни ишлаб чиқишни охирига етказишни лойиҳалашга имкон берадиган янги интеграллашган ёндашувлар таклиф қилинган.

Кўриб чиқилаётган етти конларда газ қазиб чиқариш ўсишининг прогноз қилинган кўрсаткичларига эришиш борасидаги тадбирларни иқтисодий баҳолаш натижалари кўрсатишича, газ қазиб чиқариш қудуқларини бургилаш ва қайта тиклаш, конларни (шлейфлар, СКС ва ш.к.) қўшимча жиҳозлаш ишларига жами 417,7 млн. АҚШ доллари миқдорда маблағ сарфланади. Айни пайтда, қўшимча равишда қазиб

чиқарилган газнинг (41661,6 млн. м³) қиймати 6249 млн. АҚШ долларини ташкил қилади, бу эса кўриб чиқиладиган конларда бургилаш, қудуқларни тиклаш ишларини бажариш ва конларни жиҳозлашга сарфланадиган қўшимча капитал харажатлар миқдоридан 15 баравар ортиқдир. Айнан ана шу жиҳат конларни лойиҳалаш ва ишлаб чиқишни охирига етказиш учун янги методологик ёндашувлар қўлланилиши узоқ вақт ишлатаётган табиий газ конларидан қолдиқ захираларни чиқариб олишда юқори иқтисодий самара келтиришидан далолат беради.

В статье, на основе системного анализа фактических материалов текущего состояния разработки длительно-эксплуатируемых семи месторождений природного газа Узбекистана (Алан, Зеварды, Култак, Уртабулак, Денгизкуль, Самантепе, Южный Кемачи), предложены новые методологические подходы к проектированию доработки истощенных месторождений, направленные на максимально-эффективное извлечение остаточных геологических запасов этих объектов.

В зависимости от категории месторождений (разрабатываемые, подготовленные или разведываемые) имеются различные подходы к прогнозированию наиболее эффективных темпов отбора газа. Как показывает многолетняя промысловая практика, добыча газа из разрабатываемых месторождений может нарачиваться разными подходами - в зависимости от стадии их освоения: опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ), промышленная разработка и доработка. На завершающей стадии (доработка), в которой находятся исследуемые в настоящей работе длительно-эксплуатируемые месторождения природного газа, темпы его добычи традиционно обусловлены мощностью установленной компрессорной станции, поскольку бурение новых эксплуатационных скважин, как правило, не практикуется. Аналогичные подходы имеют место и в отношении дообустройства (модернизация) существующей системы промыслового транспорта и подготовки добываемого газа.

В этой связи, предложены новые интегрированные методологические подходы, которые позволяют проектировать доработку длительно-эксплуатируемых месторождений с поддержанием достигнутого уровня добычи природного газа, в условиях предельно низких пластовых давлений, за счет дальнейшего эксплуатационного бурения, ввода ДКС с низким входным давлением и расширения системы промыслового транспорта и подготовки добываемого газа.

Как показывают результаты экономической оценки мероприятий по достижению прогнозируемого прироста добычи газа исследуемых семи месторождений, суммарные затраты на бурение и восстановление газодобывающих скважин, на дополнительное обустройство промыслов (шлейфы, ДКС и т.д.) составляют 417,7 млн. долл. США. В тоже время

стоимость дополнительно добытого газа (41661,6 млн.м³) оценивается в 6249 млн. долл. США, что в 15 раз превышает дополнительные капитальные затраты на бурение, восстановление скважин и обустройство промыслов рассматриваемых месторождений. Последнее обстоятельство указывает на высокую экономическую эффективность извлечения остаточных запасов длительно эксплуатируемых месторождений природного газа, ожидаемую от применения новых методологических подходов к проектированию их доработки.

In the article, based on a systematic analysis of the actual materials of the current state of development of the long-term-operated seven natural gas fields of Uzbekistan (Alan, Zevardy, Kultak, Urtabulak, Dengizkul, Samantepe, South Kemachi), new methodological approaches to the design of additional development of depleted fields are proposed, aimed at the most efficient extraction of the remaining geological reserves of these objects.

Depending on the category of fields (developed, prepared or explored), there are different approaches to predicting the most effective rates of gas extraction. As long-term field practice shows, gas production from developed fields can be increased by different approaches-depending on the stage of their development: pilot operation (OPE), industrial development and additional development. At the final stage (additional development), in which the long-term-exploited natural gas fields studied in this work are located, the rate of its production is traditionally determined by the capacity of the installed compressor station, since drilling new production wells is usually not practiced. Similar approaches are taking place with regard to the arrangement (modernization) of the existing field transport system and the preparation of the extracted gas.

In this regard, new integrated methodological approaches are proposed that allow us to design additional development of long-term-operated fields with the maintenance of the achieved level of natural gas production, in conditions of extremely low reservoir pressures, due to further production drilling, the introduction of DCS with low input pressure and the expansion of the field transport system and the preparation of the extracted gas.

According to the results of the economic assessment of measures to achieve the projected increase in gas production of the seven fields under study, the total costs for drilling and restoring gas production wells, for additional development of fields (plumes, DCS, etc.) amount to 417.7 million US dollars. At the same time, the cost of additional gas produced (41661.6 million m³) is estimated at 6249 million US dollars, which is 15 times higher than the additional capital costs for drilling, well restoration and field development of the fields under consideration. The latter circumstance indicates the high economic efficiency of extracting the remaining reserves of long-term exploited natural gas fields, expected from the application of new methodological approaches to the design of their further development.

Дальнейшее увеличение промышленного потенциала Республики Узбекистана во многом обусловлено ростом ее энергетики, поскольку в среднесрочной перспективе (2021 – 2025 гг.) около 90% общереспубликанской добычи газа будут поставляться на теплоэлектростанции для выработки электроэнергии, а с 2026 по 2035 гг. для этой цели будет потребоваться не менее 61%. При этом, увеличение поставок природного газа обуславливает необходимость интенсификации добычи газа из всех категорий месторождений, различающихся выработанностью запасов [1].

В этой связи требуется выработка новых методологических подходов к проектированию доразработки, направленных на удержание объемов добычи газа из истощенных месторождений, обусловленных следующими факторами: геологические (строение, запасы); технические (скважины, промысловая инфраструктура); технология (фонтанная, компрессорная добыча); наличие потребителя, экономическая рентабельность.

На разных стадиях разработки перечисленные выше факторы в разной степени влияют на динамику объемов добычи газа из месторождений. Если геологические и экономические факторы на всех стадиях разработки являются определяющими, то значимость технических и технологических факторов варьирует по мере углубления выработанности запасов месторождений [2].

В настоящее время в Узбекистане открыты 220 месторождений природного газа, которые выработаны в среднем на 55,9 %, 82 из них, имеющие суммарные текущие запасы 55,3 % от общереспубликанских запасов, охвачены разработкой и в среднем выработаны на 69,2 %.

В подготовленных к освоению числятся 77 месторождений с выработанностью 5,1 % и текущими запасами, составляющими 38,1% от выявленных в Узбекистане запасов. Около 50 месторождений с текущими запасами 6,3 % от общереспубликанских охвачены разведочными работами (ГРП) и выработаны на 3,2%, за счет совмещения стадий разведки и разработки. Кроме того, имеются 7 месторождений в консервации (0,2% запасов от общереспубликанских) с выработанностью запасов 41,6%.

В зависимости от категории месторождений (разрабатываемые, подготовленные или разведываемые) имеются различные подходы к прогнозированию наиболее эффективных темпов отбора газа. Как показывает промысловая практика [3, 4] темпы освоения подготовленных и находящихся в ГРП месторождений могут ускориться при наличии близлежащих газопроводов (потребителей газа) или действующих газодобывающих промыслов с развитой инфраструктурой. Добыча газа по разрабатываемым месторождениям может наращиваться разными подходами - в зависимости от их стадии: опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ), промышленная разработка и доразработка.

На стадии ОПЭ и промышленной разработки темпы добычи газа из залежей наращиваются с соблюдением закона об охране недр, за счет бурения новых эксплуатационных скважин, до экономически обоснованного действующего фонда. На завершающей стадии разработки месторождений - темпы добычи газа традиционно обусловлены мощностью установленной компрессорной станции (КС), поскольку бурение скважин, как правило, уже не практикуется [4,5]. Исходя из этого были выполнены исследования по выявлению путей удержания или наращивания темпов добычи с углублением выработанности запасов газа длительно разрабатываемых месторождений.

По результатам анализа состояния разработки месторождений АО «Узбекнефтегаз» были выделены 7 длительно эксплуатируемых месторождений (Алан, Зеварды, Култук, Уртабулак, Денгизкуль, Самантепе, Южный Кемачи), характеризующихся глубокой выработанностью (до 86,6% - ГКМ Зеварды) и, в то же время, с относительно высокими остаточными запасами газа. На базе геолого-промысловых данных этих месторождений были выполнены системные исследования по выявлению возможности более интенсивной и глубокой выработки их остаточных запасов.

Месторождение Алан введено в разработку в 1979 г., максимальная годовая добыча газа - 13085 млн.м³ была достигнута в 2005 г. действующим фондом из 37 скважин со средним дебитом 585 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 31 кгс/см². В 2020 г. было добыто 2,6 млрд.м³ газа действующим фондом из 76 скважин со средним дебитом 93 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 10 кгс/см². На 01.01.2021 г. с начала разработки добыто 194,9 млрд.м³ газа или 83,0% от его геологических запасов. В 2015 году при отборе 79,6 % от запасов газа, в связи заметным падением темпов его добычи и отсутствием эффекта от ввода новых скважин, месторождение Алан было переведено на компрессорную эксплуатацию [6]. Это мероприятие позволило в 2016 году увеличить добычу газа почти на 500 млн.м³, в сравнении с 2015 г. (рис.1), несмотря на снижение действующего фонда скважин. То есть, прирост добычи газа в 2016 г. обусловлен только вводом ДКС. При этом реализация дополнительно добытого газа полностью окупала затраты на строительство Аланской ДКС.

Для увеличения темпов добычи газа из месторождения Алан были выполнены исследования по оценке влияния дальнейшего наращивания действующего фонда скважин и ввода дополнительной ДКС с низким входным давлением (1 кгс/см²) на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки. В результате этих исследований установлено, что бурение и ввод в эксплуатацию 22 скважин в течении 2019-2021 гг., и пуск ДКС-2 в начале 2021 г., позволят за 2019-2030 гг. добыть из месторождения Алан 23705,8 млн.м³ газа, что на 5780,6 млн.м³ выше

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

прогноза добычи при сохранении тенденции его разработки, сложившейся к началу 2020 г. (рис.1).

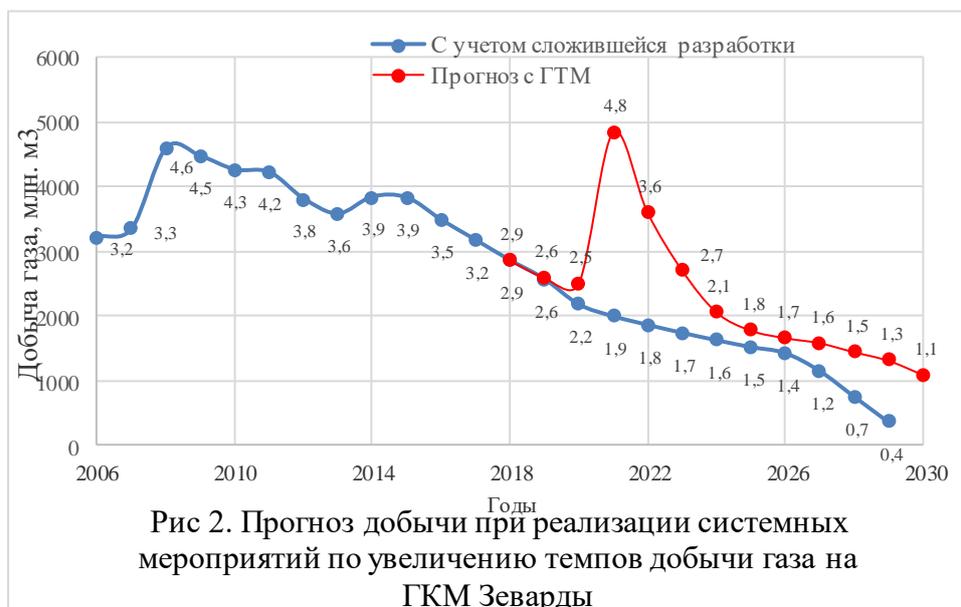


Всего с начала разработки ГКМ Алан к концу 2030 г. прогнозируется отобрать 212,8 млрд.м³ газа или 96,5% от его запасов. То есть предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Алан позволяет не только ускорить темпы рентабельного извлечения его остаточных запасов, но и увеличить их выработанность на 10,8%.

Месторождение Зеварды введено в разработку в 1978 г., максимальная добыча газа - 10584 млн.м³ была достигнута в 1996 г. действующим фондом из 74 скважин со средним дебитом 390 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 10 кгс/см². В 2020 г. было добыто 2,5 млрд.м³ газа действующим фондом из 78 скважин со средним дебитом 89 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 6 кгс/см². На 01.01.2021 г. с начала разработки добыто 269,0 млрд.м³ газа или 88,2% от его геологических запасов. В 2007 году при отборе 72,8% от запасов газа, в связи с заметным падением темпов его добычи месторождение Зеварды было переведено на компрессорную эксплуатацию. Это мероприятие позволило в 2007 году увеличить добычу газа на 127 млн.м³, а в 2008 году – на 1372 млн.м³, в сравнении с 2006 г. (рис 2). При этом, реализация дополнительно добытого в 2007- 2008 гг. газа полностью окупила затраты на строительство Зевардинской ДКС.

Для увеличения темпов добычи газа из месторождения Зеварды были выполнены исследования по оценке влияния дальнейшего бурения и восстановления (КРС) скважин, а также ввода ДКС-2 с низким входным давлением (1 кгс/см²), на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [7]. В результате этих исследований установлено, что бурение 2 и восстановление 6 скважин в 2019-2020 гг., а также ввод

ДКС- 2 в конце 2021 г., позволят за 2019-2030 гг. добыть из месторождения Зеварды 27226,0 млн.м³ газа, что на 10040,1 млн.м³ выше прогноза добычи при сохранении тенденции его разработки, сложившейся к началу 2019 г. (рис 2).



Всего с начала разработки ГКМ Зеварды к концу 2030 г. прогнозируется отобрать 291,1 млрд.м³ газа или 95,5 % от его запасов [1]. То есть, предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Зеварды позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но и увеличить их выработанность на 8,9 %.

Месторождение Култук введено в разработку в 1978 г., максимальная годовая добыча газа – 2,4 млрд.м³ была достигнута в 1994 г. действующим фондом из 21 скважины со средним дебитом 300 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 63,1 кгс/см². В 2020 г. было добыто 638 млрд.м³ газа действующим фондом из 17 скважин со средним дебитом 103 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 75,6 кгс/см². На 01.01.2021, с начала разработки добыто 58,2 млрд.м³ газа или 81,1% от его геологических запасов.

В 2011 году при отборе 69,6% от запасов газа, в связи с заметным снижением годовой добычи газа в предыдущие годы, месторождения Култук было переведено на компрессорную эксплуатацию с компримированием его газа на ДКС соседнего месторождения Памук. Это мероприятие позволило в 2011 и 2012 гг. увеличить годовой отбор газа, соответственно, на 0,1 и 0,2 млрд.м³ в сравнении с 2010 годом (рис 3), при неизменном действующем фонде из 18 скважин.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

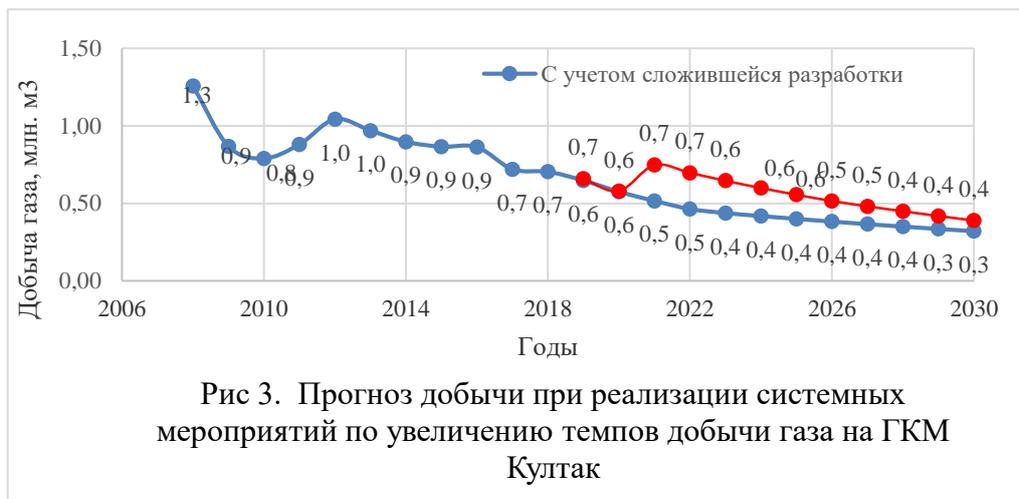


Рис 3. Прогноз добычи при реализации системных мероприятий по увеличению темпов добычи газа на ГКМ Култак

Для увеличения темпов добычи газа ГКМ Култак были выполнены исследования по оценке влияния увеличения действующего фонда за счет восстановления двух скважин (КРС, 2019-2020 гг.) и ввода ДКС-2 (в конце 2021 г.) на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [8]. В результате этих исследований установлено, что указанные выше мероприятия – ввод ДКС-2 и КРС двух скважин, позволят за 2019-2030 гг. добыть из ГКМ Култак 6741,5 млн.м³ газа, что на 1525,2 млн.м³ выше, при сохранении тенденции его разработки, сложившейся к началу 2020 г. (рис 3).

Всего с начала разработки ГКМ Култак концу 2030 г. прогнозируется отобрать 63612,5 млн.м³ газа или 88,7% от его запасов [1]. То есть, предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Култак позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но и увеличить их выработанность на 9,4%.

Месторождение Уртабулак введено в разработку в 1973 г., максимальная годовая добыча газа – 4,6 млрд.м³ была достигнута в 1981 г. действующим фондом из 34 скважины со средним дебитом 370 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 76,0 кгс/см². В 2010г. добыча газа была приостановлена, при отборе 68,2 млрд.м³ или 66,4% от его начальных запасов, по причине низкого рабочего устьевого давления и невозможности, в этой связи, подачи газа на Мубарекский ГПЗ. В 2013 году с вводом ДКС «Уртабулак» добыча газа была возобновлена, а в 2020 году было добыто 973 млн.м³ газа действующим фондом из 24 скважин со средним дебитом 111 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 6,0 кгс/см². На 01.01.2021 с начала разработки добыто 74,6 млрд.м³ газа или 72,8 % от его геологических запасов.

Ввод ДКС «Уртабулак» и частичное восстановление действующего фонда скважин позволили в 6,3 раза увеличить добычу газа в 2013г. (632

млн.м³), в сравнении с 2009г. (109 млн.м³) - последним годом его бескомпрессорной эксплуатации, и довести добычу до 908 млн.м³ в 2015г. (рисунок 4), при неизменном действующем фонде из 17 скважин.

Для увеличения темпов добычи газа ГКМ Уртабулак были выполнены исследования по оценке влияния увеличения действующего фонда, за счет восстановления трех скважин (КРС, 2020 г.), и дальнейшего бурения восьми скважин (2019-2021гг.), и ввода ДКС-2 (в январе 2024г.), на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [8]. В результате этих исследований установлено, что указанные выше мероприятия – ввод

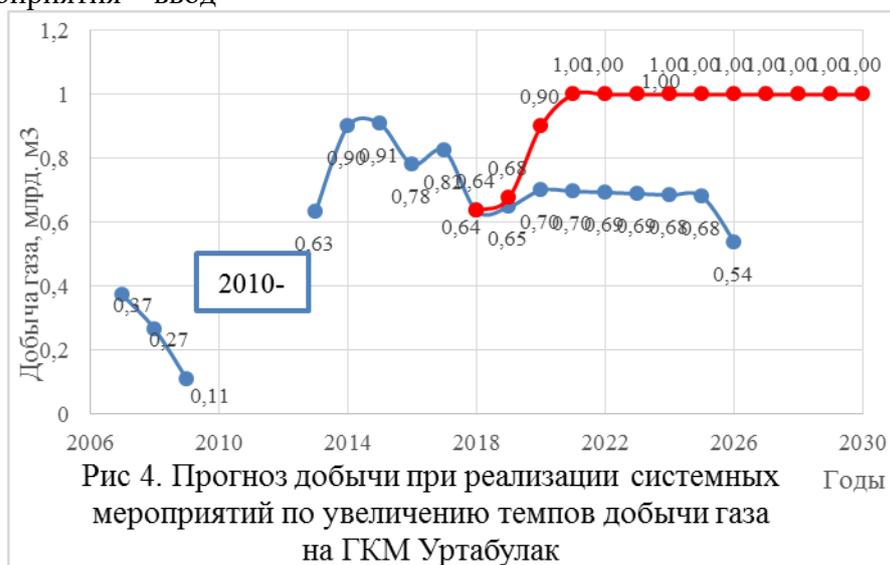


Рис 4. Прогноз добычи при реализации системных мероприятий по увеличению темпов добычи газа на ГКМ Уртабулак

ДКС-2, КРС трех скважин и бурение 8 скважин, позволят за 2019-2030 гг. добыть из ГКМ Уртабулак 11572 млн.м³ газа, что на 6245 млн.м³ выше в случае сохранения тенденции его разработки, сложившейся к началу 2019 г. (рис 4).

Всего с начала разработки ГКМ Уртабулак концу 2030 г. прогнозируется отобрать 84509 млн.м³ газа или 82,4 % от его запасов [1]. То есть, предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Уртабулак позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но и увеличить их выработанность на 9,7 %.

Месторождение Денгизкуль введено в разработку в 1981 г., максимальная годовая добыча газа – 4524 млн.м³ была достигнута в 1994 г. действующим фондом из 44 скважины со средним дебитом 280 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 33,1 кгс/см². В 2020 г. было добыто 1785 млн.м³ газа с действующим фондом из 32 скважины со средним дебитом 153 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 41,5 кгс/см². На 01.01.2021 с начала разработки добыто 120,3 млрд.м³ газа или 75,2 % от его геологических запасов.

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

В 2010 году при отборе 102412 млн.·м³ или 64,0 % от запасов газа, в связи с заметным снижением дебитов и рабочих устьевых давлений газодобывающих скважин. Это мероприятие позволило в 2010 и 2011 гг. увеличить годовой отбор газа соответственно на 15 и 208 млн.·м³ в сравнении с 2009 годом (рис.5), при снижении количества действующих скважин по причине их обводнения.

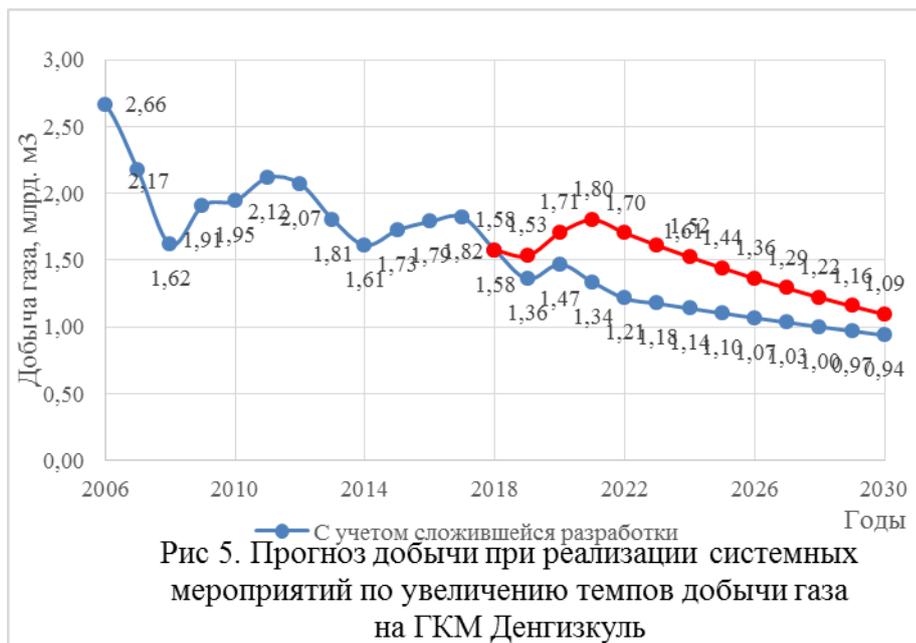


Рис 5. Прогноз добычи при реализации системных мероприятий по увеличению темпов добычи газа на ГКМ Денгизкуль

Для увеличения темпов добычи газа ГКМ Денгизкуль были выполнены исследования по оценке влияния увеличения действующего фонда за счет восстановления пяти скважин (КРС), бурения двух скважин в 2019г. и ввода ДКС-2 (в конце 2021 г.) на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [9]. В результате этих исследований установлено, что указанные выше мероприятия (увеличение действующего фонда и ввод ДКС), позволяют прогнозировать за 2019-2030гг. добычу газа из ГКМ Денгизкуль в объеме 17439 млн.м³, что на 3634 млн.м³ выше при сохранении тенденции его разработки, сложившейся к началу 2020 г. (рис.5).

Всего с начала разработки ГКМ Денгизкуль концу 2030г. прогнозируется отобрать 134367 млн.м³ газа или 84,0 % от его запасов [1]. То есть, предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Денгизкуль позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но и увеличить их выработанность на 10,9%.



Рис 5. Прогноз добычи при реализации системных мероприятий по увеличению темпов добычи газа на ГКМ Денгизкуль

Месторождение Самантепе введено в разработку в 1986 г., максимальная годовая добыча газа – 3372 млн·м³ была достигнута в 1991г. действующим фондом из 28 скважины со средним дебитом 330 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 63,1 кгс/см². В 1993 году добыча газа из месторождения Самантепе была приостановлена в связи с ограничением приема высокосернистого газа Мубарекским ГПЗ. Разработка месторождения (участка на территории РУз) возобновлена в 2006 году, при этом максимальная добыча газа была достигнута в 2014 г. в объеме 4354 млн·м³ действующим фондом из 40 скважин со средним дебитом 300 тыс·м³/сутки, при депрессии на пласт 53,1 кгс/см². В 2020 г. было добыто 2585 млн·м³ газа действующим фондом из 42 скважин со средним дебитом 168 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 75,7 кгс/см². На 01.01.2021 с начала разработки участка месторождения Самантепе на территории РУз добыто 42,3 млрд·м³ газа или 59,7% от его геологических запасов.

В августе 2019 г. месторождение Самантепе было переведено на компрессорную добычу, при отборе газа 38582 млн·м³ или 54,5 % от его запасов, в связи с заметным снижением объемов добычи газа, при неизменном действующем фонде скважин. Ввод ДКС позволил уже в 2019 г. дополнительно добыть 464 млн·м³ газа, а в 2020 г. 1020 млн·м³, в сравнении с прогнозом добычи при сохранении ее тенденции до ввода ДКС (рис 6). Для увеличения темпов добычи газа ГКМ Самантепе были выполнены исследования по оценке влияния ввода ДКС и увеличения действующего фонда, за счет восстановления двух (КРС, 2020 г.) и бурения трех скважин (2019-2020 гг.), на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [11].

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

В результате этих исследований установлено, что указанные выше мероприятия (ввод ДКС и увеличение действующего фонда), позволяют прогнозировать за 2019-2030 гг. добычу газа из ГКМ Самантепе в объеме 24185 млн.·м³, что на 4220 млн.·м³ выше в случае сохранения тенденции его разработки, сложившейся к концу 2019 г. (рис 6).

Всего с начала разработки ГКМ Самантепе к концу 2030 г. прогнозируется отобрать 61396 млн.·м³ газа или 86,7 % от его запасов [1]. То есть, предлагаемый системный подход к доразработке месторождения Денгизкуль позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но заметно увеличить их выработанность - на 32,2 %.

Нефтегазоконденсатное месторождение Южный Кемачи введено в эксплуатацию в 1980 г. и до 2004 г. осуществлялась разработка только его нефтяной залежи. В 2004 г. началась совместная добыча нефти и свободного газа из газоконденсатной залежи месторождения Южный Кемачи, научно обоснованная в работе [16]. Максимальная годовая добыча газа в объеме 4567 млн.·м³ была достигнута в 2013 г. действующим фондом из 23 скважин со средним дебитом 544 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 31 кгс/см² [17]. В 2020 г. было добыто 2969 млн.·м³ газа действующим фондом из 92 скважин со средним дебитом 88 тыс.м³/сутки, при депрессии на пласт 8,5 кгс/см². На 01.01.2021 г. с начала разработки добыто 56,0 млрд.·м³ газа или 70,7 % от его геологических запасов.



В 2017 году, в связи заметным падением темпов добычи газа и отсутствием эффекта от ввода новых газодобывающих скважин, была введена ДКС, при отборе 42235 млн.·м³ газа или 52,5 % от его запасов. Пере-

вод скважин месторождения Южный Кемачи на компрессорную эксплуатацию позволил получить в 2020 г. прирост добычи газа в объеме 270 млн.·м³, в сравнении с прогнозом его добычи при сохранении тенденции, сложившейся к 2018 г. (рис 7).

Для увеличения темпов добычи газа из газоконденсатной залежи месторождения Южный Кемачи, были выполнены исследования по оценке влияния дальнейшего наращивания действующего фонда скважин и ввода дополнительной ДКС-2 с низким входным давлением (1 кгс/см²) на ускорение извлечения его остаточных запасов и глубину их выработки [12, 18]. В результате этих исследований установлено, что восстановление (КРС) трех скважин (2019, 2020 гг.), бурение шести скважин (2019, 2020гг.) и пуск ДКС-2 в конце 2021 г., позволят за 2019-2030 гг. добыть из месторождения Южный Кемачи 24333 млн.·м³ газа, что на 11318 млн.·м³ больше прогноза его добычи при сохранении тенденции разработки, сложившейся к началу 2019 г. (рис 7).

Всего с начала разработки ГКМ Южный Кемачи к концу 2030 г. прогнозируется отобрать 74271 млн.·м³ газа или 92,3% от его запасов [1]. То есть предлагаемый системный подход к доработке месторождения Южный Кемачи позволяет не только ускорить темпы извлечения его остаточных запасов, но и заметно увеличить их выработанность на 30,3%.

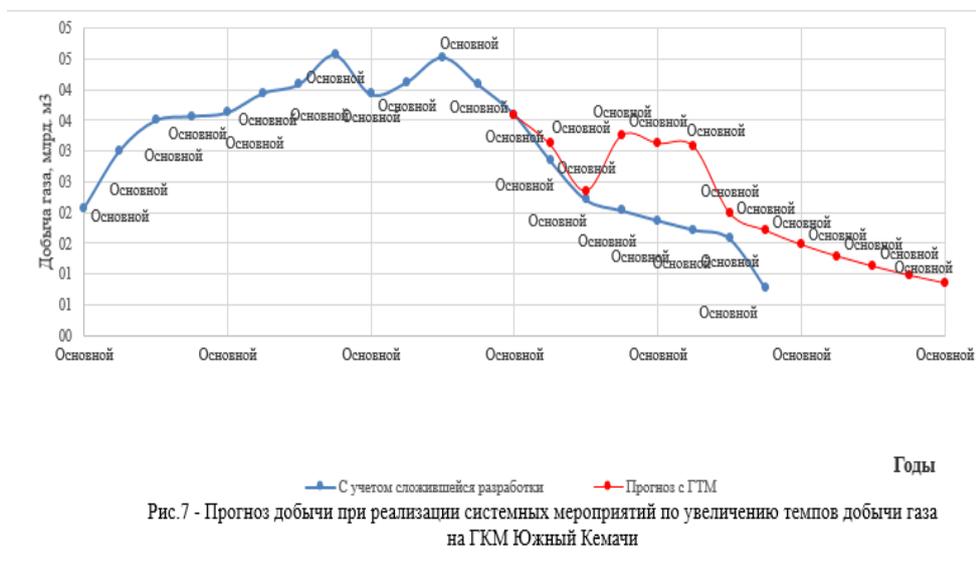


Рис.7 - Прогноз добычи при реализации системных мероприятий по увеличению темпов добычи газа на ГКМ Южный Кемачи

В целом по рассматриваемой группе из 7 месторождений, за счет кардинального пересмотра сложившейся методологии проектирования их доработки, за период 2019-2030 гг. прогнозируется добыть 135206 млн.·м³ газа, что на 42762 млн.·м³ или на 46,2 % выше их суммарной добычи (92443 млн.·м³) за этот период при сохранении сложившейся тенденции их разработки. К концу рассмотренного срока (2030 г.) газоотдача

месторождений будет доведена до 82,4 % (ГКМ Уртабулак) – 96,5 % (ГКМ Алан). С этой целью необходимо по рассматриваемой группе месторождений восстановить (КРС) 21 и пробурить 43 скважины, ввести 6 ДКС с низким входным давлением (1 кгс/см²) [1].

Для достижения вышеуказанных прогнозных приростов добычи газа предлагается новый подход к проектированию доразработки, предусматривающий наращивание темпов добычи газа - за счёт дополнительного, в сравнении с действующим проектом, бурения и восстановления (КРС) газодобывающих скважин, расширения газотранспортной системы и промышленного обустройства, установки компрессорных агрегатов с входным давлением 1 кгс/см², что отличается от традиционного подхода к проектированию доразработки месторождений природного газа на завершающей стадии [3, 15].

Вывод. Рассмотренные в настоящей работе предложения по увеличению темпов добычи газа на завершающей стадии разработки 7 месторождений (Алан, Зеварды, Култук, Уртабулак, Денгизкуль, Самантепе, Южный Кемачи) являются новыми методологическими подходами к проектированию доразработки длительно эксплуатируемых месторождений, которые радикально пересматривают сложившуюся систему их разработки, и, в тоже время, обуславливают рентабельность дополнительной добычи природного газа, так востребованного промышленностью нашей республики.

Литература

1. Назаров У.С. и др. Программа по увеличению добычи углеводородного сырья на 2017-2021 годы. –Ташкент:АО «УзЛИТИнефтьгаз», 2020.
2. Шевцов В.М. Методологические аспекты прогнозирования показателей на ранней стадии разработки месторождений природного газа. /Материалы совместной республиканской конференции (21-22 ноября 2019 года) -Ташкент: УзНИИ НГП, 2019, - С.99-105.
3. Ширковский А.И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. - М.: Недра, 1987.
4. Закиров С.Н. и др. Проектирование и разработка газовых месторождений. -М.: Недра, 1999.
5. Правила разработки газовых и газоконденсатных месторождений в Республике Узбекистан. -Ташкент, 2008.
6. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Алан. – Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
7. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Зеварды. – Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
8. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Култук. – Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.

9. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Уртабулак. –Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
10. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Денгизкуль. –Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
11. Шевцов В.М. и др. Проект доразработки месторождения Самантепе. –Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
12. Шевцов В.М., Палвонова С.К. Проект доразработки месторождения Южный Кемачи. –Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2020.
13. Назаров С.Н. Обобщение опыта разработки нефтегазовых месторождений и разработка наиболее целесообразных способов эксплуатации месторождений, обеспечивающих наиболее полное извлечение нефти и газа. Фонды ТашПИ, - 1985.
14. Ибрагимов А.Г., Назаров У.С. К теоретическому объяснению ретроградных явлений в углеводородных газожидкостных системах. //Узб. журн. нефти и газа, -2005.
15. Назаров У.С. Стратегия развития нефтегазовой отрасли. //Узбекский журнал нефти и газа,- 2010.
16. Назаров У.С., Шевцов В.М. Проект совместной разработки нефтяной и газоконденсатной частей залежи месторождения Южный Кемачи. –Ташкент:АО «УзЛИТИНЕФТГАЗ», 2004.
17. Назаров У.С., Махмудов Ф.М., Кузьмич А.Е., Игамбердиев Р.А., Борн Р.И. Комплексное проектирование систем разработки (доразработки) и обустройства (дообустройства) месторождений углеводородного сырья. Руководящий документ РН 39.0-110:2012. –Ташкент. – 2012.
18. Назаров А.У., Махмудов Ф.М., Абдумаликов С.А. К вопросу рациональной разработки месторождения Южный Кемачи. //Узбекский журнал нефти и газа. –2012.
19. Назаров У.С., Эшмуратов Б.Б., Мамедов А.Н., Арипов Г.А., Назаров А.У., Турсунов М.А., Махмудов Ф.М., Мейлиев А., Ким А.А. Комплексные технологии обеспечения эксплуатационной надежности нефтяных и газовых скважин. //Узбекский журнал нефти и газа –2012.
20. Назаров С.Н. Способ разработки нефтегазовых месторождений. А.С.№5695023 от 10.10.1981.

Представлено АО «O'ZLITINEFTGAZ»

УДК 504.4.062.2.

**ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИНИ ЕЧИШДА СУВ
ОБЪЕКТЛАРИНИНГ АҲАМИЯТИ**

Г.Ф. Шерқўзиева, А.М. Юсупхўжаева, Л.Н. Хегай

Аҳоли сонининг ўсиши ва саноатнинг ривожланиши сув ҳавзаларининг кескин ифлосланишига, ҳамда сув объектларидан саноатда хом ашё сифатида фойдаланиши хусусан энергетикада фойдаланиши ҳозирги куннинг долзарб муаммоси ҳисобланмоқда. Ўтган асрнинг 80-йиллари ўрталарида энергетик тизим бирлашмаларининг улуши гидроэлектрозергия ишлаб чиқаришининг умумий ҳажмини Марказий Осиё ва Қозғистонда 14%ни ташкил этиб, собиқ Иттифоқ бўйича 2-ўринни эгаллади. ГЭСларнинг Норин-Сирдарё каскади (2,7 млн. кВт) мамлакатнинг энг йирик бешталигига кирар эди.

Ҳозирги вақтда давлатларининг иқтисодий асосланган гидроэнергетик потенциали 173 млрд. кВт.с/йил билан баҳоланади, улардан 84%и Марказий Осиё давлатларига тўғри келади. Айниқса мазкур давлатлар учун гидроэнергетик потенциални ўзлаштириши истиқболли бўлиб ҳисобланади. Кўплаб дарё оқимларида ГЭСларни яратилганлигига қарамасдан, Марказий Осиёдаги дарёлар оқимларининг энергетик имкониятларидан фойдаланиши юқори даражада эмас. Гидроэнергетик потенциални қўллашни амалдаги даражаси юқори эмас, масалан Марказий Осиёда 18%, Қозғистонда эса 14%ни ташкил этади. Россиянинг Европа қисми, Уралда бу кўрсаткич 70%ни ташкил этади. Шундай қилиб, Марказий Осиё давлатларининг ресурс таъминот муаммоси – мажмуавий бўлиб, у ўз ичига сув истеъмоли, электроэнергетика ва газ таъминотини қамраб олади. Кейинги йиллардаги чиқинди сув таркибининг тахлил қилиниши натижаларида: 1 литр сувда муаллақ моддаларни 1,56 г эканлиги, органик моддаларнинг оксигенга биохимик талаби 40120 мг, оксигенга химик талаб 400750 мг, нефт маҳсулотларини 2025 мг га ортганлиги кўринади. Сув объектларининг сувини 2015-2017 йиллар динамикасида санитар кимёвий тахлил учун олинган намуналар ва уларнинг лаборатория тахлил натижалари. 2015 йил умумий олинган намуналар сони 90 та бўлиб, улардан 36 таси (40%) гигиеник талабларга жавоб бермаган. 2016 йилда умумий намуналар сони - 90 та бўлиб, улардан - 30 таси (33,3%) ва 2017 йилда эса умумий намуналар - 90 та бўлиб, улардан - 42 таси (46,6%) меъёрларга тўғри келмаган. 2016-2017 йилларда ҳам азот аммиак бошқа кўрсаткичларга нисбатан санитария меъёрларга мос келмаган хусусан 15,5% ва 16,6% мос равишда ташкил этди. Сув ҳавзаларининг ифлосланиши даражасини доимий равишда мониторингини олиб боришида уларнинг лаборатория тегишириши мақсадга мувофиқ

ҳисобланаб, профилактик чора тадбирлар ишлаб чиқишида ва илмий асослашида муҳим роль ўйнайди.

Рост населения, развитие промышленности и использование водных объектов для промышленных нужд, особенно в области энергетики, являются актуальными проблемами современности. В середине 1980-х годов на долю системы энергетики приходилось 14% общей выработки гидроэлектроэнергии в Центральной Азии и Казахстане, занимающих второе место в бывшем Советском Союзе. Нарын-Сырдарьинский каскад гидроэлектростанций (2,7 млн кВт) вошел в пятерку крупнейших в стране.

В настоящее время экономически обоснованный гидроэнергетический потенциал стран составляет 173 миллиарда долларов кВтч/год, из которых 84% приходится на Среднюю Азию. Особенно для этих стран перспективно развитие гидроэнергетического потенциала. Несмотря на создание гидроэлектростанций на многих реках, энергетический потенциал речных потоков в Центральной Азии используется на недостаточно высоком уровне. Текущий уровень использования гидроэнергетического потенциала невысокий, так, например, в Центральной Азии он составляет 18% и в Казахстане 14%. В европейской части России и на Урале показатель составляет 70%. Таким образом, обеспеченность ресурсами в Центральной Азии является сложной проблемой, включающей потребление воды, электроэнергии и газа. Анализ состава сточных вод за последние годы показывает, что содержание взвешенных веществ в 1 литре воды составляет 1,56 г, биохимическая потребность органического вещества в кислороде - 40120 мг, химическая потребность в кислороде - 400750 мг, нефтепродукты - 2025 мг.

Проведен ретроспективный анализ результатов загрязнения водных объектов населенных пунктов за 2015-2017 гг. Установлено, что большинство проб по химическим показателям не соответствуют гигиеническим требованиям, что свидетельствует о необходимости разработки профилактических мероприятий.

Всего в 2015 г. было отобрано 90 проб, из которых 36 (40%) не соответствовали гигиеническим требованиям. В 2016 году общее количество образцов составило 90, из них 30 (33,3%), а в 2017 году 90, из которых 42 (46,6%) не соответствовали стандартам. В 2016-2017 годах азот и аммиак не соответствовали санитарным нормам в 15,5% и 16,6% соответственно годам. В целях мониторинга уровня загрязнения водных объектов целесообразны регулярные лабораторные исследования качества воды, играющие важную роль в разработке и научном обосновании профилактических мер.

Population growth, industrial development and the use of water objects for industrial needs, especially in the field of energy, are urgent problems of our time.

Currently, the economically viable hydropower potential of the countries is \$ 173 billion kWh / year, of which 84% is in Central Asia. The development of hydropower potential is especially promising for these countries. Despite the creation of hydroelectric power plants on many rivers, the energy potential of river flows in Central Asia is used at an insufficiently high level. The current level of utilization of hydropower potential is low, for example, in Central Asia it is 18% and in Kazakhstan 14%. In the European part of Russia and the Urals, the figure is 70%. Thus, resource endowment in Central Asia is a complex issue involving the consumption of water, electricity and gas. Analysis of the composition of wastewater in recent years shows that the content of suspended solids in 1 liter of water is 1.56 g, the biochemical oxygen demand of organic matter is 40 120 mg, the chemical oxygen demand is 400 750 mg, and oil products are 2025 mg.

A retrospective analysis of the results of pollution of water bodies in settlements for 2015-2017 yy. was carried out. It was found that most of the samples do not meet hygienic requirements in terms of chemical parameters, which indicates the need to develop preventive measures.

In total, 90 samples were taken in 2015, of which 36 (40%) did not meet hygienic requirements. In 2016, the total number of samples was 90, of which 30 (33.3%), and in 2017, 90, of which 42 (46.6%) did not meet the standards. In 2016-2017, nitrogen and ammonia did not meet sanitary standards at 15.5% and 16.6%, respectively. In order to monitor the level of pollution of water objects, regular laboratory studies of water quality are advisable, which play an important role in the development and scientific justification of preventive measures.

Марказий Осиё минтақасидаги давлатларни сув билан таъминлаш муаммоси – замонамизнинг ўта муҳим ва долзарб муаммоларидан биридир. Мазкур муаммо ўз навбатида қатор бўлимларга бўлиниб, унинг асосий таркибий қисм бўлиб, аҳолини маиший ва хўжалик мақсадлари ва минтақадаги халқ ҳамда қишлоқ хўжалиги, ишлаб чиқариш тармоқларини тоза ичимлик суви билан таъминлаш; ушбу вазифаларни ҳал этиш жараёнида юзага келадиган экологик муаммоларни ечиш ҳисобланади. Муаммонинг мураккаблигини ҳисобга олган ҳолда қисқача унинг ижтимоий аспектига тўхталиб ўтамиз. XX асрнинг ўрталарига келиб, сув муаммоси яна сезиларли даражада кучайди. Бу ташқаридан қараганда ўзаро боғлиқ бўлмаган жараёнлар билан юзага келди. Биринчидан, янги техник имкониятлар жойнинг рельефи ва бошқа сабаблар туфайли илгари имконсиз бўлган сув манбаларидан фойдаланиш имконини берди. Натижада дарёдан сув олиш кўп қарра ўсди. Бу эса олдин “бўш ётган” ер

майдонларини жадал сурътда ўзлаштиришни бошлашга имкон берди. Ижтимоий ҳолатда бундай ўзлаштиришлар, фаол хўжалик юритиш ҳудудларини мос ҳолда кенгайтиришни талаб этувчи аҳолини табиий ўсиш сурътини ўсиб боришини таъминлади. Иккинчидан, суғориладиган ер майдонларининг ўсиши билан бир вақтда пахта етиштиришга мўлжалланган ер майдонларини кенгайтириш билан боғлиқ бўлган тузилмавий ўзгаришлар юзага келди. Бунда пахтачилик саноати –энг кўп намлик талаб этадиган қишлоқ хўжалик экини ҳисобланади ва у кўп марта суғоришни талаб этади. Ирригацион тизимларни яратиш бўйича техник имкониятларни ўлчовсиз ўсиб боришига қарамасдан, ушбу тизимларнинг ўзи эскирган технологиялар асосида ҳосил қилинди. Ўтган асрнинг 50-йилларида фильтрация учун дарёлардан олинadиган сувнинг 50% сарфланса, 60 - йилларга келиб, магистрал каналларни яратишда бетон плиталардан фойдаланиш имконияти туғилди, бу эса фильтрация даражасини пасайтиришга имкон берди. Мазкур омиллар биргаликда сувнинг экологик муаммоси деб номланувчи янги йўналишни шаклланишига, шунингдек хўжалик айланмасига жалб этилиши мумкин бўлган сув захираларини амалий жиҳатдан камайиб кетишига олиб келди. Шундай қилиб Марказий Осиёдаги сув муаммоси сезиларли мувозанатлашмаган омил бўлиб ҳисобланади. Уни хусусий сув ресурсларини тўлиқ мавжуд эмаслиги ва бундай ресурсларни ташқаридан жалб этиш имкониятини амалий жиҳатдан йўқлиги билан боғлиқ ҳолда анъанавий экстенсив чора тадбирлар билан ҳал этиш имконсиздир. Муаммони ҳал этиш қишлоқ хўжалигини тубдан ислоҳ қилиш, саноатда сувни тежовчи ва сувдан қайта фойдаланиш имконини берувчи технологияларни қўллаш, сувни чучуклаштириш қурилмалари ва замонавий тозалаш иншоатларини амалиётга жорий этиш билан белгиланади. Бундай лойиҳаларга катта миқдордаги молиявий воситаларни сарфланиши, минтақавий саноатнинг техник даражаси ва бошқа иқтисодий омиллар заруриятини ҳисобга олсак, мазкур муаммони ҳал этилиши – келажакнинг ишидир.

Собиқ иттифоқда ўтган асрнинг 80-йиллари ўрталарида энергетик тизим бирлашмаларининг улуши гидроэлектростанция ишлаб чиқаришининг умумий ҳажмини Марказий Осиё ва Қозғистонда 14%ни ташкил этиб, собиқ Иттифоқ бўйича 2-ўринни эгаллади. ГЭСларнинг Норин-Сирдарё каскади (2,7 млн. кВт) мамлакатнинг энг йирик бешталигига кирар эди.

Ҳозирги вақтда давлатларининг иқтисодий асосланган гидроэнергетик потенциали 173 млрд. кВт.с/йил билан баҳоланади, улардан 84%и Марказий Осиё давлатларига тўғри келади. Айниқса мазкур давлатлар учун гидроэнергетик потенциални ўзлаштириш истиқболли бўлиб ҳисобланади. Кўплаб дарё оқимларида ГЭСларни яратилганлигига қарамасдан, Марказий Осиёдаги дарёлар оқимларининг

энергетик имкониятларидан фойдаланиш юқори даражада эмас. Гидроэнергетик потенциални қўллашни амалдаги даражаси юқори эмас, масалан Марказий Осиёда 18%, Қозоғистонда эса 14%ни ташкил этади. Россиянинг Европа қисми, Уралда бу кўрсаткич 70%ни ташкил этади. Шундай қилиб, Марказий Осиё давлатларининг ресурс таъминот муаммоси – мажмуавий бўлиб, у ўз ичига сув истеъмоли, электроэнергетика ва газ таъминотини қамраб олади. Бу Марказий Осиё давлатлари ва Қозоғистон иқтисодиёти интеграциясини сув таъминоти муаммоси билан боғлиқ бўлган юқори даражасини кўрсатади. Кейинги йиллардаги текширувчилар чиқинди сув таркибининг таҳлил қилиниши: 1 литр сувда муаллақ моддаларни 1,56 г эканлиги, органик моддаларнинг оксигенга биохимик талаби 40120 мг, оксигенга химик талаб 400750 мг, нефт маҳсулотларини 2025 мг га ортганлиги кўринади. Ушбу муаммо Ўзбекистон республикасида қандай аҳволда? Сув ҳавзаларини асосий ифлослантурувчи манба саноат чиқинди сувлари ҳисобланади. 14 та йирик саноат корхоналари очик сув ҳавзаларига суткасига 600 минг метр кубдан кўп чиқинди сувларни туширадилар. Кейинги иккинчи ўринда енгил саноат туради, шундан 50 та енгил саноат корхоналари суткасига 200 минг метр кубдан кўп (шундан 80 % тозаланмай ташланади) чиқинди сув очик сув ҳавзаларига туширадилар. Учинчи ўринда қора ва рангли металлургия туради. Ушбу саноат корхоналари суткасига 119,2 минг метр куб чиқинди сувларни (шундан 70% тозаланмай ташланади) ташлайдилар. Региондаги гидроэкологик ҳолатнинг ёмонлашувининг асосий сабаби юқори минералланган ва ифлосланган 3538 минг метр куб чиқинди сувларнинг дарёларга туширилиши ҳисобланади.

Ушбу муаммонинг асосий элементи-сувдир. Мазкур шароитда сувни текин маҳсулот деб ҳисоблашни давом эттирилиши – юқорида келтириб ўтилган давлатлар иқтисодиётини бузилишига ва улар ўртасида зиддиятни юзага келиши учун бевосита йўлдир. Шу сабабли Ўзбекистонда ушбу муаммони хал этишда кучли қонунчилик яратилган, хусусан “Сув ва сувдан фойдаланиш” тўғрисидаги қонун мавжуд. Қонуннинг 11 моддасида: Сувларнинг ва сув объектларининг ҳолатига таъсир этувчи корхоналар, иншоотларни ҳамда бошқа объектларни жойлаштириш, лойихалаш, қуриш, реконструкция қилиш, таъмирлаш, тиклаш ва ишга тушириш шартларида қуйидагилар белгилаб қўйилган: Сувларнинг ва сув объектларининг ҳолатига таъсир этувчи корхоналар, иншоотларни ҳамда бошқа объектларни жойлаштириш, лойихалаш, қуриш, реконструкция қилиш, таъмирлаш, тиклаш ва ишга туширишда, янги технологик жараёнларни жорий этишда аҳолининг соғлиғини сақлаш ва ичимлик сувига бўлган эҳтиёжларини ҳамда маиший эҳтиёжларини биринчи навбатда қондириш талабларига риоя этган ҳолда сувдан оқилона фойдаланиш, шунингдек коллектор-дренаж сувларини ва

оқинди сувларни чиқариб юборишнинг қулай режими таъминланиши лозим. Бунда сув объектларидан олинган ва шу объектларга қайтариладиган сувни ҳисобга олишни, сувларни буғланиш, ифлосланиш ва камайиб кетишдан сақлашни, сувларнинг зарарли таъсирининг олдини олишни, ерларнинг сув босишини имкон қадар камайтиришни, ерларни шўрланишдан, зах босишдан ёки қақраб қолишдан муҳофаза қилишни, шунингдек қулай табиий шароитлар ва ландшафтларни сақлаб қолишни таъминловчи тадбирлар назарда тутилади. Қонунининг 56 моддаси: "Сув объектларидан саноат мақсадларида ва иссиқлик энергетикаси эҳтиёжлари учун фойдаланувчи сув истеъмолчиларининг мажбуриятлари", ҳамда 59 моддасида: "Сув объектларидан гидроэнергетика эҳтиёжлари учун фойдаланиш"да қуйидагилар кўрсатиб қўйилган: сув объектларидан гидроэнергетика эҳтиёжлари учун фойдаланиш иқтисодийнинг бошқа тармоқлари манфаатлари ҳисобга олиниб, қишлоқ ва сув хўжалиги органлари билан келишилган ҳолда, шунингдек, агар Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг қароридан, тегишли ҳолларда эса, қишлоқ ва сув хўжалиги ҳамда экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш органларининг қароридан бошқача тартиб назарда тутилмаган бўлса, сувлардан комплекс ва оқилона фойдаланиш талабларига риоя қилинган ҳолда амалга оширилади. Гидроэнергетика эҳтиёжлари учун бериб қўйилган сув объектларидан табиий шароитларга, хўжалик эҳтиёжлари ва ўзга эҳтиёжларга қараб, бошқа мақсадлар учун ҳам фойдаланилади. Ўзбекистон Республикасининг "Аҳолини санитар –эпидемиологик осайишталигини таъминлаш" тўғрисидаги Қонуннинг 26-моддасида қуйидагилар белгилаб қўйилган: Хўжалик ва ичимлик суви билан таъминлашга доир талаблар." Хўжалик ва ичимлик суви билан таъминлаш соҳасида фаолиятни амалга оширувчи юридик шахслар етказиб берилаётган сувнинг сифати санитария қоидалари, нормалари ва гигиена нормативларига, шунингдек давлат стандартларига мувофиқлигини таъминлаши шарт. Марказлаштирилган тартибда хўжалик ва ичимлик суви етказиб бериладиган сув қувурлари ҳамда уларнинг манбалари учун махсус тартибли санитария муҳофазаси зоналари белгиланиб, улар маҳаллий давлат ҳокимияти органлари томонидан тасдиқланади. Юридик ва жисмоний шахслар хўжалик ва маиший мақсадлар ҳамда марказлаштирилмаган тартибда сув билан таъминлаш учун фойдаланиладиган сув ҳавзаларидаги сувнинг санитария қоидалари, нормалари ва гигиена нормативларига мувофиқ бўлишини таъминлаши шарт. Ушбу моддада сув ҳавзаларидаги нафақат иқтисодийда балким аҳолини тоза ичимлик суви билан таъминлашда ҳам сув объектларининг аҳамияти каттадир. Ўзбекистон Республикасининг табиий бойликларидан бири сув ҳавзаларининг ифлосланишини олдини олишда қўлланиладиган чора тадбирлар ишлаб чиқиш ва уларни кундалик санитария назоратида

фойдаланишда яна бир қонунчилик меъёрий хужжат бу Сан Қ ва М №0318-2015”Ўзбекистон Республикаси ҳудудида сув ҳавзалари сувига гигиеник ва эпидемияга қарши талаблар”да белгилаб қўйилган. Ушбу санитария қоидалари ва меъёрларига асосан сувдан фойдаланиш жойларида сувнинг сифат кўрсаткичларига қўйиладиган гигиеник талаблар ва қандай чиқинди сувларни сув ҳавзаларига ташлаш мумкин ёки мумкин эмаслиги белгилаб қўйилган. Шу билан бирга сув ҳавзаларининг суви сифат кўрсаткичлари ва сувдан қандай мақсадларда фойдаланишга кўра сув объектларининг тоифалари белгилаб қўйилган.

Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда биз Олмазор туманидаги сув объектларининг ифлосланиш ҳолатини текширдик. Собир Раҳимов тумани ЎзССР Олий Совети Президиумининг 1970 йил 7 декабрдаги 1812-сонли Фармонида асосан Октябрь, Чилонзор ва Киров туманлари кесимида янги туман ташкил этилиб, унга Собир Раҳимов номи берилган. Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлиси Сенатининг 2010 йил 4 декабрдаги «Тошкент шаҳар Собир Раҳимов туманининг номини ўзгартириш тўғрисида»ги 133-ПҚ-сонли қарори билан туманга “Олмазор” тумани номи берилган. Тошкентнинг шимолий-ғарбида жойлашган. Тошкент вилоятининг Зангиота тумани, Тошкент шаҳрининг Юнусобод ва Шайхонтохур туманлари билан чегарадош. Майдони 3,45 минг гектар, шу жумладан кўкаламзор ерлари 1,8 минг гектар. Аҳолиси 306,1 минг киши (2009), асосан, ўзбеклар, шунингдек, рус, татар, қozoқ ва бошқа миллат вакиллари яшайди. Туман ҳудудидан Қичқирик, Дамарик, Қорақамиш, Кайковус ва бошқа каналлар оқиб ўтади. Туманда 3459 та корхона ва ташкилот бўлиб, 12 та йирик саноат корхонаси бор. 8 та йирик корхона халқ истеъмолчи моллари ишлаб чиқаради. 2929 та кичик корхона ва микрофирма, 200 дан ортиқ чет эл инвесторлари иштирокидаги корхона мавжуд 200 дан зиёд спорт майдончаси, 5 та стадион, 7 та сузиш ҳавзаси, 68 спорт зали, 10 та теннис мажмуаси хизмат кўрсатади. Тумандан оғиб штувчи сув объектларини асосий ифлослантирувчи маънбалар: автомашиналарни ювиш шохобчалари ва хусусий секторда яшовчи хонадонлар ҳисобланади.

Сув объектларининг сувини 2015-2017 йиллар динамикасида санитар кимёвий таҳлил учун олинган намуналар ва уларнинг лаборатория таҳлил натижалари. Лаборатория таҳлил натижаларида қўйидагилар ўрнатилди: 2015 йил умумий олинган намуналар сони 90 та бўлиб, улардан 36 таси (40%) гигиеник талабларга жавоб бермаган. Олинган натижаларни сув объеклари бўйича таҳлил қиладиган бўлсак, Қичқуруқ сув объектидан азот аммиак - 15 та (16,6%), кислород бўлган кимёвий эҳтиёж (КБКЭ) - 4та (4,4%), органолептик кўрсаткичлари бўйича эса - 2 та (2,2%) намуна, Калковус сув объектида эса азот аммиакка -10 та (11,1%), КБКЭ -7та (7,7%), кислород бўлган биологик эҳтиёж (КББЭ) -1 та (1,1%) намуна гигиеник талабларга жавоб бермаган. Ушбу кузатув

йилида очик сув хавзалари сувининг сифат кўрсаткичилар энг кўп азот аммиак бўйича Қичқируқ ва Калковус сув объектларида бошқа кўрсаткичларга нисбатан гигиеник талабларга жавоб бермаган. 2016 йил умумий олинган намуналар сони - 90 та бўлиб, улардан - 30 таси (33,3%) меъёрларга тўғри келмаган, яъни Қичқируқ сув объектидан азот аммиак - 10 та (11,1%), Калковус сув объектида эса азот аммиакка - 4 та (4,4%), Қора қамиш сув объектидан эса азот аммиакка -14 та (15,5%), КБКЭ – 7 та (7,7%), КББЭ -5 та (5,5%) намуналар гигиеник талабларга жавоб бермаган. 2017 йил умумий олинган намуналар - 90 та бўлиб, улардан - 42 таси (46,6%) меъёрларга тўғри келмаган, яъни Қичқируқ сув объектидан азот аммиак - 11 та (12,2%), Калковус сув объектида эса азот аммиакка - 15 та (16,6%), Қора қамиш сув объектидан эса азот аммиакка олинган барча намуналар гигиеник талабларга жавоб бермаган. 2016-2017 йилларда ҳам азот аммиак бошқа кўрсаткичларга нисбатан санитария меъёрларга мос келмаган хусусан 2016 йилда 15,5%, 2017 йилда эса 16,6% ни ташкил этди.

Юқорида олинган натижалардан шуни хулоса қилиш мумкин, сувдан фойдаланиш жойларидаги сувининг санитар кимёвий тахлил натижалари бўйича кўпгина намуналар гигиеник талабларга жавоб бермаган, айниқса азот аммиак кўрсаткичи бўйича, бу эса сув объектларни санитария муҳофазалашда илмий асосланган чора тадбирлани қўллаш ва аҳоли ўртасида сув объектларига боғлиқ касалликларнинг олдини олишда, энергетика масалаларини ечишда муҳим аҳамиятга эга.

Адабиётлар

1. Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании» - Ташкент, 2011.
2. Закон Республики Узбекистан «О санитарно-эпидемиологическом благопоучии населения».-Ташкент.-2015.
3. Сан ПиН РУз № 0172-04 «Гигиенические и противоэпидемические требования к охране воды водоемов на территории Республики Узбекистан».
4. Искандарова Ш.Т. Рациональные санитарно- гигиенические проблемы охраны водоемных источников и водоснабжение населения в специфических условиях Республики Узбекистан, - Т.- 2001.- С. 206-207.
5. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 21 апрелидаги “Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш соҳасида давлат бошқаруви тизимини такомиллаштириш тўғрисида»ги ПФ-5024 –сонли Фармони.
6. Коммунальная гигиена. Учебник. /Под ред. Мазаева В.Т. часть 1. - Москва.”ГЭОТАР-Медиа”.2005. - 357 с.

7. Коммунальная гигиена. Учебник. /Под ред. Мазаева В.Т. часть 2. - Москва."ГЭОТАР-Медиа".2007. -405 с.
8. Коммунальная гигиена. / Под ред. Гончарук Е.М. Киев. 2007.
9. Искандаров Т.И., Отабаев Ш.Т., Искандарова Г.Т. Коммунал гигиена. Дарслик - Тошкент. "Янги аср авлоди нашриёти". 2019. 403.б
10. Отабаев Ш.Т., Искандаров Т.И., Искандарова Г.Т. Коммунал гигиена. Дарслик - Тошкент. "Янги аср авлоди нашриёти". 2010. 398.б.
11. Гигиена / Демиденко Н.М. тахрири остида, 2002. 615.б.
12. "Коммунал гигиена амалий машгулотлар учун кулланма" Е.И. Гончарук –Москва. 1990.
13. «Инсон ва биосфера» Ш.Т.Отабоев,М.Набиев. -Т.-1998. -312.б.
14. Гигиена / Под ред. Г.И.Румянцева. –М.:ГЭОТАР Медиа, 2000. - 489 с.
15. Искандаров Т.И., Илинский И.И., Искандарова Г.Т. Современные проблемы гигиены воды и водоснабжения населения, санитария охраны водоемов в спифических условиях Узбекистана. Методическая рекомендация. -Т., 2006, -356.с
16. Искандарова Ш.Т. Актуальные проблемы эколого-гигиенического рай-онирования территорий административных районов. Монография. - Т., 2002, -284 с.
17. Тексты лекций по коммунальной гигиене. –Т. -2009. -231 с.
18. Jae Wook Choi, Kyonghee Kim, Salomova F.I., Iskandarova G.T., Sadullayeva X.A., Sherqo`ziyeva G.F., Sharipova S.A. Atrof muhit gigiyenasi va inson salomatligi» Дарслик, Тошкент 2020 йил.
19. Шерқўзиева Г.Ф. Очик сув хавзаларининг ифлосланиш ҳолатини эколого-гигиеник баҳолаш натижалари. //“Биология ва тиббиёт муаммолари” журнали. – Самарқанд, 2020. - № 4.1 (121). - С. 67-70.
20. Шерқўзиева Г.Ф., Самигова Н.Р., Рустамова М., Хаджаева У. Сувдан фойдаланиш жойларида сув объектларининг эколого-гигиеник ҳолатини баҳолаш. /Ўзбекистонда илмий-амалий тадқиқотлар" мавзусидаги республика 13-кўп тармоқли илмий масофавий онлайн конференция материаллари. -Тошкент, 2020. – С. 106-107.

*Тошкент тиббиёт академияси
томонидан тавсия этилган*

УДК: 665.5

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Н.И. Ибрагимов, Р.Р. Исанова

Ушбу мақолада электрик ва электрон чиқиндилар (ЭЭЧ)ни қайта ишлаш ва утилизация қилиш каби масалалар ёритилган.

Унда ЭЭЧ тўғрисида асосий тушунчалар, уларни хосил бўлиш манбалари, таркиблари, дунё бўйича йиғилиб қолган хажми каби малукмотлар ёритилган. Мақолада ривожланган мамлакатлар АҚШ, Япония ва Евроиттифоқ давлатларида, БРИКС (Бразилия, Россия, Хиндистон, Хитой) ташилотига кирувчи мамлакатларда, охириги йилларда Ўзбекистон Республикасида ҳам қабул қилинган қонун ва қонуности ҳужжатлари ҳамда илк бор чиқарилган Директивалар келтирилган. Шунингдек ЭЭЧлар тоифасига кирувчи уй-рўзгор асбобларни – совитгичлар, микротўлқинли печлар, блендрлар, тefаль дазмоллари, газ плиталари, нон пиширадиган печларни, ишлаш муддатини ўтаб бўлган электрон чиқиндилар – компьютерлар, процессорлар, принтерлар, мобиль телефонлар, нусха оладиган қурилмалар, электрон лампалар, тиббиёт қурилмалар, майда майишй техникалар, ёруғлик қурилмалар, телекоммуникация қурилмаларини қайта ишлаш бўйича янги замонавий технологиялар, масалан, компьютерларнинг она платаларини қисимларини пневмотехнологияларни қўллаб, пневмосепарапация усулида ажратиб олиш, ҳамда гидрометаллургия усулида эса турли хил металлларни эрувчанлигини ҳисобга олган ҳолда платалар таркибидан ажратиб олиш мумкинлиги ва уларни қайта ишлаб иккиламчи хом ошё сифатида ишлатиш бўйича маълумотлар келтирилган.

Мақолада ЭЭЧ хавфли чиқиндилар тоифасига кириши, атроф-муҳитга етарли даражада таъсир кўрсатиб оғир салбий оқибатларга олиб келиши мумкинлиги, улар таркибидаги захарли моддалар қўрғошин, симоб, хром, кадмий, мишьяк каби оғир металллар ва угловодород брикмалари (хлорфтор карбонлар ёки фреонлар, полихлорланган бифениллар, поливенилхлорид, таркибида бром бўлган антипиренлар, бромли бирикмалар) сувга, тупроққа ва атмосфера ҳавосига ўтишиб, инсонларнинг соғлигига катта зарар келтириши каби малумотлар ҳам келтирилган.

Бундан таиқари ЭЭЧ ларни эксплуатация қилишида, қисқа муддатда уларни эскириб қолиши ва замонавий янги русмларини бозорга муомалага чиқарилиши, ЭЭЧ кўплаб йиғилиб қолишига сабабчи

бўлаётгани, бу эса уларни утилизация қилишда бир-қатор муаммоларни келтириб чиқариши хақида ҳам тўлиқ маълумотлар келтирилган.

Мақолада ЭЭЧларни утилизация қилиш ва қайта ишлашда чет-эл тажрибасидан фойдаланиши мумкинлиги тўғрисида ҳам маълумотлар ўз аксини топган.

В статье рассматриваются такие вопросы, как повторная переработка и утилизация электрических и электронных отходов (ЭЭО). В нём освещены источники образования, состав, объем ЭЭО и принятые законодательные и правовые акты, в том числе впервые изданные Директивы в развитых странах, таких как США, Япония, страны Евросоюза, в странах, входящих в организацию БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай) и в Республике Узбекистан. Кроме того, в статье приводятся методы утилизации бытовой техники, относящихся к категории ЭЭО - холодильников, микроволновых, хлебопекарных печей, газовых плит, блендеров, утюгов типа Тефаль, с истекшим сроком годности электронных оборудования - компьютеров, процессоров, принтеров, мобильных телефонов, осветительных приборов, телекоммуникационных оборудования. Новые современные технологии повторной переработки оборудования, например, разделение частей материнской платы компьютеров пневмотехнологией с использованием пневмосепарации, а также методы гидрометаллургии, для отделения различных металлов от плат с учетом их растворимости и использования в дальнейшем их в качестве вторичного сырья.

В статье констатируется, что ЭЭО относятся к категории опасных отходов, которые могут иметь серьезные негативные последствия на окружающую среду. Их токсичными веществами являются тяжелые металлы, такие как свинец, ртуть, хром, кадмий, мышьяк и углеводородные соединения (хлорфторуглероды или фреоны, полихлорированные, бифенилы, поливинилхлориды), бромсодержащие антипирены, бромированные соединения), которые могут переходить в воду, почву и атмосферный воздух, нанося большой вред окружающей среде.

Кроме того, краткосрочное устаревание ЭЭО и быстрое внедрение новых современных моделей на рынок привели к большому скоплению ЭЭО, что может привести к ряду проблем при их утилизации.

В статье также приводится информация об использовании зарубежного опыта при утилизации и повторной переработке ЭЭО.

The article covers issues such as recycling and disposal of electrical and electronic waste (EEE).

It highlights the sources of education, the composition, the volume of EEE accumulated around the world and the adopted legislative and legal acts, including the first published Directives in developed countries such as the

USA, Japan, the European Union, in the countries of the BRICS organization (Brazil, Russia, India, China) and in the Republic of Uzbekistan. In addition, the article provides methods for the disposal of household appliances belonging to the category of EEE - refrigerators, microwave ovens, gas stoves, blenders, Tefal type irons, expired electronic equipment - computers, processors, printers, mobile phones, lighting fixtures, telecommunications equipment, new modern technologies for equipment recycling, for example, the separation of parts of the motherboard of computers using pneumatic technology using pneumatic separation, as well as hydrometallurgy methods, for separating various metals from boards, taking into account their solubility and further use them as secondary raw materials.

The article considers that EEE belongs to the category of hazardous wastes that can have serious negative consequences if they have a sufficient impact on the environment, their toxic substances are heavy metals such as lead, mercury, chromium, cadmium, arsenic and hydrocarbon compounds (chlorofluorocarbons or freons, polychlorinated, biphenyls, polyvinylchlorides), bromine-containing flame retardants, brominated compounds) can pass into water, soil and atmospheric air, causing great harm to human health.

In addition, the short-term obsolescence of EEE and the rapid introduction of new modern models into the market have led to a large accumulation of EEE, which can lead to a number of problems during their disposal.

The article also provides information on the possibility of using foreign experience in the disposal and recycling of EEE.

Отходы засоряют и захламляют окружающую нас природу и, кроме того, они могут являться источником поступления вредных химических, биологических и биохимических веществ в окружающую природную среду. Поэтому решение проблем переработки и утилизации отходов, особенно электронных отходов, приобретает за последние годы перво-степенное значение.

В течение последних двадцати лет количество электронных и электрических устройств постоянно увеличивается, что остро ставит вопрос о переработке этой техники после ее использования.

На рынке Узбекистана представлен широкий диапазон технологий переработки отходов. Однако рост доли перерабатываемых отходов сдерживается отсутствием системы раздельного сбора отходов, являющегося ключевым условием глубокой переработки, а также недостаточным развитием рынка и низким уровнем спроса на продукцию, произведенную из вторичного сырья.

Многие развитые страны практически полностью и успешно решают эти задачи. Особенно это касается Японии, США, Германии, Франции, прибалтийских стран и многих других.

Отрасль переработки отходов электрического и электронного оборудования во Франции открылась в 2005 г. с целью организовать утилизацию этого вида отходов. С того времени было собрано и переработано уже около 1,8 млн тонн отходов.

Общий объём отходов электрического и электронного оборудования (ОЭЭО) в мире, по материалам ЮНЭП (United Nations Environment Programme) составляет около 50 млн. т в год.

По данным из разных источников можно получить следующую картину по странам (к сожалению, нет данных в сопоставимых вариантах - исследования и оценки проводились в разные годы, а общих сводных данных нет).

По данным Института отраслей по рециклингу лома (Institute of Scrap Recycling Industries,- ISRI), в США в 2011 г. было обработано более 4,4 млн т только электронного лома. Более 70% этого веса превратились из отходов во вторичное сырьё (чёрные и цветные металлы, пластик, стекло) для производителей материалов новых товаров.

В странах ЕС в 2008 г. было произведено около 7 млн. т ОЭЭО (уже с учётом электрического оборудования), из которых переработано было 2,6 млн. т, или 37%). Общий доход - около 1 млрд. евро. Численность занятых - не менее 10 тыс. человек.

В Китае ежегодно на свалках оказывается около 2 млн. т холодильников, компьютеров и других ОЭЭО. В Индии эта цифра составляет около 600 тыс.т. Бразилия ежегодно производит около 680 тыс.т ОЭЭО.

Все приведённые выше обстоятельства требуют особого отношения к ОЭЭО, выделения их для переработки из потока других отходов.

Проблема ограниченности природных ресурсов, загрязнения воздуха, воды и утилизации отходов принимает глобальные масштабы. В Европе, Азии и США вступают в действие законодательные нормы, направленные на защиту окружающей среды и меняющие характер процессов разработки, производства, использования и утилизации материалов во многих отраслях. Однако нигде эти проблемы не ощущаются так остро, как в производстве электроники, где этапы разработки и сроки «жизни» товаров коротки, себестоимость высока, а разработка, производство и реализация продуктов осуществляются по всему миру.

Поскольку электронные и электрические приборы используются повсеместно и товарооборот этого сегмента рынка очень большой, отходы также очень велики. В мире несколько уже принятых законов в этой области имеют своей целью уменьшение количества отходов за счёт создания условий для их переработки и побуждения производите-

лей к более внимательному выбору материалов для производства и более тщательной разработке изделий.

В области нового законодательства лидируют Япония и страны Европейского Союза, хотя Китай и США также ужесточают свои требования к производителям электронного и электротехнического оборудования. Рассредоточенность населения Европы по небольшим городам, преобладание в инфраструктуре утилизации отходов методов сжигания и политический интерес к проблеме окружающей среды помогли европейским странам обеспечить эффективное выполнение нового, ужесточённого экологического законодательства. Поскольку рынок электротехнических и электронных приборов глобален, новые законодательные нормы отражаются не только на национальных производителях - любой производитель оборудования или комплектующих должен следовать новым требованиям. Практическое выражение этого положения состоит в том, что экологическое законодательство приобретает глобальный характер.

В 1998 г. в Японии был принят закон о рециклинге электрических бытовых приборов. Переработку этого оборудования отныне должны осуществлять производители. Теперь, как логичный результат введения этого закона, производители стараются изготавливать приборы, переработка которых будет стоить меньше и проще осуществляться. В 2003 г. принят закон об утилизации компьютеров (Personal Computers Recycling Law), ответственность за утилизацию берёт на себя производитель. Пользователь может избавиться от компьютера, либо сдав его производителю, либо обратившись на почту. В 2008 г. Япония выступила с инициативой создания безотходного общества – New Zero Waste International Action Plan.

1978 г. Вступила в силу Директива ЕС 78/319/ЕС от 20 марта 1978г. «О токсичных и опасных отходах».

1989 г. Принята Базельская конвенция о контроле над трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением от 22 марта 1989 г., которая ратифицирована Россией (Федеральный закон от 25.11.1994 г. № 49-ФЗ).

1991 г. Вступила в силу Директива ЕС 91/689/ЕС от 12 декабря 1991 г. «Об опасных отходах». Отходы сгруппированы в три класса - опасные, неопасные, инертные. Происходит дальнейшее ужесточение требований к утилизации отходов.

Директива Совета ЕЭС 91/157/ЕЭС от 18 марта 1991 г. об аккумуляторах и батареях, содержащих некоторые опасные вещества. В ней впервые было запрещено использование некоторых видов щелочных батарей, содержащих определённое количество ртути.

1996 г. Вступила в силу Директива ЕС № 96/59/ЕС от 16 сентября 1996 г. о ликвидации полихлорбифенилов и полихлортерфенилов (РСВ/РСТ).

1999 г. Вступила в силу Директива ЕС № 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. «О полигонах захоронения отходов», предусматривающая раздельный сбор отходов, основана на принципе «Загрязнитель платит».

2003 г. Вступила в силу Директива ЕС № 2002/96/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об отходах электрического и электронного оборудования (первая директива ОЭЭО).

Директива № 2002/95/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об ограничении содержания некоторых опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании (вторая директива ОЭЭО).

Однако внимание к проблеме в большинстве стран мира объясняется не только внушительными количественными показателями. Особую тревогу в развитых странах вызывает то, что при производстве ЭЭО зачастую используются особо опасные вещества, которые при попадании на свалки приводят к серьёзному загрязнению окружающей среды и наносят ущерб здоровью человека. Вторым важным моментом является огромный объём экспорта оборудования из развитых стран в развивающиеся. По некоторым оценкам, до 80% не переработанных ОЭЭО вывозится в Азию. Частично для дальнейшего использования, но главным образом – для разборки и последующей «неформальной» переработки (это имеет место в Индии, в Китае). Для повышенного внимания к ОЭЭ есть ещё одно основание: при производстве электронных приборов применяются драгоценные и редкоземельные металлы. Запасы редкоземельных металлов в настоящее время очень ограничены, поэтому использование ОЭЭ в качестве источника сырья является актуальным, особенно с учётом значительного повышения цен на это сырьё[1].

Ниже рассмотрим методы и технологии переработки электронных отходов, в частности печатных плат (ПП) компьютерной техники, механическими, физическими и химическими методами [2,3,6,13,14,16, 17,18].

ПП являются одним из компонентов компьютеров и другой техники. Ниже приводим процентное содержание металлов и других компонентов в печатных платах:

- никеля - 3,25 %; серебра - 2,50 % - соответственно является рентабельным аффинаж серебра;
- меди - 23,04 %;
- железа - 12,30 %;
- золота - 0,27 %.
- неметаллические фракции - остальное.

Отходы ПП отличаются разнородностью и сложностью состава, хотя уровень разнородности отходов плат с компонентами несколько выше. Материалы ПП отличаются особым разнообразием, при этом количество драгоценных металлов, присутствующих в осажденных покрытиях различной толщины, соединенных с медью, припоями, сплавами различного состава, из цветных и черных металлов, относительно невелико.

1. Пневмотехнологии, которые удачно сочетают в себе эффекты псевдосжиженного слоя, вибрации среды и пневмосепарации, успешно применяются в случаях разделения разнообразных частиц из электронных отходов. При этом очень важно, чтобы загружаемая смесь была однородной по размерам фракций, что гарантирует эффективную сепарацию.

Черные металлы легко отделяются в магнитном сепараторе, который используется в металлообрабатывающей отрасли.

2. Почти все цветные металлы могут отделяться в электростатическом сепараторе благодаря своей высокой электропроводности вихревыми токами. Способ разделения с помощью вихревых токов был разработан в отрасли утилизации отходов, когда появился сильный постоянный электромагнит из сплава железо-бор-неодим. Установка в виде вращающегося ремня с использованием вихревых токов наиболее широко применяется для разделения цветных металлов на фракции. В процессе ее применения переменное магнитное поле, формируемое с помощью быстро вращающегося колеса с прикрепленными к нему постоянными магнитами создает вихревые токи, которые генерируют магнитное поле, отталкивающееся от первоначального магнитного поля. Результирующая сила, обеспечивает отделение цветных металлов от непроводящих материалов.

3. Гидрометаллургический метод разделения зависит от избирательного растворения металлов, содержащихся в ПП. Эффективность всех гидрометаллургических методов повышается с использованием предварительного измельчения, однако это делается, прежде всего, для снижения объема сыпного материала и для того, чтобы обеспечить большую поверхность травления металлов. Применяя метод избирательного растворения, можно использовать высокоэффективные травильные растворы на основе хлорида меди или сульфата аммония для растворения меди; растворы на основе азотной кислоты для растворения припоя и царскую водку для растворения драгоценных металлов.

Материал извлекают путем химической переработки, которая включает в себя газификацию и пиролиз. Существуют различные традиционные и некоторые современные методы восстановления ценных металлических и неметаллических фракций из печатных плат.

Пиролиз представляет собой метод химической переработки, широко используется для переработки синтетических полимеров, в том числе полимеров, которые смешиваются со стеклянными волокнами. Пиролиз

таких полимеров дает газы, масла и символы. Эти продукты могут быть также использованы в качестве химического сырья или топлива.

Была разработаны методы, которые использует нерудные материалы печатных плат для переработки в композитные плиты. Композитные плиты находят применение во многих областях, включая автомобили, мебель, оборудование и декоративные материалы. Фенольные компаунды используются в производстве радиоприемников, кухонной утвари и электронных ключей.

Помимо указанных выше методов, неметаллические фракции отходов также могут быть использованы для производства армирующих наполнителей термопластичных смол металлических композитов. Неметаллические фракции были эффективно использованы в качестве армирующих наполнителей в полипропилен, так как он обеспечивает повышенную прочность и жесткость, с размером частиц 0,178-0,104 мм.

В настоящее время серийно выпускаются системы механической очистки для переработки разнообразных материалов электронных отходов, включая платы с компонентами и пустые платы. Одна из таких систем разработана фирмой Namos GmbH в Германии и представляет собой автоматизированную интегральную систему механической переработки, включающую следующие этапы:

- первичное измельчение крупных фракций с помощью измельчителя с вращающимися ножами разнообразного применения;
- отделение крупных фракций черных металлов с помощью сильных магнитов, расположенных над вибрирующим конвейером;
- измельчение в порошок — в этом процессе платы превращаются в порошок в шаровой мельнице, в которой используются шары, устойчивые к стиранию;
- просеивание с использованием самоочищающихся сит;
- электростатическое разделение, позволяющее фактически завершить разделение металлических фракций путем рециркуляции фракций частиц среднего размера;
- дальнейшее уменьшение размера, представляющее собой вторичное измельчение в порошок для уменьшения размера крупных частиц.

Система Namos ERP может дополнительно включать устройство для разделения фракций по плотности для извлечения алюминия и других металлов [15-20].

В заключение можно отметить, что из-за сложности состава, вредности отдельных компонентов и низкого выхода утилизированных продуктов электронных отходов, повторная переработка и утилизация их с экономической точки зрения не всегда оправдывается, а с экологической точки зрения и охраны природной среды имеют важную роль и поэтому необходима.

Литература

1. Gaibnazarov S.B, Ibragimov N.I.. Qattiq maishiy chiqindilarni utilizatsiyalash fanidan uslubiy qo'llanma. -Toshkent, ToshDTU, 2019. -136 b.
2. Ibragimov N.I., Rahimo L.S., Qattiq maishiy chiqindilarni utilizatsiyalash. Darslik. –Т.:“Fan va texnologiyalar Markazining bosmoxonasi” . -Toshkent, 2019. -266 b.
3. Технология извлечения драгоценных металлов из отходов электротехники [Электронный ресурс]: <http://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid = 233>
4. Дрейер А.А., Сачков А.Н, Никольский К.С., Миронов Ю.И., Миронов А.В.. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка. 2004. -57 с.
5. Мурашкин А.И., Андруня И.В. Использование отходов для получения редкоземельных металлов. Сибирский федеральный университет. – Красноярск. 2017 .
6. Ламзина И.В., Голдов А.В., Князев Я.И., Полозова И.А., Желтобрюханов В.Ф., Инженерный вестник Дона, № 2, 2014.
7. Гафиятова Т.П., Лебедева О.И., Вестник Казанского технологического университета, 2015.№ 2, -С.437-440.
8. Шеина С.Г., Бабенко Л.Л., Неделько С.С., Кобаля Н.Б., //Науковедение, 2012. №4.-С.1-16.
9. Пармухина Е.Л. //Экологический вестник России, 2011. №10. – С.26-27.
10. Петров, В.Г. Линии сортировки мусора. Перспективы применения. /Тр. Института прикладной механики. УрО РАН, Ижевск, 2005, 112 с.
11. Слюсарь Н.Н., Борисов Д.Л., Григорьев В.Н. Вестник ПНИПУ. Урбанистика 2011. №12, -С. 75-82.
12. Переработка плат (печатных, электронных, материнских) [Электронный ресурс]: <http://netmus.ru/katalog-tipovyh-resheniy/pererabotkaelektroniki/> (дата обращения 17.06.2016).
13. Гринин А.С. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка: учеб.пособие / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. - М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002.-332 с.
14. Дарулис П.В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. / П.В. Дарулис/. - Смоленск:Смядынь, 2000. -520 с.
15. Бартоломей А.А. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов / А.А. Бартоломей, Х. Брандл, А.Б. Пономарев. - М.: АСВ, 2004. - 144 с.
16. Гридэл Т.Е. Промышленная экология: /Пер. с англ. Т.Е. Гридэл, Б. Р. Алленби. - М.: ЮНИТИ, 2004. - 513 с.

ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

17. Обращение с опасными отходами : учеб. пособие / В.М. Гарин, Н.Н. Жукова, А.П. Мясников [и др.]. - М.: ТК Велби, 2006. - 219 с.

18. Другов, Ю.С. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. - 424 с.

19. Вторичная переработка полимеров. [Электронный ресурс]: сайт vtorothodi.ru. - Режим доступа : <http://vtorothodi.ru/pererabotka/pererabotka-polimernyxotxodov> (дата обращения 21.07.2016).

20. Кривошеин Д.А. Основы экологической безопасности производств / Д.А. Кривошеин, В.П. Дмитриэнко, Н.В. Федотова. - СПб.: изд-во «Лань», 2015. - 336 с.

*Представлено Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 621.311.1.

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н.И. Воронай

Ushbu tizimlarni raqamlashtirish va intellektualizatsiya sharoitida innovatsion texnologiyalar ta'sirida elektr energiya tizimlari (EPS) tuzilishi va xususiyatlarini o'zgartirishning asosiy yo'nalishlari va muammolari ko'rib chiqildi. Kelajakdagi EESni kiber-fizik tizim sifatida belgilaydigan omillar muhokama qilinadi. Kiber-jismoniy EESni o'zgartirish uchun kelajakdagi yangi boshqaruv tizimlarining asosiy roli keltirilgan.

Rассматриваются основные направления и проблемы трансформации структуры и свойств электроэнергетических систем (ЭЭС) под влиянием инновационных технологий в условиях цифровизации и интеллектуализации этих систем. Обсуждаются факторы, определяющие будущие ЭЭС как кибер-физические системы. Представляется ключевая роль новых будущих систем управления преобразующихся кибер-физических ЭЭС.

Main prospects and challenges of transformation of electric power systems (EPS) structure and properties under influence of innovative technologies by digitalization and intellectualization of these systems are considered. The future EPSs as cyber-physical systems are discussed. Key role of new future control systems for transformed cyber-physical EPSs are presented.

Электроэнергетические системы (ЭЭС) постоянно видоизменяются, меняются их структура и свойства в процессе развития под влиянием инновационных технологий в производстве, транспорте, распределении, накоплении и потреблении электроэнергии, интенсивного развития возобновляемых источников энергии и распределенной ее генерации, активизацией потребителей в процессах их электроснабжения, новой парадигмы клиенто-ориентированной электроэнергетики, роли ЭЭС как критической инфраструктуры, и рядом других факторов.

Общей структурной тенденцией в процессе развития ЭЭС является увеличение плотности и сложностязамкнутости магистральных и распределительных электрических сетей вследствие роста нагрузок и требуемого в связи с этим ввода дополнительных линий при общем сокращении их длины. В результате в густонаселенных регионах (Западная Европа и др.) продолжают развиваться концентрированные энергообъединения, а в

регионах с территориально протяженными ЭЭС (Россия, Бразилия и др.), наряду с наличием длинных линий, образуются концентрированные энергорайоны, что характерно для систем электроснабжения мегаполисов и приводит к появлению новых свойств энергообъединения в целом.

Существенную роль в обеспечении нормальной работы ЭЭС играет самоадаптация системы – ее способность гасить внутренние и внешние дестабилизирующие факторы действием регулирующих эффектов нагрузки по напряжению и частоте, частотных характеристик генераторов, а также инерционностью вращающихся масс роторов электрических машин, действием систем регулирования, защиты и автоматики. Благодаря этой способности ЭЭС адаптируется к внезапным изменениям режима и возмущениям в допустимых (расчетных) диапазонах их значений, а при их выходе за допустимые пределы действует система противоаварийного управления.

ЭЭС 21-го века в результате трансформации их структуры и активного использования инновационных технологий значительно теряют способность к самоадаптации вследствие массового использования силовой электроники и выпрямительно-инверторных систем для связи с ЭЭС высокоскоростных газотурбинных агрегатов, ветрогенераторов, фотоэлектрических установок, накопителей электроэнергии, линий постоянного тока, частотно-регулируемых электродвигателей нагрузки. С другой стороны, рост доли случайно флуктуирующей генерации (ветроагрегаты, солнечные панели, малые ГЭС) также снижает возможности ЭЭС к самоадаптации.

В то же время, системы управления многих устройств с использованием силовой электроники (FACTS, накопители электроэнергии и др.) обладают высокой эффективностью управления и стабилизации. Широкое использование таких устройств в будущих ЭЭС обеспечит радикальное повышение управляемости этих систем.

Современная ЭЭС – это самый сложный объект, состоящий из двух тесно взаимосвязанных подсистем: физической (технологической) и информационно-коммуникационной (ИКП). Уже в настоящее время, а в будущих ЭЭС – еще в большей мере, технологическая и информационно-коммуникационная подсистемы оказываются сопоставимыми по сложности и ответственности с точки зрения обеспечения нормального функционирования ЭЭС.

Цифровизация ЭЭС подразумевает не только ускорение обработки информации в цифровом виде, но и повышение эффективности технологических процессов в ЭЭС с применением инновационного силового оборудования нового поколения, разработку нового программного обеспечения для управления вновь создаваемыми цифровыми подстанциями,

и т.д. С учетом этих факторов ЭЭС необходимо рассматривать как сложные кибер-физические системы, в которых ИКП может работать неадекватно вследствие внутренних дефектов (ошибки в алгоритмах), а также может быть подвержена несанкционированным внешним воздействиям – кибератакам. Внутренние и, особенно, внешние факторы (кибератаки) предопределяют проблему кибербезопасности ЭЭС.

Развитие ЭЭС на основе инновационных технологий в физической и информационно-коммуникационной подсистемах в условиях цифровизации и интеллектуализации процессов функционирования ЭЭС и управления их режимами приведет к существенной трансформации структуры и свойств этих систем. В результате будущие ЭЭС приобретут облик развитых интеллектуальных кибер-физических систем, радикально отличающихся от нынешних ЭЭС. Эта трансформация потребует существенного пересмотра сложившихся принципов и методов моделирования таких систем, исследования их новых свойств, обоснования их развития и управления функционированием. Основой новых моделей и методов, наряду с традиционными, должен стать эффективный аппарат искусственного интеллекта. Ключевая роль в обеспечении нормального функционирования трансформирующихся ЭЭС принадлежит новым будущим системам управления, идеология построения и работы которых должна опережать потребности преобразующихся кибер-физических ЭЭС.

*Представлено Институт систем энергетики им.
Л.А.Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия*



ШАВКАТУ НАЗАРОВИЧУ МАШАРИПОВУ -80 ЛЕТ

Исполняется 80 лет со дня рождения Шавката Назаровича Машарипова - известного энергетика Узбекистана, одного из организаторов энергетической службы в низовьях Амударьи, заслуженного энергетика СНГ, ветерана энергетики Республики Узбекистана, почетного энергетика СССР.

Шавкат Назарович Машарипов родился 23 марта 1941 году в городе Хазарасп Хорезмской области. После завершения учебы в школе, поступил в 1960 году в Московский энергетический институт и с 1966 года начал работать в Хорезмских электрических сетях с должности электромонтера релейной службы вырос до должности директора предприятия.

Еще будучи студентом Шавкат Машарипов участвовал в строительстве Чар-Дарьинского гидроузла (р. Сыр-Дарья) мощностью 150 МВт. Строительство данного гидрокомплекса имело огромное значение для развития хлопководства Сырдарьинской области и Южного Казахстана. Этот опыт пригодился ему при строительстве Туя-Муюнского гидроузла в низовьях Аму-Дарьи (Хорезмская область), с гидростанцией 150 МВт.

В целях использования энергии Туя-Муюнского гидроузла за короткое время была построена вся электросетевая инфраструктура: ЛЭП 110-35 кВ и трансформаторные подстанции, выключатели и т.д. Конечно этот весь комплекс работ был выполнен с активным участием молодого руководителя Шавката Назаровича Машарипова, директора Хорезмских предприятий электрических сетей.

За 40 лет работы Ш.Н. Машарипова директором ХорПЭС были построены более 50 подстанций напряжением 220/110/10 кВ, на базе кото-

рых были созданы такие предприятия в Хорезмской области, как Хивинский ковровый комбинат, несколько прядильных фабрик, (городах Хазарасп, Богат), шелкомотальная фабрика, масложиркомбинат (г. Ургенч). Усиление электрической сети позволило увеличить мощность Тахиаташской ТЭС.

По предложению руководства Хор ПЭС было построена и далее расширено П/ст «Хорезм», что позволило укрепить Северо-Западный энергоузел энергосистемы Узбекистана и повысить надежность энергоснабжения низовья Аму-Дарьи. В настоящее время ЛЭП Тахиаташ-Беруни-Хорезм-Заравшан-Ташкент работает по графику диспетчерского пункта энергосистемы Узбекистана. В строительстве данного объекта как консультант активное участие принимал заслуженный энергетик СНГ Шавкат Назарович Машарипов.

Он уделял основное внимание подготовке квалификационных кадров для предприятия, организовал непрерывную для инженерно-технических работников техническую, экономическую учебу. По его инициативе во всех районных электросетях создавались учебные полигоны, технические кабинеты. Началось применение внедрения АСУ в энергосистеме, решались задачи оперативного управления в диспетчерской службе, отыскания повреждения в сетях 110-220 киловольт, что позволило более устойчивой и экономической работы электрической системы.

Большое внимание уделялось развитию производственной базы - в 11 районных электросетях были построены современные ремонтно-производственные базы взамен временных старых зданий.

Развитие социальных объектов также шло успешно - для отдыха детей энергетиков Северо-Западного энергоузла был построен современный оздоровительный комплекс с типовым плавательным бассейном; профилакторий - санаторий на 150 человек, столовая и т.д.

В целом создавалась хорошая социальная база для труда и отдыха, что способствовало закреплению кадров трудового коллектива. Предприятие постоянно пополнялось молодыми специалистами.

За время руководства Машариповым Ш.Н. Хорезмскими предприятиями электросетей потребление электрической энергии в регионе в производственных целях было увеличено более 3,5 раза, что позволило повысить электровооруженность более чем в 4 раза.

На протяжении более чем 40 лет Ш.Н. Машарипов руководил Хорезмским предприятием электросетей. Он более 30 лет избирался депутатом областного совета. За безупречную службу он награжден орденами и медалями Республики Узбекистан, почетными грамотами правительства и ГАК Узбекэнерго,

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

В свои 80 лет Шавкат Назарович выглядит энергичным, что объясняется, тем, что он и сейчас активно занимается спортом, творчески, увлеченно работает над задачами развития энергетики Узбекистана, в частности, Северо-Западного энергоузла энергосистемы Узбекистана.

Шавкат Назарович Машарипов всю жизнь сам учится и учит молодежь быть профессионалами своего дела!

Многотысячный коллектив Министерства энергетики Узбекистана, коллеги, ученики и коллектив Хорезмских Предприятий электрических сетей желает Шавкату Назаровичу Машарипову здоровья, быть бодрым и продолжать передачу опыта и воспитывать молодежь!

Группа коллег



УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ

К 75 - летнему Юбилею Абдурахмана Раджабова (1946 - 2020)

Абдурахман Раджабов родился 11 апреля 1946 года в горном кишлаке Баланд Осмон (Высокое Небо) Фаришского района Самаркандской (ныне Джизакской) области. В 1951 году когда ему было пять лет он начинает учебу в начальной школе в родном кишлаке. После завершения учебы в начальной школе, с пятого класса продолжает учебу в средней школе №2, которая находилась на расстоянии 6-7 километров, в соседнем кишлаке Осмонсой.

В 1961 году, окончив среднюю школу, молодой Абдурахман с 15 лет начинает свою трудовую деятельность помощником электромонтером Машино - тракторной станции (МТС) в совхозе «Фариш». В 1962 году он поступает на факультет «Электрификация сельского хозяйства» Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, который успешно заканчивает в 1967 году с «красным дипломом». По окончании остается работать ассистентом на кафедре «Электротехника». Принимает активное участие в общественной работе института. Проявив склонность к научным исследованиям, в 1970 году поступает в аспирантуру ТИИИМСХ.

В 1973 году под руководством профессора П.В.Байдюка Абдурахман Раджабов успешно защищает кандидатскую диссертацию на тему «Исследование процесса сушки каракулевых шкур с применением электроэнергии» в Московском институте инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П.Горячкина. Результаты исследования были внедрены в производство.

С 1973 года Абдурахман Раджабов работает старшим преподавателем, а затем доцентом кафедры «Автоматики и телемеханики»

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

ТИИИМСХ. В период с 1977 по 1980 гг являлся деканом факультета «Электрификация сельского хозяйства». В декабре 1979 года по его личной инициативе создается новая кафедра – кафедра «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве», которой он руководит до 2004 года.

За 24 года его руководства (1980-2004), кафедра подготовила 3 профессоров и докторов наук, 11 доцентов и кандидатов технических наук, были созданы три научно - экспериментальные лаборатории. Научно-исследовательская работа проводилась по проблемам использования электротехнологий в сушке и хранения плодов фруктов и овощей, каракулевых шкурок, переработки хлопка-сырца. Их результаты проходили испытания в производственных условиях и внедрялись на многих предприятиях и хозяйствах Республики Узбекистан.

Наряду с этим Абдурахман Раджабов продолжает исследования, связанные с темой своей докторской диссертации, которая отражала новое научное направление и инновационное решение народно-хозяйственной проблемы. В 1991 году на заседании Специализированного Ученого совета Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства он защищает докторскую диссертацию «Методологические основы энергосберегающей электротехнологии сушки плодов и винограда» и становится первым доктором наук в Центральной Азии по специальности: 05.20.02 – «Электрификация сельскохозяйственного производства». В 1992 году ему присваивается звание профессора.

Абдурахман Раджабов внес большой вклад в укрепление связей с научными и учебными организациями стран СНГ. В 1993 году способствовал открытию в ТИИИМСХ Специализированного Совета по защите кандидатских диссертаций по направлению «Электрификация в сельском хозяйстве» и председательствовал в этом Совете в течение 1993-1995 годов.

В 1992 году А.Раджабов назначается первым проректором по учебной работе ТИИИМСХ, в марте 1995 года приказом Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан - исполняющим обязанности ректора. Несмотря на сильную занятость проблемами института, он вел лекционные занятия со студентами.

На руководящих должностях института он работал в трудные годы после обретения независимости Республики Узбекистан, активно участвовал в мероприятиях, когда в республике осуществлялся переход в двухступенчатую систему (бакалавриат и магистратура) подготовки кадров с высшим образованием, принимался Закон «Об Образовании» и Национальная Программа по подготовке кадров. Являясь ректором одного из ведущих учебных заведений республики он активно внедрял новшества в ТИИИМСХ.

В 2004 году вышло Постановление Кабинета Министров о пере-

именование ТИИИМСХ в Ташкентский институт ирригации и мелиорации (ТИИМ) и в том году Абдурахман Раджабов (по причине сложившейся на тот момент обстановки) оставляет родной институт, своих учеников, кафедру, научную школу, оснащенные специализированным оборудованием лаборатории и переходит профессором Ташкентского государственного аграрного университета. В университете он активно начинает работу над открытием специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». Для решения этой задачи требовалось создавать всё с нуля: нормативно-правовую, учебно-методическую и лабораторную базы, осуществлять подбор преподавателей.

По личной инициативе А. Раджабова в Ташкентском государственном аграрном университете с 2005/2006 учебного года начата подготовка кадров по направлению бакалавриата 5630200 - «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», и в последующие годы по специализации магистратуры - 5А630202 – «Эксплуатация электроустановок и технический сервис». В 2012 году была открыта кафедра «Электроэнергетика и электротехнологии в сельском хозяйстве». Разработанные непосредственно А.Раджабовым «Государственные стандарты» (ГОСы), учебные планы и программы дисциплин бакалавриата и магистратуры этого направления сегодня широко используются в учебном процессе.

В 2017 году после выхода постановления Президента Республики Узбекистан о переименовании ТИИМ в ТИИИМСХ, А.Раджабов вместе с коллективом и студентами возвращается в родной институт и продолжает работу в качестве профессора родной кафедры.

В своей деятельности он умело сочетал современные передовые педагогические технологии с духом времени, идеями национальной независимости. Активно участвовал в обеспечении интеграции образования, науки и производства, в изучении потребностей аграрного сектора в кадрах, в подготовке предложений по совершенствованию учебного процесса, открытию новых направлений подготовки кадров. Наряду с обучением студентов по специальным предметам, проводил большую воспитательную работу по формированию у молодежи чувств любви и уважения к Родине, к наследию и ценностям предков и привитию им высокой духовности.

Под научным руководством Абдурахмана Раджабова защищено 6 докторских, 12 кандидатских и множество магистерских диссертаций. Им опубликовано более 300 научных работ, в том числе монографии, учебники и учебные пособия по направлениям электрификации и автоматизации сельского хозяйства, получено более 26 авторских свидетельств и патентов. Он является автором учебников и учебных пособий: таких как «Электротехнология», «Введение в специальность», «Основы энергосбережения» и других, которые широко используются при подготовке кадров по техническому направлению для аграрного сектора республики.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Неоценим вклад Абдурахмана Раджабова в развитие науки и высшего национального образования Узбекистана. Созданные под его руководством и действующие по сей день кафедры в ТашГАУ и ТИИИМСХ, научная школа по применению электротехнологии в сельскохозяйственном производстве – неоспоримые тому доказательства.

Коллеги и ученики всегда будут помнить о созидательном труде и неоценимом научном вкладе А. Раджабова в электрификацию нашей республики.

*Р.А.Захидов - Академик АН РУз.,
Р.К. Чориев – д-р пед.наук, профессор,
З.З. Рузикулов – канд.техн.наук.*

БЕРЕГИТЕ ПРИРОДУ !



Индекс 1070

