



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

**ЭНЕРГИЯ ВА РЕСУРС
ТЕЖАШ МУАММОЛАРИ**

**ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**PROBLEMS OF ENERGY
AND SOURCES SAVING**

№ 2

2023

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Ш.М.Мирзиёев

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

Sh.Mirziyoyev



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ЭНЕРГЕТИКА ВАЗИРЛИГИ
ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА
ИННОВАЦИЯЛАР 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

2023 й.

№2

ТОШКЕНТ - 2023

ТАҲРИР КЕНГАШИ АЪЗОЛАРИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

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

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ АЪЗОЛАРИ:

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

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

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

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

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

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

НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ

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

ЭКОЛОГИЯ ВА СУВ ЭНЕРГЕТИКАСИ МУАММОЛАРИ

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

Техник муҳаррир: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

МУНДАРИЖА

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИ

К.Р. Аллаев. Симбиоз келажак энергетикаси - бу қайта тикланувчи ва атом энергия ресурсларини бирга ишлатилиши.	15
О.В. Радионова, Р.А. Ситдиков. Тақсимланган генерацияли энергетика тизимлардаги релели химоясининг хусусиятлари.	28
И.У. Рахмонов, Б.Б. Холихматов. Электр қурилмаларини ишлатиш ишончилигининг асосий параметрларини тадқиқ қилиш.	37
А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев. Электр таъминоти тизимида комплекс трансформатор подстанция трансформаторларнинг сони ва қувватини аниқлаш усулини тадқиқ қилиш.	43
О.З. Тоиров, С.С. Халиков. Машинали сўғориш насос станцияларидаги қурилмаларининг ишончилиқ кўрсаткичларини экспериментал аниқлаш.	54
А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев. Электрофизик таъсирлар билан узум қаламчасини электр авжлантиришни назарий тадқиқ қилиш.	60
Т.Ф. Махмудов. Электр энергетика тизимларида тебранишларни демпферлаш учун TCSC ростлагичларини қўллаш.	72

ИССИҚЛИК ВА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИ

Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, Ю.У. Абдуллабеков. Козон агрегатларида конденсацияланувчи иссиқлик алмашинувчининг иссиқлик алмашинуви юзасининг оптимал параметрларини ҳисоблаш.	81
Л.М. Эшқуватов, Р.П. Бабаходжаев, Н.Т. Ташбаев. Такимллаштирилган қовурға сиртли вертикал қувурда буг конденсацияланиш жараёнининг физик ва математик модели.	88
Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, С.К. Ярашов. ИЭС лар айланма совитиш тизимини математик моделини ишлаб чиқиш.	95

ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ВА ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ

Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров, Ш.С.Самиев. Очиқ конларда 6-10 кВ тармок резисторли ёки комбинацияланган нейтрал ерга улаш техникасини ишлаб чиқиш.	108
Ш.Б. Умаров. Вентилли ўзгартиргичларни ривожланиш босқичлари таҳлили ва қўлланилиш истиқболлари.	120
А.Д. Таслимов, А.А. Юлдашев, М.О. Узбеков. Қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари электр таъминоти тизими параметрларининг рационал параметрларини аниқлаш.	127
М.К. Бобожанов, С.Д. Тўраев. Сув таъминоти тизими учун моторнинг қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини тадқиқ қилиш.	135
И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов. Частота ўзгартиргич – асинхрон двигател – насос – босимли қувур тизими иш режимларини оптималлаштириш.	141
П.М. Матякубова, Б.А. Назарбаева, Ф.Ж. Назарбаева. Энергияни бошқариш тизимини жорий қилиш – инновацион ечим.	149

МУҚОБИЛ ВА ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧИ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ

О.Х. Полвонов, Р.А. Ситдиков. Қуёш ҳаракатини кузатиш асосида қуёш панелларини самарали ишлашини назорат қилиш.	155
Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров. Энергия тежамкор гелиовибрацион қуришти қурилмасида хурмо мевасини қуришти жараёнларини моделлаштириш ва оптималлаштириш.	160

Н.Н. Махмудов, К.М. Сулитанофу, Л.Н. Насимхонов. Қудуқларни таъмирлашларида вагон-уйларни электр таъминотида автоном гибрид электр станцияларини қўллаш.	169
М.С. Пайзуллаханов, Ж.З. Шерматов, С.К. Шоқучкаров, О.Т. Ражаматов, Ф.Н. Эрнараров, Н.Х. Каршиева, С.Зохидов, А.Ф. Сағдуллаев. Кобальтит бария-стронция $Sr_{0.5}Ba_{0.5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$, - материал для водородной энергетики.	178
Д.Н. Мухторов, Р.Х. Рахимов. Қуёш-ҳаво коллекторли қуритиш қурилмаларида қиёсий самарадорликни аниқлаш.	188
М.Н. Турсунов, Х.Сабилов, Р.Б. Аликулов. Ўта қурук ҳудудларида фотоэлектрик батареялардан самарали фойдаланиш.	199
НЕФТЬ ВА ГАЗ. ЁҚИЛҒИ РЕСУРСЛАРИ	
Б.А. Абсадиков, Ш.К. Агзамов. Ҳаво билан совутиш аппаратида совутилганда амин эритмаси-нинг иссиқлик ўтказувчанлигини ўрганиш.	207
Ш.К. Орипова, Б.З. Адизов, Б.Ш. Акрамов. Алан газоконденсат конининг маҳсулдор қатламлари катталиклари таҳлили натижалари.	212
ИЛМИЙ ХАБАРЛАР	
И.У. Раҳмонов, Б.Б. Холихматов. Ҳарорат майдони носимметриясининг пўлат эритиш жараёнга таъсири.	222

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
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

2023 г.

№ 2

ТАШКЕНТ - 2023

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

д.т.н., проф. Гайибов Т.Ш. д.т.н., проф. Назарычев А.Н. (Россия)
д.т.н., проф. Таслимов А.Д. д.т.н., проф. Мисриханов М.Ш. (Россия)
д.т.н., проф. Бобожанов М.К. д.т.н., проф. Колцун М. (Словакия)
д.т.н., проф. Ибадуллаев М.И. проф. Christian Kreischer (Германия)

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

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

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

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

Технический редактор: доц. Ниёзов Н.Н.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

К.Р. Аллаев. Симбиоз возобновляемых и атомных энергетических ресурсов – будущее мировой энергетики.	15
О.В. Радионова, Р.А. Ситдиков. Особенности релейных защит энергетических систем с распределённой генерацией.	28
И.У. Рахмонов, Б.Б. Холихматов. Исследование основных параметров надёжности работы электротехнических устройств.	37
А.Д. Таслимов, М.В. Меликузиев. Исследование метода определения количества и мощности трансформаторов на комплексной трансформаторной подстанции в системе электроснабжения.	43
О.З. Тоиров, С.С. Халиков. Экспериментальное определение показателей надёжности агрегатов насосной станции машинного орошения.	54
А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев. Теоретическое исследование электрического стимулирования стеблей винограда электрофизическими воздействиями.	60
Т.Ф. Махмудов. Применение регуляторов TCSC для демпфирования колебаний в электроэнергетических системах.	72

ТЕПЛО - И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов. Ю.У. Абдуллабеков. Расчет оптимальных параметров поверхности теплообмена конденсационного теплообменника в котлоагрегатах.	81
Л.М. Эшқуватов, Р.П. Бабаходжаев, Н.Т. Ташбаев. Физико-математическая модель процесса конденсации пара в вертикальной трубке с усовершенствованной поверхностью ребер.	88
Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов С.К. Ярашов. Разработка математической модели системы обратного охлаждения ТЭС.	95

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров, Ш.С.Самиев. Разработка методики резистивного или комбинированного заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ на открытых горных разработках.	108
Ш.Б. Умаров. Обзор этапов развития и перспективы использования вентильных преобразователей.	120
А.Д. Таслимов, А.А. Юлдашев, М.О. Узбеков. Определение рациональных параметров системы электроснабжения сельско-хозяйственных потребителей.	127
М.К. Бобожанов, С.Д. Тураев. Исследование схемы полюсопереключаемой обмотки двигателя для системы водоснабжения.	135
И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов. Оптимизация режимов работы системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель - насос - напорный трубопровод.	141
П.М. Матякубова, Б.А. Назарбаева, Ф.Ж. Назарбаева. Внедрение системы энергоменеджмента – это инновационное решение.	149

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

О.Х. Полвонов, Р.А. Ситдиков. Контроль эффективности солнечных панелей путём отслеживания движения солнца.	155
Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров. Моделирование и оптимизация процессов сушки плодов хурмы в энергоэффективной гелиовибрационной сушильной установке.	160

Н.Н. Махмудов, К.М. Сулитанофу, Л.Н. Насимхонов. Применение автономных гибридных энергоустановок для электроснабжения вагонов-домов при ремонтах скважин.	169
М.С. Пайзуллаханов, Ж.З. Шерматов, С.К. Шокучкаров, О.Т. Ражаматов, Ф.Н. Эрназаров, Н.Х. Каршиева, С.Зохидов, А.Ф. Сагдуллаев. Кобальтит бария-стронция $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$, - материал для водородной энергетики.	178
Д.Н. Мухторов, Р.Х. Рахимов. Определение сравнительной эффективности солнечных сушилок с солнечно-воздушными коллекторами.	188
М.Н. Турсунов, Х.Сабилов, Р.Б. Аликулов. Эффективное использование фотоэлектрических батарей в засушливых регионах.	199
НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ	
Б.А. Абсадиков, Ш.К. Агзамов. Исследование теплоотдачи аминового раствора в аппарате воздушного охлаждения.	207
Ш.К. Орипова, Б.З. Адизов, Б.Ш. Акрамов. Анализ результатов параметров продуктивных горизонтов газоконденсатного месторождения Алан.	212
НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ	
И.У. Рахмонов, Б.Б. Холихматов. Влияние асимметрии температурного поля на процесс плавки стали.	222

**MINISTRY OF ENERGY OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION, SCIENCE AND INNOVATION OF
THE REPUBLIC 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

2023 y. _____ №2

TASHKENT - 2023

EDITORIAL COUNCIL

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

EDITORIAL TEAM

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL COLLEGE:

ELECTRIC POWER

DSc, prof. Gayibov T.Sh. DSc, prof. Nazarychev A.N. (Russia)
DSc, prof. Taslimov A.D. DSc, prof. Misrikhanov M.Sh. (Russia)
DSc, prof. Bobozhanov M.K. DSc, prof. M. Kolcun (Slovakia)
DSc, prof. Ibadullaev M.I. prof. Christian Kreischer (Germany)

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

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

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

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

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

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

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

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

ECOLOGY AND WATER-ENERGY PROBLEMS

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

Technical Editor: docent. Niyozov N.N.

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

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

CONTENTS

ELECTRIC POWER

K.R. Allaev. Symbiosis of renewable and nuclear energy resources - the future of the world energy.	15
O.V. Radionova, R.A. Sitdikov. Features of relay protection of power systems with distributed generation.	28
I.U. Rakhmonov, B.B. Xolixmatov. Study of the main parameters of the reliability of operation of electrical equipment.	37
A.D. Taslimov, M.V. Melikuziev. Research on the method of determining the number and power of the transformers in the complex transformer substation in the power supply system.	43
O.З. Тоиров, С.С. Халиков. Experimental determination of the reliability indicators of units of a pumping station for machine irrigation.	54
A.S. Berdishev, N.M. Markaev. Theoretical study of electrical stimulation of vine stems by electrophysical influences.	60
T.F. Makhmudov. Application of TCSC regulators for oscillations damping in power systems	72

HEAT AND NUCLEAR ENERGY

H.S. Isakhodzhaev, Z.Y. Khasanov, Y.U. Abdullabekov. Calculation of the optimal parameters of the heat exchange surface of the condensing heat exchanger in boiler units.	81
L.M. Eshkuvatov, R.P. Babakhodjaev, N.T. Tashbayev. Physico-mathematical model of the steam condensation process in a vertical tube with an improved fin surface.	88
Kh.S. Isakhodzhaev, Z.Y. Khasanov, S.K. Yarashov. Development of a mathematical model of the TPP circulating cooling system	95

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

F.A. Khoshimov, K.Sh. Kadirov, Sh.S. Samiyev. Development of a technique for resistive or combined neutral grounding in 6-10 kV networks in open-cast mining.	108
Sh.B. Umarov. Overview of the stages of development and prospects for the use of valve converters.	120
A.D. Taslimov, A.A. Yuldashev, M.O. Uzbekov. Determination of rational parameters of the power supply system for agricultural consumers.	127
M.K. Bobojanov, S.D. Torayev. Exploration of the scheme of the variable number of motor poles for the water supply system.	135
I.A. Abdullabekov, M.M. Mirsaidov. Optimization of operation modes of frequency converter - asynchronous motor - pump - pressure pipe system.	141
P.M. Matyakubova, B.A. Nazarbaeva, F.J. Nazarbaeva. Implementation of an energy management system is an innovative solution.	149

ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

O.X. Polvonov, R.A. Sitdikov. Control the effective operation of solar panels based on solar motion tracking.	155
G.T. Dadaev, Sh.A. Sultanova, J.E. Safarov. Modeling and optimization of persimmon fruit drying processes in an energy-efficient solar vibration drying plant.	160
N.N. Makhmudov, K.M. Sulitanofu, L.N. Nasimkhanov. The Use of Autonomous Hybrid Power Systems for The Power Supply of Residential Wagons in Well Workover.	169
M.S. Payzullakhanov, Zh.Z. Shermatov, S.K. Shoguchkarov, O.T. Raxmatov, F.N. Ernazarov, N.X. Karshiyeva, S.Zohidov, A.F. Sagdullaev. Barium-strontium cobaltite $Sr_{0.5}Ba_{0.5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$, is the material for hydrogen energy.	178
D.N. Mukhtorov, R.Kh. Rakhimov. Determination of comparative efficiency in solar dryers with solar-air collectors.	188

M.N. Tursunov, Kh.Sabirov, R.B. Alikulov. Efficient use of photoelectric batteries in extremely dry areas.	199
---	-----

OIL AND GAS. FUEL RESOURCES

B.A. Absadikov, Sh.K. Agzamov. Study of the heat transfer of an amine solution during its cooling in an air cooling apparatus.	207
Sh.K. Oripova, B.Z. Adizov, B.Sh. Akramov. Analysis of the results parameters of production horizons of gas condensate field Alan.	212

SCIENTIFIC REPORTS

I.U. Rakhmonov, B.B. Kholikhmatov. Influence of temperature field asymmetry on the steel melting process.	222
--	-----

УДК 620.9

**SYMBIOSIS OF RENEWABLE AND NUCLEAR ENERGY RESOURCES - THE
FUTURE OF THE WORLD ENERGY**

K.R. Allaev

Мақолада 2030-2050 йилларгача жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасида бўладиган ўзгаришлар тўғрисида фикр юритилган. Белгиланган даврда жаҳон миқёсида индустриал жамиятдан юқори технологияларга эга бўлган билим жамиятига ўтилиши кўрсатилган. Шуни айтиши лозимки, индустриал жамият энергияни кўп истемол қилувчи бўлса, билимга асосланган жамият чуқур ва самарадорли технологияларга асосланиб, иқтисодий-ижтимоий, маънавий ривожланади ва энергияни оптимал истеъмол қилиши базасида ривожланади. Шу билан бирга жаҳон бўйича, энергия истеъмоли йилдан йилга ошиб боради, чунки аҳоли сонининг ошиб бориши ва яшаиш фаровонлиги ривожланишида давом этади. Албатта, энергия истеъмолининг ошиб бориши янги, самарадор технологияларга асосланиши зарур ва бу ўсиши экологик талабларга жавоб бериши, анъанавий ёқилгиларни ёқмасдан, кам углеродли ёқилги манбаларидан фойланилган холдагина амалга оширилиши зарурлиги кўрсатилган. Булар қаторига қайта тикланувчи энергия ва атом энергиялари киради. Чунки улар кам углеродли ҳимобланади. Бугунги этизимдаги янги даврга ўтиши жарёнида энергия самарадорлиги ва энергия сарфини камайтириши технологияларидан тўлиқ фойдаланиши зарур. Натижада, экологик вазият яхшиланади, Париж Келишув талабларининг бажарилиши таъминланади. Жаҳон энергетикаси шиддат билан ўзгармоқда. Анъанавий энергетика, яъни бир-қанча катта қувватли станцияларга, юқори кучланишли ҳаво электр узатиши линияларига эга бўлган, марказлашган тақсимловчи энерготизимлар ўз ахамиятини борган сари йўқотмоқда ва уларнинг ўрнини тарқатилган, ихчам энергия манбалари эгалламоқда. Ваҳоланки бу ахвол, яъни экологик маънога эга бўлган энерготизим – ҳудуд бўйича кўплаб тарқалган қайта тикланувчи энергия манбалари ва атом электр станциялари асосида ташиқ қилинган энергетик тизим, бутунлай янги қонун-қоидалар ва принциплар асосида бошқаралиши шарт. Мақолада жаҳон ва Ўзбекистон энергетикасининг қайта тикланувчи ва атом энергия ресурслари асосида ривожланиши истиқболлари, инвестиция масалалари ва бу энергия манбалари иштирокида яратиладиган энергетик тизим сарфлари кўрсатилган. Жаҳон ва Ўзбекистоннинг қайта тикланувчи ва атом энергияси асосида узоқ муддатли истиқболли ривожланиши асосида, XXI асрнинг ўрталари ва кейинчалик углерод-нейтрал энергетика асослари ташиқ қилиниши мумкинлиги кўрсатилган.

Калит сўзлар: энергетика тизими, анъанавий энергетика, электр энергияси, қайта тикланувчи ва атом энергия ресурслари.

В статье приведены данные по трансформации энергетики мира и Узбекистана до 2030-2050 годов. Показано, что мир в XXI веке переживает период

перехода от индустриального общества, с характерными для него большими затратами энергии, к обществу знаний с высокоразвитыми технологиями, глубокой экономической, социальной и духовной перестройкой жизни, обеспечивающей сбалансированное и устойчивое развитие. При этом энергопотребление в мире будет неуклонно расти в связи с ростом населения и улучшением социальных условий. Отмечено, что значительный рост мирового потребления энергоресурсов должен обеспечиваться применением принципиально новых высокоэффективных технологий, основанных на экологических критериях, а также использованием технологий, не связанных со сжиганием органического топлива; максимальным использованием возобновляемых, и атомных источников энергии, при резком повышении эффективности энергопотребления за счет энергосбережения, и выполнении задач Парижского Соглашения по климату. Показано, что мировая энергетика преобразуется, трансформируется весьма динамично. Уходит в прошлое классическая энергосистема, объединяющая несколько крупных электростанций и централизованную систему передающих и распределительных сетей. При этом переход к новой системе экологичного энергоснабжения: с использованием большого количества возобновляемых источников в комбинации с атомными электростанциями, необходимыми для обеспечения стабильного электроснабжения, требует совершенно иного подхода. Рассмотрены перспективы развития возобновляемых и атомных источников энергоресурсов в мире и Узбекистане, вопросы инвестиций и системных затрат при их различной доле участия в выработке электроэнергии. Показано, что в долгосрочной перспективе, на основе симбиоза возобновляемо-атомной энергетике к середине XXI века и далее, в мировой экономике и экономике Узбекистана могут быть сформированы условия для углерод-но-нейтральной энергетике.

Ключевые слова: энергосистема, традиционная энергетика, электроэнергия, возобновляемые и ядерные энергоресурсы.

The article provides data on the transformation of the energy sector in the world and Uzbekistan until 2030-2050. It is shown that the world in the 21st century is going through a period of transition from an industrial society, with its characteristic high energy consumption, to a knowledge society with highly developed technologies, deep economic, social and spiritual restructuring of society's life, ensuring its balanced and sustainable development. At the same time, energy consumption in the world will grow steadily, due to population growth and improvement of social conditions. It is noted that a significant increase in world energy consumption should be ensured by the use of fundamentally new highly efficient technologies based on environmental criteria, as well as technologies that are not associated with the combustion of fossil fuels, the maximum use of renewable, nuclear energy sources and be accompanied by a sharp increase in energy efficiency due to energy conservation, with fulfilling the objectives of the Paris Agreement on Climate. It is shown that the world energy is transforming, transforming very dynamically. The classic power system, uniting several large power plants and a centralized system of transmission and distribution networks, is becoming a thing of the past. At the same time, the transition

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

to a new system of environmentally friendly energy supply using a large number of renewable sources in combination with nuclear power plants necessary to en-sure a stable electricity supply requires a completely different approach. The prospects for the development of renewable and nuclear sources of energy resources in the world and in Uzbekistan, the issues of investments and system costs with their different share in the generation of electricity are considered. It is shown that in the long term, based on the symbiosis of renewable nuclear energy, by the middle of the 21st century and beyond, conditions for carbon-neutral energy can be formed in the world energy and energy sector of Uzbekistan.

Key words: *energy system, traditional energy, electricity, renewable and nuclear energy resources.*

. The world in the 21 st century is going through a period of transition from an industrial society, with its characteristic high energy costs, to a knowledge society with highly developed technologies, deep economic, social and spiritual restructuring of society's life, ensuring its balanced and sustainable development. At the same time, energy consumption in the world will grow steadily due to population growth and improvement of social conditions. The consumption of energy resources in the world, in comparison with 2000, by 2030 will increase 1.5 times, by 2050 more than 2 times, and the consumption of electricity in the same periods - 2 times and more than 3 times, respectively [1].

The world energy sector is transforming, transforming very dynamically. The classic power system, uniting several large power plants and a centralized system of transmission and distribution networks, is becoming a thing of the past. At the same time, the transition to a new system of environmentally friendly energy supply using a large number of renewable sources in combination with energy storage and large power plants, which are still needed to ensure a stable power supply, requires a completely different approach [1].

The key characteristics of the transformation (transition) of the world energy are globalization, intellectualization, digitalization, decentralization, decarbonization, while increasing the efficiency of production, transmission and consumption of energy [1].

Table 1

Shows the global primary energy demand by fuel type

Years Energy carrier	2015		2020		2030		2040	
	billion. t.f.e	%	billion. t.f.e	%	billion. t.f.e	%	billion. t.f.e	%
Oil	4,19	31,5	4,53	31,4	4,80	29,5	4,92	27,8
Coal	3,73	28,1	3,84	26,7	3,98	24,5	3,93	22,2
Gas	2,88	21,7	3,21	22,3	3,84	23,6	4,43	25,0
NPP	0,65	4,9	0,75	5,2	0,94	5,8	1,09	6,2
HPS	0,33	2,5	0,36	2,5	0,42	2,6	0,48	2,7
Biomass	1,31	9,8	1,41	9,8	1,58	9,7	1,72	9,7
Oth.Ren.en	0,19	1,4	0,32	2,2	0,69	4,3	1,12	6,3
World	13,28	100	14,42	100	16,25	100	17,69	100

Such environmental threats as the greenhouse effect and irreversible climate change, depletion of the ozone layer, acid rain (precipitation), reduction of biological diversity, an increase in the content of toxic substances in the environment, require a new strategy for the development of mankind, providing for a coordinated function analysis of the economy, industry and ecosystem. Taking into account the current situation in the world on ensuring sustainable human development, the Sustainable Development Goals (SDGs) have been developed under the leadership of the United Nations [3].

The Sustainable Development Goals (SDGs) are a set of goals for future international cooperation that replaced the Millennium Development Goals (09.25.2015). These goals are planned to be achieved from 2015 to 2030. The final document "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development" contains 17 global goals and 169 related tasks. Goal 7 is formulated as follows: "Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy sources for all" [4-6].

The Paris Agreement was adopted by all 196 parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) at the 21st Conference of the Parties to the UNFCCC, held in Paris on 12 December 2015. In this Agreement, all countries undertake to take measures to ensure that the increase in global temperature by 2050 is less than 2°C, and, given the seriousness of the existing risks, to strive to limit the temperature rise to 1.5°C. As of 01.03.2021, the Paris Climate Agreement has been ratified by 191 parties and 168 parties have submitted their national plans to the UNFCCC Secretariat [6,7].

To implement the decisions of the Paris Agreement, it is necessary to change the fuel balance of the world energy - by 2050 it is necessary to achieve that carbon-free sources occupy at least 50% of it. An increase in the share of nuclear power generation to 25% will ensure not only this ratio, but also provide consumers with reliable power generation [8].

Of the traditional sources of electricity, only nuclear energy and hydropower do not emit greenhouse gases. This advantage of low-carbon electricity production can be very effectively combined and enhanced if there are also variable renewable energy sources (SPP, WPP, etc.) in the energy system and, accordingly, meet the requirements of the Paris Agreement. The global deployment of nuclear energy and CCS technologies (CO₂ capture and storage) is well behind the pace predicted by scenarios of limiting global warming to 2 °C. Both technologies face a number of challenges on the road to wider adoption, including high construction costs, etc.

By 2050, the cost of building an average solar power plant will fall by 71% (compared to the current one), and the cost of building a wind farm - by 58%. At the same time, their construction is already much cheaper today than new coal and gas power plants [9].

In Europe, by 2050, the share of renewable energy sources in the energy balance will amount to 87%. Germany and Great Britain will be the flagship of these changes: in the first, the share of renewable energy will reach 70% by 2025, in turn, coal and gas generation there will fall to 29%, and nuclear power plants will be completely decommissioned. By 2050, renewable energy will occupy 84% in Germany (of which 74% are solar and wind power plants). In Great Britain, it is planned to close all coal-fired power

plants by 2025, and by 2030 the share of fossil fuels in the energy balance will be reduced to 12% [9].

It should be noted that the main problem with solar and wind energy is instability. Therefore, the literature uses the term variable renewable energy (VRE). Storing energy greatly increases its cost. At the same time, the generation of energy from a thermal or nuclear power plant is constant and easily regulated [10]. Therefore, when choosing energy sources for the long term, it is necessary to resolve the issue of diversifying the energy balance. Apparently, a uniform, diversified composition of energy carriers, about 20% each (oil, gas, coal, renewable energy sources, atom), is optimal. This combination of energy carriers is recommended, for example, by the World Energy Council, this was also noted in [11].

In fig. 1 shows the forecast for the growth of installed RES capacity in the world.

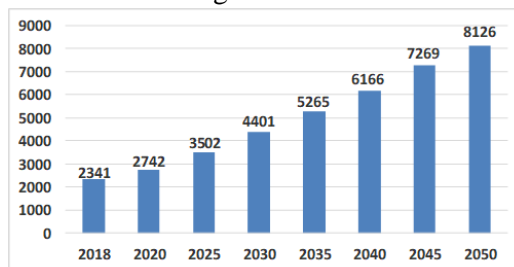


Fig. 1. Forecast of the growth of installed RES capacity in the world [12]

The global average estimated cost of electricity production over the entire life cycle of a source (LCOE) for different countries and types of renewable energy can vary greatly. But the tendency to change is showing. In 2018, the global weighted average LCOE for hydropower was \$ 47 / MWh, wind power - \$ 56 / MWh, bioelectricity - \$62 / MWh. For conventional plants, the value of the global weighted average LCOE is in the range (49-174) USD / MW·h [13]. The process of decreasing LCOE continues.

In fig. 2 shows the dynamics of the forecast for the reduction of wind and solar energy costs.

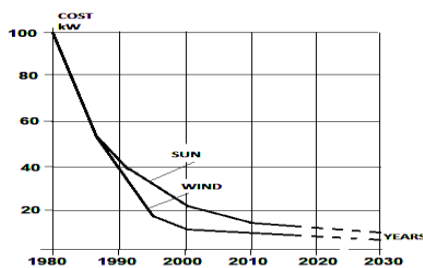


Fig. 2. The dynamics of cost reduction for wind and solar energy [14]

Renewable energy will continue to grow steadily, and by 2050 it will attract about \$ 11.5 trillion in investments worldwide, of which 8.4 trillion will come from solar and wind energy [9].

Figure 3 shows the dynamics of the development of investments in global renewable energy sources.

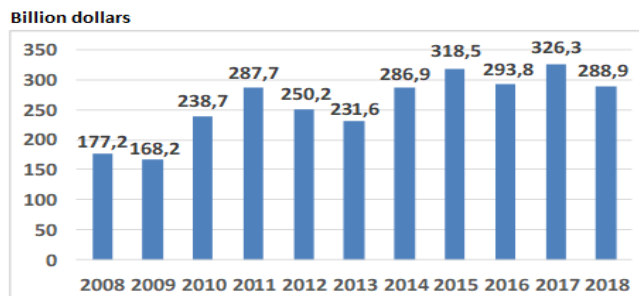


Fig. 3. Dynamics of investments in the development of renewable energy sources in the world [13]

The work [15] investigates the impact of the deployment of variable renewable energy sources on the load factors and profitability of controlled technologies in the short term, as well as on their optimal capacity in the long term.

Obviously, nuclear power is not renewable. However, for example, in China, nuclear power is classified as renewable. This is due to the fact that the NPP has no carbon footprint and the prospects for the development of technologies for its application - reactors III +, IV and higher generations can provide themselves with fuel - reprocessed uranium [19,21].

In 2020, nuclear power provided about 11% of the world's electricity generation. As of 01.01.2021, 453 nuclear reactors with a total capacity of more than 397 GW were operating in 30 countries (after the restoration of shutdown reactors). Of these, most of the installed reactors are located in developed countries of Europe, Asia and North America, with the United States and France having capacities of about 100 GW and 63 GW, respectively [2].

Over the past 40 years, the share of reactors with high installed capacity utilization factors (ICUF) has significantly increased. For example, currently 64% of reactors have achieved an ICUF above 80% compared to 24% in 1976, while only 8% of reactors had an ICUF below 50% in 2016 compared to 22% in 1976 [18].

In fig. 4 shows the forecast of the installed total capacity of nuclear power plants in the world and China.

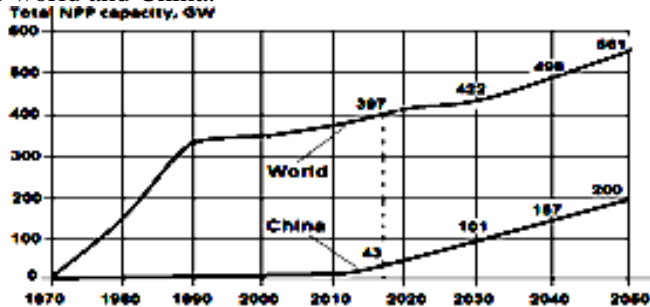


Fig. 4. Forecast of the installed total capacity of nuclear power plants in the world and China [19]

28 countries are interested in creating nuclear power. Fifteen of the 30 countries already operating nuclear power plants are either constructing new power units or actively completing previously shutdown facilities, while 16 countries have plans or proposals for the construction of new reactors [16, 17, 20].

In fig. 5 shows the forecast of the dynamics of electricity generation at nuclear power plants in the world.

The main drivers for the development of nuclear energy in the world are developing countries, primarily China, India, as well as countries with limited reserves of fossil energy resources and programs for replacing coal energy technologies with clean ones [1].

From the data shown in Fig. 6. It can be seen that the generation of electricity by 2050 at the world's nuclear power plants, under the baseline development scenario, will increase from 2.63 (2016) to 3.35 trillion. kWh (2050), i.e. by 27%, and with an optimistic variant of development, up to 4.4 trillion. kWh, that is, by 67% [21].

It is noted [2] that capital costs for new nuclear power plants are higher compared to other technologies for generating electricity, including wind and solar [22].

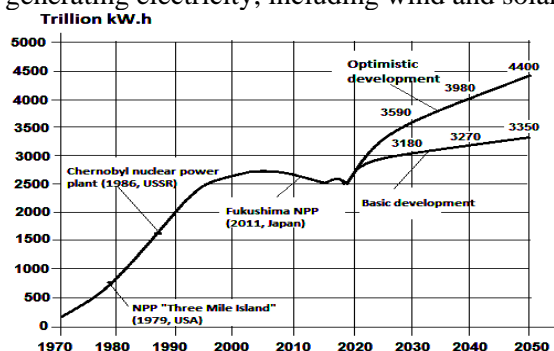


Fig. 5. Forecast of the dynamics of electricity generation at nuclear power plants in the world [21]

However, in this case, fuel costs at nuclear power plants are (3-5) times lower than at other types of power plants. For example, in the United States in 2018, fuel costs for nuclear power plants were \$ 0.0077 / kWh and (21% of variable costs), compared to \$ 0.0294 / kWh for combined cycle plants (75% variable costs) and 0.0371 USD / kW * h for a gas turbine (87%) [23].

The service life of many operating nuclear power units is being extended, as a rule, from 40 to 60 years. Of the existing 453 units, 5% have been in operation for more than 40 years, and by 2040 about 30% of the currently operating nuclear power plants are to be decommissioned [24].

The World Nuclear Association (WNA) has prepared the Harmony program - a concept for the generation of electricity in the future. To implement the Harmonia program, the WNA has set the following target: by 2050, 25% of the world's electricity should be generated at nuclear power plants, for which, taking into account such factors as the

decommissioning of old reactors and an increase in electricity demand, construct 32 new nuclear power plants with an aggregate capacity of approximately 1,000 GW (e). [20]

From an engineering point of view, the Harmony program is quite feasible. At the same time, it is recommended that from 2016 to 2020 it is necessary to commission 10 GW of nuclear generation annually, from 2021 to 2025 - 25 GW per year, from 2025 to 2050 - 31 GW annually. In this case, by 2050, 1,000 GW of new nuclear power will be commissioned. This is the main provisions of the "Harmony" program [23].

Fig. 6. shows the proposed schedule for the commissioning of new nuclear power units in the world to achieve the goals of the "Harmony" program.

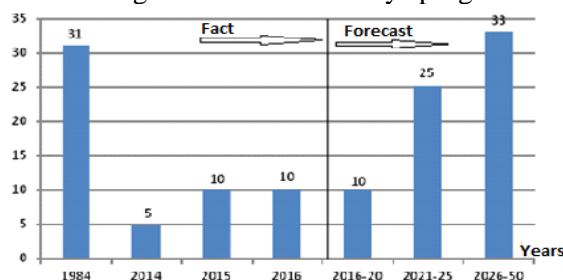


Fig. 6. The pace of commissioning of new nuclear power units in the world required to achieve the goals of the Harmony program [24]

The WNA leadership believes that if the world nuclear industry more than 30 years ago, i.e. in 1984, in one year, it was able to put into operation nuclear power units with a total capacity of 31 GW [25], then the proposed pace of construction is quite achievable even now. The basic condition for the implementation of the program is the security paradigm, a departure from which is unacceptable under any circumstances [24]. For example, the analysis shows that in order to solve this problem on the basis of the most modern reactor VVER-1200, over the remaining 30 years they need to be built 833 [25].

Nuclear energy of the future is a closed nuclear fuel cycle for fast reactors [26,27]. Only a closed nuclear fuel cycle and fast reactors can safely provide the world with energy for centuries [28].

The newest, safest reactors are those belonging to generation III +. There are now four projects of such reactors - the Russian VVER-1200, the French EPR-1600, the American AR-1000 and the Chinese Hualong-1 [25].

In fig. 7 shows the system costs for various technologies, taking into account their share in the production of electricity.

New nuclear power plants can operate at a power level of only 25% of their nominal power, and most old projects cannot operate below 50% of their nominal power.

In the strategy of actions on five priority directions of development of the Republic of Uzbekistan in 2017-2021, approved by the President of the Republic of Uzbekistan Sh.M. Mirziyoyev, reflected specific measures to further deepen and ensure the effectiveness of democratic reforms and economic sectors in the country. One of these areas is energy [1]. Therefore, the issues of energy development are always in the focus of

attention of the republic's leadership, and they are being addressed sequentially [30-35, 42], etc.

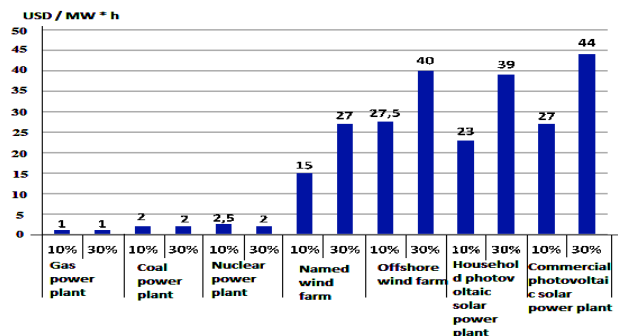


Fig. 7. The total system costs of various power generation technologies [43]

The energy sector of Uzbekistan, including the electric power industry, is one of the developed not only in the CIS, but also in the world.

The main goal of the energy policy and the highest priority for the development of the electric power industry in Uzbekistan for the period up to 2030 and beyond is the sustainable energy supply of economic growth and improving the quality of life of the population based on the most efficient use of the existing production, scientific and technical potential of the industry.

The solution of such tasks is especially important if Uzbekistan sets itself ambitious goals: to achieve an economic breakthrough, and by 2030 become one of the 50 leading countries of the world [36]. Unfortunately, the non-renewable natural resources of Uzbekistan are dwindling. So far, the decline in oil production is largely offset by the production of natural gas, but its reserves are also not endless. According to Uzbekneftegaz JSC, current reserves of natural gas will last for 20-30 years [1].

A number of regime features arise that must be taken into account when introducing renewable energy sources of such volumes into the energy system of Uzbekistan. The regime of thermal power plants is significantly complicated, which can lead to accelerated wear and tear of heating equipment and possible accidents. This is due to the fact that the reception of electricity generated by renewable energy sources is ensured by unloading heat stations by more than 3300 MW, and to cover the load during the evening maximum hours - by an increase of 5000 MW. The equipment of TPPs for such a variable mode of operation is not designed; they must operate with a constant power, i.e. in the base of the load graph. Moreover, if it concerns NPP units [1, 36, 41]. Therefore, it is necessary to take regime measures to align the daily load schedule of the system and ensure uniform loading of TPPs and NPPs, in the presence of renewable energy sources in the energy system.

Uzbekistan faces the most important challenge - the implementation of the policy of accelerated industrial development. And without the development of energy, the transition from the agrarian-industrial to the industrial-innovative way is hardly possible. At the same time, our country has good opportunities for a shorter period of time to go the way that

others have taken over decades. The key point of this strategy for the accelerated growth of energy capacity will be the construction of a nuclear power plant in the country [36].

In Uzbekistan, for the first time in the Central Asian region, by 2030 it is planned to complete the construction of a nuclear power plant with a total capacity of 2,400 MW, with two VVER-1200 units of generation "3+", with a capacity of 1,200 MW each. This fact will provide Uzbekistan with inexpensive electricity and give an impetus to the development of science and education, in such areas as fundamental sciences, traditional and nuclear energy, chemical industry, mechanical engineering, construction and others. VVER-1200 units meet all safety requirements of the International Atomic Energy Agency - IAEA. It should be noted that the research nuclear reactor VVR-SM with a capacity of 10 MW of the Research Institute of Nuclear Physics continues to operate in Uzbekistan, which shows the presence of scientific and human potential for the development and use of atomic energy in the country for peaceful purposes.

Another important reason for the construction of a nuclear power plant in Uzbekistan is the presence of uranium mines in the country [37, 38].

The NPP will make it possible to reorient gas for export or deep processing and increase additional revenues to the country's budget [36]. The commissioning of the first block is scheduled for 2028. As a result of the launch of the station, Uzbekistan will save 3.7 billion m³ of natural gas annually. Even if you export the saved gas without processing it, Uzbekistan will receive 550-600 million dollars a year [39]. Each dollar invested in the construction of a nuclear power plant gives about \$ 6 in return: \$ 2 for local suppliers and about \$ 4 in the country's GDP. This is very beneficial for Uzbekistan, which has its own hydrocarbons and can get much more benefit from the saved natural resources [40].

At the same time, the NPP allows generating electricity at a lower cost compared to other energy sources. So, in hydrocarbon generation the share of the cost of raw materials is more than (60 - 70)%; this means that the price of electricity directly depends on the price of hydrocarbons. In nuclear generation, the share of the cost of uranium accounts for only (4-5)%, thus, fluctuations in prices for raw materials practically do not affect the final cost of electricity, which ensures the predictability of the tariff policy for a long time. And in the future, nuclear energy becomes much more economical in comparison with the traditional one [36].

In fig. 8 shows the expected results of the implementation of the parameters of the Concept of Electricity Supply in the Republic of Uzbekistan [44].

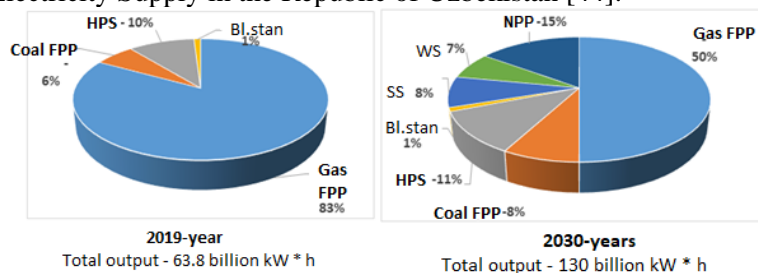


Fig. 8. Electricity generation in the energy system of Uzbekistan [44]

Conclusion. The given data show that by 2030 the energy sector of Uzbekistan is becoming diversified, therefore, the indicator of the state's energy security is increasing.

In conclusion, it can be noted that the future of the energy sector of the world and Uzbekistan is the joint application (symbiosis) of such promising energy sources as solar, wind, nuclear and hydrogen, with the prospect of a transition to thermonuclear energy.

In the long term, based on the symbiosis of renewable nuclear energy, by the middle of the 21st century and beyond, conditions for carbon-neutral energy and the fulfillment of the tasks of the Paris Agreement can be formed in the world and energy sector of Uzbekistan.

REFERENCES

1. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development. / Under the general editorship of Academician Salimov A.U. -T .: Fan va texnologiyalar nashriyot - matbaa uyi, 2021. - 952 p.
2. World Oil Outlook 2040. OPEC, Vienna, Austria, 2018, 412 p. (www.opec.org).
3. Sustainable Development Goals. ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Sustainable Development Goals](https://ru.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Development_Goals)).
4. World Energy Outlook 2018 examines future patterns of global energy system at a time of increasing uncertainties. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/november/world-energy-outlook-2018-examines-future-patterns-of-global-energy-system-at-a-t.html>.
5. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan "On measures to ensure stable provision of the economy and the population with energy resources, financial recovery and improvement of the oil and gas industry management system", No. PP-4388 dated July 9, 2019.
6. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda (Working draft). Sustainable Development Knowledge Platform. United Nations (19 March 2015).
7. Martsinkevich B. Nuclear "Harmony" will help the Paris climate agreement: nuclear power plants will stop global warming. (<http://geoenergetics.ru/2018/10/17/atomnaya-garmoniya-pomozhetparizhskomu-soglasheniyu-po-klimatu/>).
8. Martsinkevich B. Nuclear energy strives for "Harmony". (<https://regnum.ru/news/economy/2507931.html>. 25.10.2018).
9. Bloomberg's 2050 forecast shows renewables will attract \$ 11.5 trillion in investment; (<https://www.windpower.20.08.2018>).
10. Germanovich V., Turilin A. Alternative energy sources and energy saving. Practical designs for the use of wind, sun, water, earth, biomass energy. - SPb: Science and technology. 2014 . - 320 p.
11. Allaev K.R. Energy of the world and Uzbekistan. Analytical review. - T. 2006. - 380 p.

12. Trends in energy development 2018-2050. (<https://www.sites.google.com/a/eeseaec.org/eeseaec/energetika-stranmira/ieo-2019-tendencii-razvitiia>).
13. Renewables 2019 global status report. Paris: REN21. 2019. 336 p.
14. Mark P. Mills. The real fuel of the future: natural gas. US. 2018. 20 p.
15. Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems. Paris. Nuclear Energy Agency. 2012 No. 7056.ECD.255 p.
16. K. Allaev, T. Makhmudov, "Analysis of small oscillations of complex electrical systems", Rudenko International Conference "Methodological problems in reliability study of large energy systems" (RSES 2020), E3S Web of Conferences 216, 01097, pp.1-4.
17. K. Allaev, T. Makhmudov, "Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems", Electrical Engineering, 1, 309-319, (2020).
18. Nuclear Power in the World Today (Updated January 2019). (<http://www.world-nuclear>).
19. Nigmatulin B.I. Nuclear energy in the world. State and forecast until 2050. // Scientific and technical statements of SPbPU. Natural and engineering sciences. 2019. Vol. 25, - No. 4. - P. 6–22.
20. International state and prospects of nuclear energy - 2017. (http://minenergo.gov.by/o_ministerstve/yadernaya_energetika/mezhdunarodnoe-sostojanie-i-perspektivy-jadernoj-jenergetiki-2017).
21. Nigmatulin B.I. Forecast of world electrical production at nuclear power plants for the period up to 2050 (<http://www.proatom.ru/modules.php?Name=News&file=article&sid=7390>).
22. Z. Long. Economics of Nuclear Power as an Energy Source. Physics 241, Stanford University, Winter 2016.
23. Kalvin Wang. Nuclear Power Economic Costs. May 4, 2018. (<http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/wang-k2/>).
24. Bryleva V.A., Voytetskaya E.F., Nareiko L.M. World nuclear energy: results and prospects. Minsk. National Academy of Sciences of Belarus. / Newsletter. Series: nuclear power. 2017. No. 1.
25. K. Allaev, O. Nurmatov, T. Makhmudov, Influence of Automatic Excitation Regulators on Modes of Hydropower Plants, Proceedings of 16th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings" (ER(ZR) 2021), Smart Innovation, Systems and Technologies 232, pp. 383-393.
26. Ulyanin Yu. A., Kharitonov VV, Yurshina D. Yu. Problems of forecasting nuclear power. // Izvestiya vuzov. Energy. 2018. - No. 2. - P. 60–71.
27. Morozova A. Ural Scientists Create Nuclear Power Engineering of the Future. Clean and safe. (https://66.ru/news/hitech/226547/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com. 03.12.2019).
28. The last hope of mankind is the Closed Nuclear Fuel Cycle! (<https://zen.yandex.ru/media/dbk/posledniaia-nadejdachelovechestva-zamknutyi-iadernyi-toplivnyi-cikl-5df166c634808200af962aad>. 13.12.2019).

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

29. Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems. Paris. Nuclear Energy Agency. 2012 No. 7056.ECD.255 p.

30. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated 23.08.2017 No. PP-3238 "On measures for the further implementation of modern energy efficient and energy saving technologies." Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated May 26, 2017 No. PP-3012 "On the program of measures for the further development of renewable energy, energy efficiency in the sectors of the economy and the social sphere for 2017 - 2021".

31. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated 05/18/2017 No. UP 5044 "On the formation of the joint stock company "Uzbekgidroenergo".

32. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated 01.02.2019 No. PP-4142 "On measures to organize the activities of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan".

33. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated 07.02.2019 No. PP-4165 "On approval of the concept for the development of nuclear energy in the Republic of Uzbekistan for the period 2019 - 2029".

34. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated March 27, 2019 No. PP-4249 "On the strategy for further development and reform of the electric power industry of the Republic of Uzbekistan".

35. Isaev T. Profitable or unpromising: why does Uzbekistan need a nuclear power plant. (<https://centrasia.org/disc.php?st=1552627080>. 15.03.2019).

36. Atomic Aydarkul. (<http://www.centrasia.ru/newsA.php?st=1524258780>. 21.04.2018).

37. The head of Uzatom has revealed the secrets of the first nuclear power plant in Uzbekistan (<https://news.mail.ru/economics/36249218/?frommail=1.22.12.2018>).

38. Uzbekistan will start construction of a nuclear power plant no earlier than 2022. (<https://news.mail.ru/economics/36249218/?frommail=1.08.02.2019>).

39. Isaev T. Vigorous optimism. Every dollar invested in a nuclear power plant will bring Uzbekistan \$ 6 in return. (<https://centrasia.org/news.php?st=1555439640>. 16.04.2019).

40. An expert from Uzbekistan on the safety of nuclear power plants for the region. (<https://nuz.uz/intervyu/35771-ekspert-iz-uzbekistana-o-bezopasnosti-aes-dlyaregiona.html> / 22.09.2018).

41. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated 09.04.2021 No. PP-5063 "On measures for the development of renewable and hydrogen energy in the Republic of Uzbekistan".

42. Total cost of electricity generation. Nuclear Energy Agency, No. 7298. OECD. Paris. 2018. 215 p. (www.oecd-nea.org).

*Presented by Tashkent
state technical university*

УДК 621.313

ОСОБЕННОСТИ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ**О.В. Радионова, Р.А. Ситдиқов**

Мақолада жаҳон тажрибаси ҳақида қисқача маълумот берилган ва марказлаштирилган электр энергиясидан тақсимланган генерацияли тизимларига ўтишда релели ҳимоя тизимларининг тузилиши ва ишлаш хусусиятлари таҳлил қилинган. Релели ҳимоялаш тизимларида юзага келадиган асосий муаммолар ва уларни ҳал қилиш йўллари, шу жумладан Ўзбекистон электр энергетикаси шароитлари кўрсатилган.

Калит сўзлар: тақсимланган генерация, релели ҳимояси, қисқа тўташувлар, автоматлаштириш.

В статье приводится краткий обзор мирового опыта и анализ особенностей структуры и эксплуатации систем релейной защиты в условиях перехода от централизованной электроэнергетики к системам с распределённой генерацией. Показаны основные возникающие проблемы для систем релейной защиты и пути их решения, в том числе для условий электроэнергетики Узбекистана.

Ключевые слова: распределённая генерация, релейная защита, короткие замыкания, автоматика.

The article provides a brief overview of world experience and an analysis of the features of the structure and operation of relay protection systems in the context of the transition from a centralized electric power industry to systems with distributed generation. The main emerging problems for relay protection systems and ways to solve them, including for the conditions of the electric power industry in Uzbekistan, are shown.

Key words: distributed generation, relay protection, short circuits, automation.

Введение. Традиционная структура электроэнергетических систем такова, что электроэнергия вырабатывается на центральных генерирующих станциях, передается на повышенном напряжении на большие расстояния, понижается до среднего или низкого уровней напряжения и распределяется между конечными потребителями. Однако, в последние годы широкое распространение в мире получают системы, в которых к распределительным сетям подключаются различные типы небольших по мощности источников генерации электроэнергии, более известных как распределенная генерация (РГ).

Во многих странах, в том числе и в Узбекистане, разработаны и приняты нормативно-правовые документы и программы поддержки использования возобновляемых источников энергии (ветровых – ВЭС, фотоэлектрических – ФЭС, малых ГЭС – МГЭС и др.) [1-10].

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Положительная тенденция к дальнейшему увеличению количества возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме Узбекистана обусловлена рядом объективных предпосылок, образовавшихся в результате развития энергетики [6,7]: возрастающий дефицит сетевых и генерирующих мощностей на фоне высокого износа оборудования; ограниченность инвестиций, выделяемых на реконструкцию действующих объектов энергетики и строительства новых; необходимость обеспечения электроэнергией районов, удалённых от развитой сетевой инфраструктуры и др.

В сложившихся условиях, учитывая зарубежный опыт, наиболее перспективным направлением развития энергосистемы Узбекистана представляется переход к симбиозу централизованной и распределенной энергетики [6-8].

Структура электроэнергетических систем (ЭЭС) с распределенной генерацией. Распределенная генерация – это источники электроэнергии, подключенные напрямую к распределительной сети и/или в непосредственной близости от потребителя. Источники альтернативной энергетики (ВЭС, ФЭС, МГЭС и т.д.), когенерационные установки (миниТЭЦ) являются типичными примерами распределенной генерации в энергосистеме. В зависимости от мощности распределенной генерации в [11] предлагаются следующие категории таких систем:

- микро: 20 Вт - 5 кВт;
- малые: 5 кВт - 5 мВт;
- средние: 5 МВт - 50 мВт;
- крупные: 50 МВт - 300 МВт (подключаются к передающей сети).

Структура традиционных ЭЭС (рис.1) такова, что электроэнергия вырабатывается на крупных электростанциях энергосистемы, где ее уровень напряжения повышается, затем электроэнергия передается на большие расстояния до понизительных подстанций и далее потребителям [12,13].

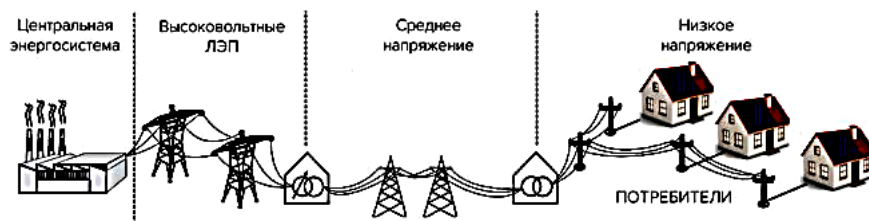


Рис.1. Структура традиционной ЭЭС

В структуре радиальной сети каждая подстанция или потребитель соединены одной кабельной или воздушной линией с центральной точкой электропитания. Рассредоточение генерирующих мощностей энергосистемы связано с внедрением источников распределенной генерации в электрические сети (рис.2). В результате этого энергосистема приобретает новые свойства и характеристики, которые должны быть учтены при проектировании и эксплуатации систем релейной защиты и автоматики.

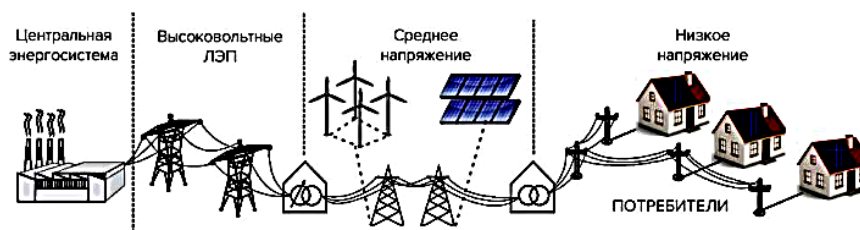


Рис.2. Структура ЭЭС с источниками распределённой генерации [12]

Приоритетное развитие РГ на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) влечет за собой изменение сектора, связанного с производством электроэнергии, описанное в различных источниках [9,14]. Подобные электростанции подключаются, как правило, с помощью преобразователей частоты и инверторов, которые ограничивают токи КЗ.

Интеграция распределенной генерации и централизованной энергосистемы приводит к значительным изменениям в структуре распределительных сетей, требует решения целого ряда научно-практических задач. Изменяются направления потоков мощности в линиях электропередач, возникают режимы качаний из-за многостороннего электропитания, изменяются уровни токов короткого замыкания, нарушается качество электроэнергии и т.д.

В таких условиях возникает проблема развития соответствующих систем релейной защиты, минимизирующих отрицательные последствия интеграции централизованной и распределённой генерации. При этом необходимо отметить, что, несмотря на множество работ в этой области [6-10,14-16 и др.], до сегодняшнего дня проработанность вопросов построения релейной защиты электроэнергетических сетей с распределенной генерацией является недостаточной: как правило, не учитывается влияние изменчивости параметров генерации от ВИЭ на систему релейной защиты ЭЭС.

Здесь необходимо решить ряд задач, связанных с анализом методик построения токовых защит для различных электросетей с РГ, а также моделированием подобных защит, которые позволят оценить влияние распределенной генерации на микропроцессорные защиты и проверить адекватность работы адаптивных алгоритмов их настройки.

В дополнение к вышесказанному, при проектировании таких сетей необходимо разработать соответствующие принципы выбора точек подключения источников распределенной генерации, основанные на выявленных закономерностях изменения соотношения тока центральной энергосистемы и тока распределенной генерации от ее типа; обеспечить адаптивность токовых уставок и времени срабатывания защит в различных изменчивых условиях; производить учёт изменения направлений потоков мощности сети с РГ при изменении мощностей ФЭС и ВЭС.

Особенности релейной защиты объектов распределенной генерации. Рассмотрим объекты распределенной генерации в виде совокупности электрических сетей, потребителей и источников, производящих электроэнергию для собственных

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

нужд и способных выдавать энергию во внешнюю сеть. К объектам распределённой генерации относят: электростанции малой и средней мощности: газотурбинные (ГТЭС), газопоршневые (ГПЭС), дизельные (ДЭС); миниТЭЦ, генерирующие установки на базе ВИЭ, системы аккумулирования электроэнергии. Возможны различные режимы работы РГ: параллельная работа с энергосистемой (с выдачей или без выдачи мощности в сеть); постоянная изолированная работа (автономный режим); комбинированный режим (возможна параллельная и изолированная (островной режим) работа).

Проблемы распределённой генерации:

1. Распределительная сеть с появлением в ней установок распределенной генерации приобретает черты основной сети с различными направлениями перетоков мощности.

2. Требования обеспечения устойчивости объектов РГ.

3. Появление высших гармоник.

4. Увеличение токов КЗ.

Возникающие при распределённой генерации проблемы РЗ:

1. Возможная нечувствительность защит фидеров при питании от источников малой мощности.

2. Неселективное отключение мест КЗ.

3. Необходимость блокирования АВР и АПВ для предотвращения асинхронного режима и качаний.

4. Возможность ошибочной работы существующих устройств основных защит элементов распределительных сетей.

Возможные пути решения проблем:

1. Применение защит с абсолютной селективностью.

2. Подключение к цепям напряжения шин и присоединения объекта распределенной генерации для обеспечения синхронизма включения.

3. Установка устройств, обеспечивающих синхронное включение.

4. Обеспечение направленности защит элементов, по которым возможно изменение направления электроснабжения.

5. Обеспечение защит элементов возможностью изменения уставок в зависимости от режима питания объекта (оптимально - автоматически).

6. Отстройка защит, использующих гармонические составляющие, от гармоник, возникающих от источников малой генерации.

7. Обеспечение работоспособности защит трансформаторов при различных условиях.

8. Контроль снижения напряжения.

9. Использование делительной защиты.

Источники распределенной генерации, подключенные через инвертор к электросети. Источники распределенной генерации, вырабатывающие на выходе постоянный ток, подключаются к инвертору для преобразования в переменный ток и далее к распределительной сети. Как правило, применяемые конструкции инверторов зависят от типа сети, в которой они будут работать. Во время короткого замыкания

инвертор генератора электроэнергии может столкнуться с множеством видов нарушений нормальной работы. Если управление блоками РГ спроектировано на основе преобразователя источника напряжения, то мгновенное снижение напряжения в распределительной сети при КЗ увеличит ток в преобразователе, что приведёт к срабатыванию устройств защиты от сверхтоков преобразователя.

Несимметрия напряжения фаз вызывает как дисбаланс токов, так и гармоники токов в сети, что также может привести к ложным срабатываниям защит [17]. Рассмотренные источники распределенной генерации, при возникновении аварийных режимов, могут не только сами перестать работать, но и приводить к переходным процессам, что сказывается на надёжности и качестве электроэнергии [18].

Особенности работы электросетей в условиях эксплуатации разных типов распределенной генерации. Интеграция источников распределенной генерации, обуславливает изменение режимов работы электросетей и характеристик установившихся режимов. Изменяются направления потоков мощности распределительной сети при переходе на автономный (островной) режим работы. Избыточная электроэнергия от распределенной генерации может передаваться в сеть энергосистемы. По причине несбалансированной нагрузки между участками распределительной сети при КЗ, величина и направление потоков мощности приобретают переменный характер: в некоторых случаях уровни токов КЗ возрастают, в других - уменьшаются по причине наличия или отсутствия дополнительных источников электроэнергии. Появляется многостороннее питание точки повреждения участка электросети. Действующие значения токов КЗ во время аварийного режима могут значительно изменяться из-за непосредственной близости источников генерации электроэнергии, возникают режимы ошибочных включений вследствие срабатывания автоматического повторного включения – АПВ [19,20].

Отключение короткого замыкания на смежных линиях также приводит к подобным режимам, что способствует появлению больших токов и повышенных электромагнитных моментов, влияющих на вращающиеся генераторы и их механическую прочность [20]. Появляется режим автономной работы в случае отделения распределительной сети от центральной энергосистемы (островной режим) [21]. Данный режим может характеризоваться снижением напряжения и/или частоты, если распределенная генерация не покрывает графики потребления.

В распределительных сетях переменного тока блоки источников распределенной генерации, основанные на вращающихся машинах, подключаются к шине переменного тока [22] или через преобразователь частоты. Устройства хранения энергии и солнечные фотоэлектрические станции подключаются к шине переменного тока распределительной сети с помощью инверторов DC/AC. На рис.3 представлены классические способы подключения источников РГ с генераторами постоянного тока (ФЭС и аккумуляторные батареи) и переменного тока (ВЭС, МГЭС).

Источники РГ имеют нелинейные и изменяющиеся характеристики, что влияет на величину вклада в ток короткого замыкания, возникающего в электросети. В работе [23] показано, что в условиях короткого замыкания максимальный вклад

генератора, подключенного через инвертер, превышает номинальное значение тока в 1,5-2 раза, а для генераторов, основанных на вращающихся машинах (МГЭС, ВЭС и др.), ток короткого замыкания достигает пятикратного превышения номинального тока [23].

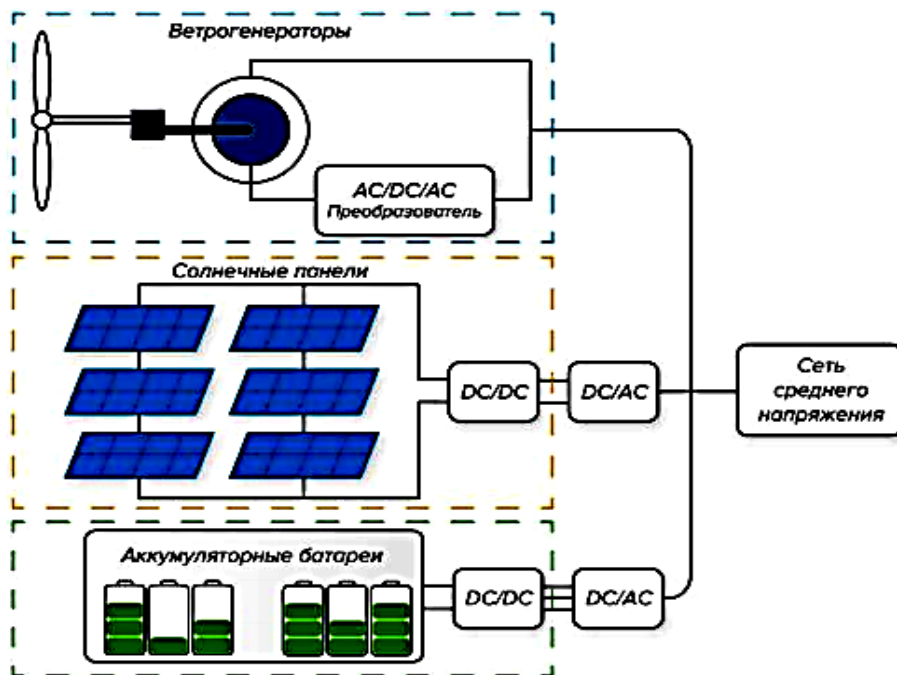


Рис.3. Структура подключения источников РГ [13]

Влияние РГ на применяемые устройства защиты в электросетях. Различие между неисправностями и ненормальными условиями эксплуатации зачастую неясно. Обычно неисправности относятся к категории коротких замыканий, когда токопроводящий проводник контактирует с землей или другим проводником, или образуется разрыв токопроводящего проводника. «Ненормальные» условия эксплуатации охватывают широкий спектр нежелательных состояний энергосистемы. В некоторых «ненормальных» условиях система защиты не должна срабатывать, например, во время запуска электродвигателя, возникает кратковременный пусковой ток, который можно принять за событие, похожее на короткое замыкание. Однако другие «ненормальные» условия действительно требуют вмешательства системы защиты, например, когда часть электросети становится изолированной и при наличии источников распределенной генерации может работать автономно.

Интеграция распределенной генерации в центральную сеть может негативно повлиять на важные функции распределительной и передающей сети, такие как поток мощности, стабильность, потери в сетях, качество электроэнергии и т.д.

Помимо этих вышеупомянутых воздействий, внедрение РГ может поставить под угрозу правильную работу системы защиты от коротких замыканий. Возникают случаи несрабатывания, ложного срабатывания токовой защиты, нарушение координации между РЗ и устройствами повторного включения. Чем больше относительная суммарная мощность РГ в сети, тем сложнее моделирование и анализ процессов коротких замыканий в такой системе.

Заключение. Принимая во внимание расширение внедрения источников РГ, защита распределительных сетей становится важной проблемой. Необходимы дальнейшие исследования по структуре и технологиям построения систем релейной защиты и автоматики распределённых систем электроснабжения [24]. Среди основных четырех взаимосвязанных критериев работы РЗ – чувствительность, селективность, быстродействие и надежность, необходимо выделить критерий селективности, к которому при распределённой генерации предъявляются повышенные требования по обеспечению точности.

В условиях использования микропроцессорных защит необходимо разработать соответствующие алгоритмы обеспечения их селективности в условиях изменения структуры распределительных сетей. Кроме этого, необходимы соответствующие алгоритмы, определяющие эквивалентные сопротивления между двумя любыми точками в распределительной электросети с РГ, которые позволят рассчитывать токи короткого замыкания от нескольких источников электроэнергии, а также позволят разработать алгоритмы адаптивных токовых защит, учитывающих изменчивость токов короткого замыкания от таких источников РГ как ФЭС и ВЭС.

Таким образом, основные направления исследований должны включать следующие аспекты:

1. Разработка методов и алгоритмов обеспечения точности определения мест КЗ и селективности срабатывания соответствующих защит.
2. Повышение гибкости и степени координации функционирования систем релейной защиты и автоматики.
3. Дальнейшая цифровизация и интеллектуализация систем РЗА.

Необходима подготовка и переподготовка соответствующих специалистов по релейной защите и автоматике по проектированию и эксплуатации таких систем в условиях распределённой генерации.

Литература

1. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии». 21 мая 2019 г. № ЗРУ-539.
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. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 22 июля 2019 года № 610 «Об утверждении Регламента подключения к единой

электроэнергетической системе субъектов предпринимательства, производящих электрическую энергию, в том числе из возобновляемых источников энергии».

4. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. - Т., 2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.

5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы». Ташкент, 26.05.2017 г. № 3012.

6. Ситдиқов Р.А. и др. Альтернативная энергетика Узбекистана. -Ташкент:Fan va texnologiya, 2016. – 223 с.

7. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития. -Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi. 2021. -952 с.

8. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Авезов Р.Р., Потаенко К.Л. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. /Учебник для вузов. – Т.: Фан ва технология, 2010. – 190 с.

9. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: Монография. / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова., Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231с.

10. Ўзбекистонда қайта тикланган энергетикани ривожлантириш истиқболлари. Тошкент: UNDP. 2007, 92 бет.

11. Ackermann, T. Interaction between distributed generation and the distribution network: operation aspects / T. Ackermann, V. Knyazkin // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition. – Yokohama: IEEE, 2002. – Vol. 2 – Pp. 1357–1362. DOI:10.1109/TDC.2002.1177677.

12. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд. – М.: ЭНАС, 2012. – 392 с.

13. Смирнов А.И. Система адаптивной токовой защиты в электротехнических комплексах с распределенными электростанциями малой мощности /дисс. к.т.н. – Санкт-Петербург, 2020. – 163 с.

14. Coster, E.J. Distribution grid operation including distributed generation / E.J. Coster // Eindhoven University of Technology, Netherlands. – 2010.

15. Новосёлова О. Малая генерация – путь к «интеллектуальным» энергосистемам / О. Новосёлова. – 2011, № 5. – С. 20–21.

16. Перминов Э.М. Возобновляемая энергетика неисчерпаема и необходима / Э.М. Перминов // Энергия единой сети, 2010, № №3. – С. 56–63.

17. Laaksonen, H. Technical solutions for low-voltage microgrid concept / H. Laaksonen. – 2011. – Т. 41 – С. 140.

18. Смирнов, А.И. Мониторинг оценки показателей качества электрической энергии [Электронный ресурс] / А.И. Смирнов, Я.Э. Шклярский // Современная наука и практика. – 2016. – № 8 (13). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27173752> (дата обращения: 10.10.2020).

19. Беркович М.А. Автоматика энергосистем: Учебник / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

20. Хачатуров А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах / А.А. Хачатуров. – М.: Энергия, 1977. – 176 с.
21. Abarategui, O. Comparative Analysis of Islanding Detection Methods in Networks with DG / O. Abarategui, I. Zamora, M.D. Larruskain // CIRED. – 2007.
22. Gilbert, M. Renewable and Efficient Electric Power Systems / M. Gilbert. – 2004. – Т. Pp.75 –76.
23. Barker, P.P. Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems / P.P. Barker, R.W. De Mello // 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134). – IEEE, 2000. – Vol. 3 – P. 1645–1656. DOI:10.1109/PSS.2000.868775.
24. Насиров Т.Х., Радионова О.В. Моделирование сложно-несимметричных режимов для целей релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем. //Энергоэксперт. – Санкт-Петербург, 2012, № 1. – С. 4-6.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.3.019.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

И.У. Рахмонов, Б.Б. Холихматов

Ушбу мақолада электр қурилмаларнинг ишончлилигининг асосий параметрлари муҳокама қилинади. Ишончлилигининг асосий параметрларини ўрганиши бо'йича бир қатор чора-тадбирлар кўриб чиқилади ва бу тадбирларда ишончлиликка таъсир қилувчи асосий омиллар аниқланади. Атроф-муҳитнинг ушбу қурилмаларга таъсири кўриб чиқилган.

Калит сўзлар: ишончлилик, носозлик, хавфни баҳолаш, электр қурилмалар, технологик хавф.

В данной статье рассмотрены основные параметры надежности электротехнических устройств. Рассмотрен ряд мер по исследованию основных параметров надежности, и в этих мерах выделены основные факторы, влияющие на надежность. Показано влияние окружающей среды на эти устройства.

Ключевые слова: надежность, отказ, оценка рисков, электрооборудование, технологический риск.

This article discusses the main parameters of the reliability of electrical devices. A number of measures to study the main parameters of reliability are considered, and in these measures the main factors affecting reliability are identified. This article shows the impact of the environment on these devices.

Keywords: reliability, failure, risk assessment, electrical equipment, technological risk.

Надежность электрооборудования играет важную роль в обеспечении безопасности и нормальной работы различных систем. Она определяется как способность электрооборудования сохранять свои функциональные характеристики в течение заданного времени при заданных условиях эксплуатации. Надежность электрооборудования определяется способностью обеспечивать стабильную работу при заданных условиях эксплуатации в течение определенного периода времени.

Для исследования основных параметров надежности работы электрооборудования необходимо провести ряд технических мероприятий [2,4].

1. Определение критических компонентов электрооборудования.

Для определения критических компонентов электрооборудования необходимо провести анализ функций и задач, которые выполняет данное оборудование, и выделить компоненты, работа которых критически важна для нормальной работы всей системы. Это могут быть, например, элементы управления, источники питания, электродвигатели и т.д.

Далее необходимо оценить важность каждого из этих компонентов для нормальной работы системы. Эта оценка может основываться на таких факторах, как частота использования компонента, уровень его надежности, стоимость замены и т.д.

Важно также учитывать возможные риски, связанные с отказом критически важных компонентов. Например, если отказ источника питания может привести к остановке всей системы, то необходимо предусмотреть запасной источник питания или систему аварийного питания.

В результате определения критических компонентов и разработки мероприятий по их обеспечению надежности можно повысить уровень надежности работы электрооборудования и снизить вероятность отказов.

2. Оценка эксплуатационных условий, в которых будет работать электрооборудование. Это может включать в себя изучение температурных, влажностных и других климатических условий, а также возможных электрических помех.

Оценка эксплуатационных условий, в которых будет работать электрооборудование, является важным этапом проектирования и планирования работы оборудования.

Оценка эксплуатационных условий может включать следующие параметры:

- Температурный режим [1,5]. Температурный режим определяет допустимый диапазон температур, в котором может работать оборудование. Это может быть, как температура окружающей среды, так и температура, создаваемая самим оборудованием (табл. 1).

Таблица 1

Влияние на работу электродвигателей

Температура окружающей среды	Влияние на работу электродвигателей
Ниже -20°C	Уменьшение мощности и КПД
От -20°C до 0°C	Увеличение времени запуска и уменьшение КПД
От 0°C до 40°C	Нормальная работа
От 40°C до 60°C	Увеличение тока и уменьшение КПД
Выше 60°C	Риск повреждения и выход из строя

Температура также может повлиять на выход из строя электрических устройств (табл. 2).

Таблица 2

Влияние температуры окружающей среды на выход из строя электрического устройства

Температура, °C	Вероятность отказа, %
0	2
10	3
20	5
30	10
40	20
50	40

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

60	60
70	80
80	90
90	95

• Влажность. Влажность определяет допустимый уровень влажности, при котором может работать оборудование. Высокий уровень влажности может привести к коррозии и короткому замыканию (табл. 3).

Таблица 3

Влияние влажности на электрооборудование

Уровень влажности	Влияние на электрооборудование
< 30% ОВ	Повышенный риск статического электричества и электростатики
30-50% ОВ	Безопасный диапазон для большинства электрооборудования
50-70% ОВ	Возможное возникновение конденсации и коррозии
> 70% ОВ	Повышенный риск коррозии, повреждений изоляции и неисправности оборудования

• Уровень пыли и загрязнений. Уровень пыли и загрязнений может привести к засорению вентиляционных систем, что может повысить температуру и привести к отказу оборудования.

• Уровень вибрации и шума. Уровень вибрации и шума может привести к механическому износу оборудования и повышенному уровню шума, что может негативно сказаться на здоровье людей.

• Электрические условия. Электрические условия определяют допустимые значения напряжения и частоты питающей сети, а также уровень помех и перепадов напряжения.

• Особые условия эксплуатации. Например, если оборудование будет устанавливаться на производстве с химической или взрывоопасной средой, то необходимо учитывать дополнительные условия эксплуатации, связанные с безопасностью и защитой от искрения.

• Оценка эксплуатационных условий помогает определить требования к оборудованию и выбрать соответствующее оборудование для работы в данных условиях. Также необходимо учитывать данные параметры при разработке плана технического обслуживания и ремонта оборудования.

3. Оценка технологических рисков. Это включает оценку вероятности возникновения аварийных ситуаций и оценку возможных последствий [6].

Оценка технологических рисков является важным этапом проектирования и планирования работы электрооборудования. Она включает в себя оценку вероятности возникновения аварийных ситуаций и оценку возможных последствий.

Оценка вероятности возникновения аварийных ситуаций может включать в себя следующие факторы:

- Несоблюдение правил и инструкций по эксплуатации оборудования. Несоблюдение правил и инструкций может привести к повреждению оборудования и аварийным ситуациям.

- Неправильная установка оборудования. Неправильная установка оборудования может привести к его нестабильной работе и аварийным ситуациям.

- Неправильное техническое обслуживание и ремонт оборудования. Неправильное техническое обслуживание и ремонт оборудования может привести к его нестабильной работе и аварийным ситуациям.

- Несоответствие оборудования требованиям безопасности. Несоответствие оборудования требованиям безопасности может привести к аварийным ситуациям.

- Несоответствие оборудования требованиям по надежности. Несоответствие оборудования требованиям по надежности может привести к аварийным ситуациям.

4. Проведение испытаний на надежность. Это может включать в себя различные виды испытаний, такие как термические, механические, электрические и другие.

Проведение испытаний на надежность является необходимым этапом при разработке и производстве электрооборудования. Оно позволяет проверить работу оборудования в различных условиях и выявить возможные проблемы и дефекты.

Различные виды испытаний на надежность могут включать в себя:

- Термические испытания. Термические испытания проводятся для определения стойкости оборудования к высоким и низким температурам, а также для проверки его работоспособности при перепадах температур.

- Механические испытания. Механические испытания проводятся для определения стойкости оборудования к вибрации, ударам и другим механическим воздействиям.

- Электрические испытания. Электрические испытания проводятся для проверки работоспособности и безопасности электрических цепей оборудования. В рамках этих испытаний проверяется стойкость оборудования к перенапряжениям, коротким замыканиям и другим электрическим воздействиям.

- Испытания на воздействие внешней среды. Эти испытания проводятся для определения стойкости оборудования к воздействию различных агрессивных веществ, влаги, пыли и других внешних факторов.

- Испытания на время работы. Эти испытания проводятся для проверки работоспособности оборудования в течение определенного периода времени, что позволяет оценить его надежность в длительной перспективе.

- Испытания на стойкость к вибрации и ударам. Эти испытания проводятся для проверки устойчивости оборудования к вибрации и ударам, которые могут возникнуть в процессе его эксплуатации.

- Проведение испытаний на надежность помогает установить, соответствует ли оборудование требованиям по надежности и безопасности. В случае обнаружения проблем и дефектов, они могут быть устранены еще на стадии испытаний, что позволяет предотвратить возможные аварийные ситуации в будущем.

5. Анализ и оценка полученных данных. Это может включать в себя статистический анализ данных, анализ возможных причин отказов и других факторов, которые могут повлиять на надежность работы электрооборудования.

Основные задачи анализа и оценки данных включают в себя:

- Статистический анализ данных. В рамках статистического анализа данных производится оценка вероятности возникновения отказов и других аварийных ситуаций. Анализ проводится на основе данных, полученных в процессе испытаний на надежность, а также на основе статистических данных об эксплуатации аналогичных оборудований.

- Анализ возможных причин отказов и других факторов. Для оценки надежности работы электрооборудования необходимо установить возможные причины отказов и других аварийных ситуаций. В рамках этого процесса производится анализ всех возможных факторов, которые могут повлиять на надежность оборудования, включая условия эксплуатации, технические характеристики, качество материалов и другие факторы.

- Оценка рисков. Оценка рисков является неотъемлемой частью анализа данных при оценке надежности работы электрооборудования. Для этого производится анализ возможных последствий отказов и других аварийных ситуаций, а также оценка их вероятности. Это позволяет определить наиболее вероятные и опасные сценарии развития событий, что в свою очередь позволяет принять меры по уменьшению рисков.

- Прогнозирование надежности. На основе полученных данных и проведенного анализа производится прогнозирование надежности работы электрооборудования в будущем. Это позволяет определить, будет ли оборудование соответствовать требованиям по надежности и безопасности на протяжении всего срока эксплуатации.

В результате проведения этих мероприятий можно получить полное представление о надежности работы электрооборудования и разработать план мероприятий по обеспечению этой надежности.

Важно помнить, что надежность работы электрооборудования зависит не только от качества самого оборудования, но и от правильной эксплуатации и обслуживания, а также от подготовки персонала. Поэтому необходимо уделять внимание всем аспектам, которые могут повлиять на надежность работы электрооборудования.

Таким образом, исследование основных параметров надежности электротехнических устройств считается важной задачей, и при исследовании этих параметров проводится ряд мероприятий. Принимаемые меры в этом случае требуют индивидуальной проверки электроприбора. Эти меры помогают оценить рабочее состояние устройства и выявить факторы, которые могут вызвать его выход из строя.

Литература

1. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.
2. Анищенко В.А., Колосова И.В. Основы надежности систем электроснабжения. -М.: БИТУ, 2007.
3. Шевченко Д. Н. Основы теории надежности: учеб.-метод. пособие для студ.техн.спец. / Д. Н. Шевченко; под ред. Л. А. Сосновского; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 250 с.
4. Павелко Н. Ю. Обзор технических и организационных мероприятий контроля электрооборудования подстанций //Иновационная наука. – 2015. – №. 5-2. – С. 114-117.
5. Романовский А. И. и др. Влияние низких температур на работу аппаратов защиты электровозов переменного тока //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – №. 2 (58). – С. 133-139.
6. Шендалев А. Н., Шендалева О. А. Модель оценки технологических рисков предприятия //Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2020. – Т. 18. – №. 2. – С. 76-87.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.316.1

**ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА КОМПЛЕКС ТРАНСФОРМАТОР
ПОДСТАНЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ СОНИ ВА ҚУВВАТИНИ
АНИҚЛАШ УСУЛИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

А.Д. Таслимов, М.В. Мелиқўзиев

Мақолада электр таъминоти тизимини лойиҳалаштириши жараёнларини автоматлаштириши учун комплекс трансформатор подстанцияда (КТП) жойлашган трансформаторларнинг сони ва қувватини истеъмолчиларнинг истеъмол реактив юкмасини компенсация қилиши ҳисобига танлаш усули тадқиқ қилинган. Электр таъминоти тизимини лойиҳалаш учун сарфланадиган харажатларнинг минимумига тўғри келадиган чегараланиши шартларини барқарорликка тегишриб, кучланиши 6-10 кВ бўлган тақсимловчи электр тармоқ қурилмалари, трансформатор подстанция, конденсатор батареялар, кучланиши 1000 В гача бўлган электр тармоқлар учун сарфланадиган харажатларни умумлаштириши масаласи кўриб чиқилган. Ишлаб чиқилган математик ифодалар ёрдамида электр таъминоти тизимининг техник-иқтисодий модели қурилади. Техник-иқтисодий модел ёрдамида КТП даги трансформаторнинг сони ва қувватини оптимал қиймати аниқланади.

Калит сўзлар: тақсимловчи тармоқ, комплекс трансформатор подстанция, конденсатор батарея, умумий харажатлар, оптималлаштириши.

В статье рассмотрен метод выбора количества и мощности трансформаторов, размещенных на комплексной трансформаторной подстанции (КТП), с учётом компенсации реактивной нагрузки потребителей для автоматизации процессов проектирования системы электроснабжения. Рассмотрено обобщение затрат на проектирование системы электроснабжения распределительных электросетевых устройств напряжением 6-10 кВ трансформаторной подстанции, конденсаторных батарей для электрических сетей напряжением до 1000 В с проверкой на устойчивость граничных условий, соответствующих минимуму затрат на проектирование системы электроснабжения. С помощью разработанных математических выражений строится технико-экономическая модель системы электроснабжения. На основе которой определяется оптимальное значение количества и мощности трансформаторов в КТП.

Ключевые слова: распределительная сеть, комплексная трансформаторная подстанция, конденсаторная батарея, общие затраты, оптимизация.

The article investigated the method of selecting the number and power of the transformers located in the complex transformer substation (CTS) at the expense of compensating the consumer consumer's consumer reactive load to automate the processes of

designing the power supply system. The issue of summarizing the costs for distribution electrical network devices with a voltage of 6-10 kV, transformer substation, capacitor batteries, electrical networks with a voltage of up to 1000 V has been considered, checking the limiting conditions corresponding to the minimum of costs for the design of the power supply system. With the help of developed mathematical expressions, a feasibility model of the power supply system is built. Using the feasibility model, the optimal value of the number and power of the transformer in CTS is determined.

Key words: *distribution network, complex transformer substation, capacitor battery, overhead, optimization.*

Кириш. Ҳозирги кунда ривожланган кўплаб давлатларнинг саноат корхоналари, шаҳарлар ва қишлоқ хўжалиги электр таъминоти тизимидаги тақсимловчи электр тармоқларида электр энергия истеъмолчиларининг иш режими, электр таъминоти узлуксизлиги бўйича ишончлилик категорияси, тури ва ишлаш принципини ҳисобга олган ҳолда сифатли электр энергия билан таъминлашнинг узлуксизлигига, тақсимловчи электр тармоқларнинг шикастланмасдан узоқ муддат фаолият кўрсатишига алоҳида эътибор берилмоқда. Электр таъминоти тизимида асосий тармоқлардан бири ҳисобланган трансформатор подстанциянинг жойлашуви, таркибидаги трансформаторлар сони ва қувватининг оптимал қийматини танлаш ҳамда уларни нормал иш режимида узоқ вақт ишлаб туришига бўлган талаб ортиб бормоқда. Бунинг учун электр таъминоти тизимининг барча тугунларида комплекс ҳолатни, электр энергия истеъмолчиларининг ҳосил қилган реактив юкламаларини компенсация қилинишини таҳлил қилган ҳолда, 6-10 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоқлар, трансформатор подстанция ва кучланиши 1000 В гача бўлган тақсимловчи электр тармоқлар учун сарфланадиган келтирилган умумий харажатларни минимумга олиб келадиган оптимал параметрларни комплекс ҳолатда ўрганиб амалиётга қўллаш масалалари муҳим ҳисобланади [1, 2, 4].

Электр таъминоти тизимида тақсимловчи электр тармоғининг техник-иктисодий моделини тармоқ параметрлари ҳамда трансформатор сони ва қувватининг оптимал қийматини аниқлаб куриш бўйича ишлар самарадорлиги ортиб бормоқда.

Асосий қисм. Электр таъминоти тизимида комплекс трансформатор подстанция трансформаторининг техник-иктисодий жиҳатдан оптимал қуввати ($S_{тр}$) ва сонини (N) танлаш мураккаб вазифа бўлиб, 6-10 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоқлар, комплекс трансформатор подстанция ва кучланиши 1000 В гача бўлган тақсимловчи электр тармоқлардаги электр энергияси истеъмолчиларининг реактив юкламаларини компенсация қилишнинг оқилона даражасини ҳисобга олган ҳолда электр таъминоти тизимини куришга имкон беради [1-5, 10, 12].

Ҳозирги кунгача лойиҳалаш амалиётида тўла қувват ($S_{тр}$) $S_{тр}=f(\sigma)$ эгри чизик билан аниқланган, бу $S_{тр}$ ни фақат битта кўрсаткич билан боғлайди – солиштирма электр юклама зичлиги (σ), кВА/м². Анъанавий қўлда лойиҳалаш усулига хос бўлган вазифага бундай соддалаштирилган ёндашув компьютер ёрдамида лойиҳалаш шароитида мутлақо қабул қилиниши мумкин эмас. $S_{тр}$ ва N ни аниқлаш вазифаси

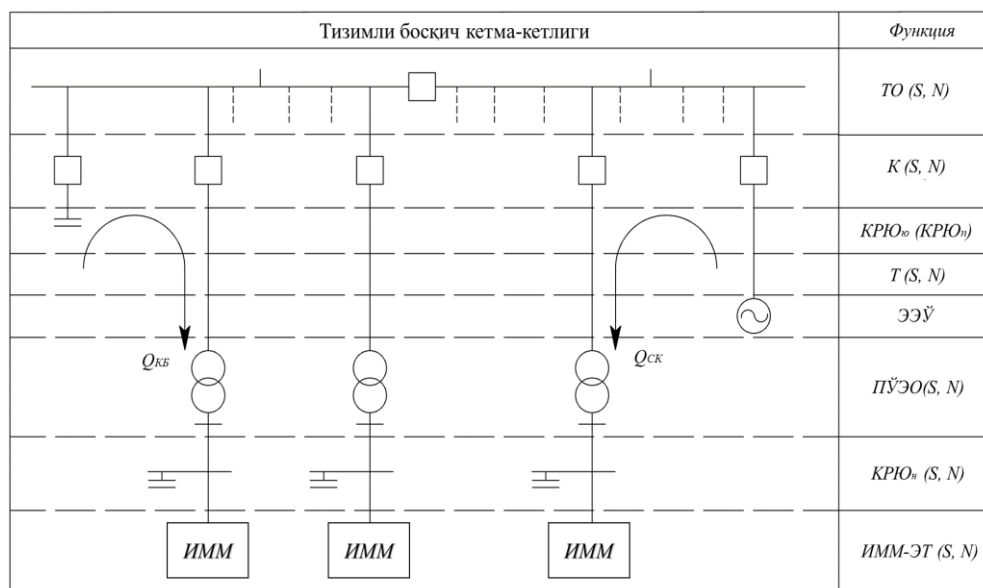
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

бошқа тизимни автоматик лойиҳалаш вазифалари билан биргаликда ҳал қилиниши керак ва уни ҳал қилиш ишончлилик кўрсаткичлари, электр энергияси сифатига қўйиладиган талабларни сақлаб, электр таъминоти тизими харажатларининг пасайишига олиб келиши керак. Электр таъминоти тизими аниқ иерархик функционал тузилишга эга бўлганлиги сабабли, $S_{тр}$ ва N нинг оптимал қиймати таркибий анализ муаммоси бўлиб, унинг натижаси асосан кейинги лойиҳалаш босқичларида лойиҳалашдаги қарорларни белгилайди [6-9, 14, 16, 19].

Бирок, моделлаштиришга аналитик ёндашув $S_{тр}$ ва N га таъсир қилувчи параметрлардаги ўзгаришларнинг дискрет хусусиятини ҳисобга олишга имкон бермайди, бунинг натижасида оптимал ечим қабул қилинадиган қийматлар доирасидан ташқарида бўлиши мумкин.

Муаммонинг иқтисодий ва математик моделини асослашга имкон берадиган мантиқий изчил тахминлар тизимини яратиш учун биз $S_{тр}$ ва N ни танлашга таъсир қилувчи асосий омиллар ва алоқаларни кўриб чиқамиз.

Тармоқ назарияси тамойиллари асосида қурилган электр таъминоти тизими куйидаги функционал ва таркибий қуйи тизимларни ўз ичига олади (1-расм):



1-расм. Электр таъминоти тизимида КТП трансформаторининг куввати ва сонини оптималлаштиришнинг функционал қуйи тизимлар техник-иқтисодий моделини қуриш босқичи

1-расм бўйича тизимли босқич кетма-кетлиги функция асосида берилган ҳолатлар куйидаги белгиланишлар асосида кўриб чиқилади:

$ТО (S, N)$ – 6-10 кВ кучланишли тизимости тақсимловчи қурилмалар;

$K (S, N)$ – коммутация (электр энергия оқимини бошқариш);

$KРЮ_{ю}$ ($KРЮ_{п}$) – 6-10 кВ кучланишли электр тармоқларидаги реактив юкламаларни компенсация қиладиган қурилмалар (0,38 кВ);

$T(S, N)$ – 6-10 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоқ;

ЭЭЎ – электр энергиясини ўзгартириш;

ПЎЭО (S, N) – энергия оқими бўйича параметрларини ўзгартириш;

$KРЮ_{п}$ – кучланиши 1000 В гача бўлган реактив юкламаларни компенсация қилиш;

ИММ-ЭТ (S, N) – электр тармоқларининг иқтисодий математик модели.

Қўйилган вазифани ечиш электр таъминотининг ички таркибий анализ босқичи учун амалга оширилади, бу ишчи лойиҳа босқичидаги техник-иқтисодий асосларга ёки мавжуд низомларга мувофиқ бир ва икки босқичли лойиҳалашга эга техник лойиҳанинг дастлабки босқичига мос келади. Шу билан бирга, кучланиши 1000 В гача бўлган объектнинг актив ва реактив ҳисобий юкламалари маълум ($P_{пк}$, $Q_{пк}$); объектнинг лойиҳаланаётган қисмидаги актив ва реактив юкламалари ($P_{ўк}$, $Q_{ўк}$) киришлардаги ёки қутилаётган кучланиш даражалари билан бирлаштирилган; электр таъминоти тизимининг максимал (Q_1) ва минимал (Q_2) юкламалари даврида энерготизим томонидан ўрнатилган реактив юкламаларнинг қийматлари.

Трансформатор подстанция трансформаторларининг керакли сони ва қуввати қуйидаги ҳисобий юкламага боғлиқ [11-15, 20, 17]:

$$S_{тр} = \sqrt{P_{пк}^2 + Q_{пк}^2} \quad (1)$$

Шу билан бирга, $Q_{ф} < Q_{м1}$ реактив юклама режими учун электр энергетика тизими талабига риоя қилиш керак.

ТП трансформаторларининг сони N ва қуввати S ни аниқлашда $Q_{ўк}$ нинг қиймати компенсация қилиш усулидан фойдаланиб $Q_{м1}$ қийматга мустақил чиқади. Ушбу ҳолатда $Q_{ф} < Q_{м1}$ шарт бажарилиши керак бўлган қуйи тизимнинг техник тавсифи сифатида кўриб чиқилади. Шунинг учун фақат кўриб чиқиладиган қуйи тизимларнинг иқтисодий математик модел параметрлари оптимал қувватни ва ТП трансформаторларининг сонини танлаш муаммосини ҳал қилишга таъсир қилади. Белгиланган вазифанинг умумий иқтисодий математик модели ушбу қуйи тизимларнинг ҳар бирининг моделлари параметрларининг ўзаро таъсирини ҳисобга олиши керак.

Актив юклама $P_{юк} = P_{пк}$ ва реактив юклама тақсимловчи электр тармоқларига ўтказилиши керак: ёки $Q_{юк} = 0$ тақсимловчи электр тармоқларининг кучланишида реактив юкларни тўлиқ қоплаш билан, ёки $Q_{юк} = Q_{пк}$ - кучланиши 1000 В гача бўлган тармоқда компенсация қурилмаларининг тўлиқ ўрнатилиши билан ифодаланади.

$S_{тр} \cdot N = const$ ҳолатида трансформаторларнинг бирлик қувватининг ошиши билан уларнинг бирлик нархи ва қувват йўқотишлари, 6-10 кВ кучланишли электр тармоқларда умумий узунлик ва йўқотишлар, 6-10 кВ тақсимловчи қурилмалар ячейкалари сони камаяди, аммо капитал қўйилмалар, 0,38 кВ кучланишли электр тармоқларида қувват ва энергия йўқотишлари кўпаяди.

Кучланиши 1000 В гача электр тармоқда реактив юклама компенсацияси ($Q_{к}$) орқали ТП нинг умумий ўрнатилган қувватини камайтиришга эришиш мумкин:

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

$$S_{\text{тр}} \cdot N \cdot \beta_{\text{ўр}} = \sqrt{P_{\text{н}}^2 + (Q_{\text{м1}} - Q_{\text{к}})^2} \quad (2)$$

бу ерда, $\beta_{\text{ўр}}$ – юкланиш коэффициентининг ўртача қиймати. Бу, ўз навбатида, электр таъминоти тизимида умумий харажатларнинг камайишига олиб келади.

ТП трансформаторларининг бирлик қувватининг пасайиши билан тескари ходиса кузатилади: электр тармоқларидаги харажатлар қиймати 6-10 кВ кучланишли тармоқ ва тегишли тақсимловчи қурилма харажатларининг ошиши билан камаяди.

Харажатларнинг электр таъминоти тизимининг турли қуйи тизимларига нисбати таҳлили (1-жадвал) шуни кўрсатадики, капитал қўйилмаларнинг асосий улуши куч трансформаторларига тўғри келади. Бинобарин, умумий иқтисодий моделдаги электр тармоқ омиллари жуда катта аҳамиятга эга эмас ва жуда содда, кучланиши 1000 В гача бўлган ва ундан юқори кучланишли электр тармоқлар учун моделлар $S_{\text{тр}}$ ва N ни танлаш муаммосига яхши ечим топиш мумкин.

1-жадвал

Харажатларнинг электр таъминоти тизими элементларига нисбати

Электр таъминоти тизими элементлари	Капитал қўйилмалар, %	Электр энергия исрофи, %
Куч трансформаторлари ва тақсимловчи қурилма	79,6	38,7
Кучланиши 1000 В дан юқори электр тармоқлари	7,4	19,6
Кучланиши 1000 В гача бўлган электр тармоқлари	13,0	41,7
Жами:	100	100

Электр тармоқларининг содалаштирилган моделларидан фойдаланиш лойиҳалаш ҳолатининг асосий ноаниқлиги билан боғлиқ. 6-10 ва 0,4 кВ кучланишли электр тармоқларни параллел лойиҳалаш фақат $S_{\text{тр}}$ ва N ни танлагандан сўнг мумкин ва бу вазифани ҳал қилишда ҳисоб-китоблар ушбу электр тармоқларининг иқтисодий кўрсаткичлари талаб қилинади. Амалиётда бундай вазифа бир нечта итерациялар билан ҳал қилинади, уларнинг сони лойиҳаловчининг тажрибаси ва эвристик қобилиятига боғлиқ.

Ушбу вазифани ҳал қилиш босқичида кўплаб маълумотлар етишмаётган ёки етарлича ишончли эмаслиги сабабли глобал экстремум мақсад функциясидан (вазифа математик дастурлаш нуқтаи назаридан шакллантирилганда) тубдан эришиб бўлмайди. Белгиланган вазифа чизиқли бўлмаган дискрет дастурлаш муаммоси (масалан, $S_{\text{тр}}$ ва N га нисбатан), бундай муаммоларни ҳал қилиш усуллари уларнинг кўп экстремаллиги туфайли ҳали ишлаб чиқилмаган ва уларни чизиқли аналогларга қисқартириш оптималдан бутунлай бошқача натижа бериши мумкин [16-20, 3, 4].

Баъзи таҳминларнинг киритилиши ушбу вазифани глобал экстремумни таъминлайдиган дискрет бутун сонли панжарадаги вариантларни такрорлаш орқали ҳал қилишга имкон беради. Агар муаммонинг кўплаб параметрлари тасодифий ўзгарувчилар ёки тасодифий жараёнларнинг таҳминлари деб ҳисобласак, натижада

ечим иқтисодий жиҳатдан беқарор бўлиши мумкин ва оптимал билан бирга унга яқин бўлган барча ечимларни олиш керак.

Юқоридагиларга асосланиб, қуйидаги тахминларни шакллантириш мумкин.

Кўлланилаётган трансформатор подстанцияларда қувватлар тенглиги ҳақидаги тахмин асосий тахмин ҳисобланади. Электр таъминоти тизимида КТП нинг бўлинмаларида бир хил қувватли куч трансформаторлари ишлатилади. Ушбу ҳолатда трансформаторларнинг сақланиш заҳирасининг пасайиши туфайли тегмасликдан оғиш сезиларли бўлмайди деб тахмин қилади. Шунингдек, ўрнатишни тезлаштириш ва саноатлаштириш, фойдаланиш ва таъмирлаш харажатларини камайтириш ҳисобига одатдан ташқари ҳолатда ушбу муаммони ҳал қилишда ҳисобга олинади. Шу билан бирга, бирлаштириш принципи амалга оширилади.

Турли хил тоифадаги истеъмолчиларни электр таъминоти хавфсизлиги ва ишончилигини ҳисобга олган ҳолда индивидуал трансформаторларнинг юклама талаблари ўртача юкланиш коэффицентини ($\beta_{\text{ўр.}}$) киритиш орқали ҳисобга олинади. Ҳар хил тоифадаги электр энергия истеъмолчилари одатда КТП бўлимининг ҳар биридан қувват олади, шунинг учун ҳар хил тоифадаги электр энергия истеъмолчиларини жорий қилиш орқали буни ҳисобга олиш таклиф этилади:

$$\beta_{\text{ўр.}} = 1/(2 \cdot \delta + 1,43 \cdot \gamma + \lambda) \quad (3)$$

бу ерда, δ , γ , λ - объектнинг умумий юкласида 1000 В гача кучланишда турли тоифадаги электр энергия истеъмолчиларнинг солиштирма оғирлиги (мос равишда 1, 2 ва 3).

ТП трансформаторларини танлаш ҳисобий юкламасига мувофиқ амалга оширилади, бу алоҳида бинолар учун максимал юкланган смена учун ўртача юкламаларни йиғиш билан белгиланади:

$$P_{\text{м}}^{\text{пк}} = \sum_{j=1}^m P_{\text{ўр.}j}; \quad Q_{\text{м}}^{\text{пк}} = \sum_{j=1}^m Q_{\text{ўр.}j} \quad (4)$$

Ушбу тахмин бизга электр тармоқ ўтказгичлари билан таққослаганда трансформаторларни қизиш вақтининг ўзгармаслигини ҳисобга олишга имкон беради.

ТП трансформаторининг маълум бир бирлик қуввати S_i учун $U_n < 1000$ В да маълум актив ва реактив юкламаларда уларнинг сони $N_{\text{мин}}$ дан $N_{\text{мак}}$ гача ўзгаради.

$$N_{\text{мин}} = P_{\text{м}}^{\text{пк}} / (\beta_{\text{ўр.}} \cdot S_i) \quad (5)$$

Бу ҳолат 1000 В гача кучланишдаги реактив юкларнинг тўлиқ компенсациясига тўғри келади.

$$N_{\text{мак}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2} / (\beta_{\text{ўр.}} \cdot S_i) \quad (6)$$

0,4 кВ кучланишдаги реактив юкламалар компенсация қилинмайди деб олинади.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Объект бўйлаб юкламалар (бинолар) тенг тақсимланган деб тахмин қилинади; КТП билан таъминладиган 6-10 кВ ТҚ биноларнинг ташқи деворларига ёки уларнинг марказий нукталари бўйлаб жойлаштирилади; КТП трансформаторлари улар хизмат кўрсатадиган бўлимларнинг юклама марказларига жойлаштирилади.

6-10 кВ кучланишли тақсимловчи электр тармоғининг ўртача узунлиги куйидаги ифода билан аниқланади:

$$L_{\text{ўр.}} = 0,5 \cdot K_{\text{к}} \cdot \sqrt{\Pi} \quad (7)$$

бу ерда, Π - объектнинг майдони, км²; $K_{\text{к}}$ - конфигурация коэффициенти, бу 1,4-2,0.

Кучланиши 0,38 кВ электр тармоғидаги компенсация қурилмалари ТП чиқишининг паст кучланишли шиналарига ўрнатилган деб тахмин қилинади.. КТП нархи 6-10 ва 0,4 кВ кучланишдаги компенсация қурилмалари нархидаги фарқдан анча юқори бўлганлиги сабабли, КТП сонини (ёки умумий қувватни) оптимал қийматга камайтириш ҳар доим оқланади деб тахмин қилиш мумкин. Шу билан бирга, 1000 В дан ортиқ кучланишдаги реактив қувват (бунга 1000 В дан ортиқ кучланишли электр истеъмолчилар ва ўзгартгичларнинг реактив юкламалари, КТП ва тармоқларда реактив қувват исрофлари, шунингдек 1000 В гача кучланишли тармоқларда реактив қувват $Q_{\text{м}}$ қисми компенсация қилинмайди) синхрон моторлар ёки 6-10 кВ электр тармоқ учун конденсатор қурилмаларини томонидан ишлаб чиқарилган:

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{р}} + \sum_{i=1}^N \Delta Q_i + (Q_{\text{м}}^{\text{ПК}} + Q_{\text{к}}^{\text{ПК}}) - \sum_{r=1}^k Q_{kr}^{\text{В}} \quad (8)$$

Тизимнинг максимал юкламаларида, 1000 В дан ортиқ кучланишда корхонага ўтказиш иқтисодий жиҳатдан мумкин бўлган қувват тизими томонидан ўрнатилган реактив қувват Q қиймати билан уни қоплаш керак:

$$Q_{\text{к}} = K_{\text{к}} \cdot (Q_{\text{м}} - Q_{\text{м1}} - \sum_{m=1}^M \Delta Q_{\text{т}}) \quad (9)$$

бу ерда, $\sum_{m=1}^M \Delta Q_{\text{т}}$ – ТП трансформаторидаги реактив қувват исрофи йиғиндиси, [кВАр]; $K_{\text{к}}$ – тармоқ номинал кучланишини ҳисобга олувчи коэффициент.

Кўриб чиқилган ҳолатлар иқтисодий имкониятларни ва ТП сонини аниқлаш вазифасини ЭТТ нинг барча белгиланган куйи тизимлари учун камайтирилган харажатларни ҳисоблаш учун камайтиришга имкон беради. Масалага бундай ёндашув битта сонли ечимни эмас, балки чекланган (1-тахмин асосида) ечимлар тўпламини олиш имкониятини назарда тутди. Улардан лойиҳаловчи аниқ шартлар учун энг мосини оптимал танлаши мумкин.

Ушбу вазифа учун ЭТТ нинг техник-иқтисодий модели кўриб чиқилаётган ҳар бир вариант учун ўзаро боғлиқ бўлган барча куйи тизимлар учун камайтирилган харажатлар йиғиндиси куйидагича ифодаланади:

$$Z_i = Z_{\text{тп}i} + Z_{\text{тқ}i} + Z_{\text{ли}(юк)} + Z_{\text{ли}(пк)} + Z_{\text{кқ}i(юк)} + Z_{\text{кқ}i(пк)} \quad (10)$$

бу ерда, $Z_{ТПi}$ – ТП нинг келтирилган харажатлар, минг.сўм/йил; $Z_{ТҚi}$ – 6-10 кВ кучланишли тақсимловчи қурилма учун келтирилган харажатлар; $Z_{Ли(юк)}$ – 6-10 кВ кучланишли электр тармоғи учун келтирилган харажатлар; $Z_{Ли(ПК)}$ – 0,4 кВ кучланишли электр тармоғи учун келтирилган харажатлар; $Z_{КҚi(юк)}$ – 6-10 кВ кучланишли компенсацияловчи қурилмалар учун келтирилган харажатлар; $Z_{КҚi(ПК)}$ – 0,4 кВ кучланишли компенсацияловчи қурилмалар учун келтирилган харажатлар.

ЭТТ да мавжуд вариантлар қуйидагича анализ қилинади. Мавжуд стандарт қувват оралиғига 400-2500 кВА (2x400-2x2500)га мос келадиган S_{Ti} қувват трансформаторлари бўлган ТП учун подстанцияларнинг минимал ва максимал (берилган юкламада) сони қуйидагича аниқланади:

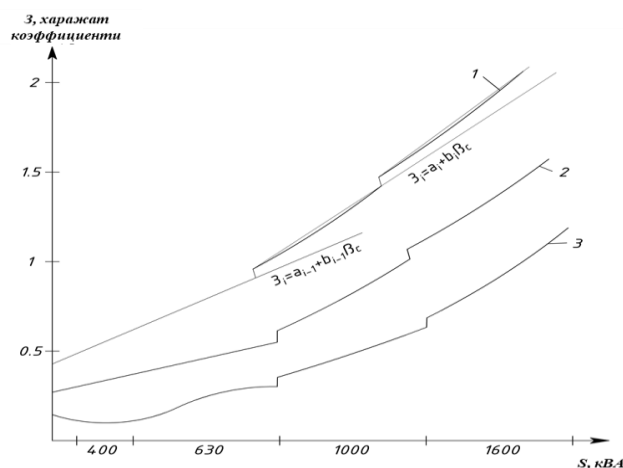
$$N_{\text{мин}} = \varepsilon \cdot \left(\frac{P_N}{\beta_{\text{ўрт}} \cdot S_T \cdot n_T} + 0,5 \right) \quad (11)$$

$$N_{\text{макс}} = \varepsilon \cdot \left(\frac{\sqrt{P_N^2 + Q_N^2}}{\beta_{\text{ўрт}} \cdot S_T \cdot n_T} + 0,5 \right) \quad (12)$$

бу ерда, n_T – ҳар бир ТП даги трансформаторлар сони.

$N_{\text{мин}}$ учун Z_{1i} харажатлари ҳисобланади. Бундан ташқари, ТП сони биттага кўпайганда Z_{2i} харажатлари аниқланади. Ушбу жараён $\Delta N=1$ дан $N_{\text{макс}}$ гача бўлган кадам билан давом этади, ҳар бир кадамда Z_{ji} ҳисобланади. ε – 11, 12 – ифодаларда соннинг бутун қисмини ажратиш оператори ҳисобланади [7].

ЭТТ нинг электр тармоқлари учун харажатлар эгри чизиғини яқинлаштириш принципи 2-расмда кўрсатилган. Расмдаги эгри чизиқлар (1-3) турли хил конструкцияга эга бўлган электр тармоқлар учун мос келади [9].

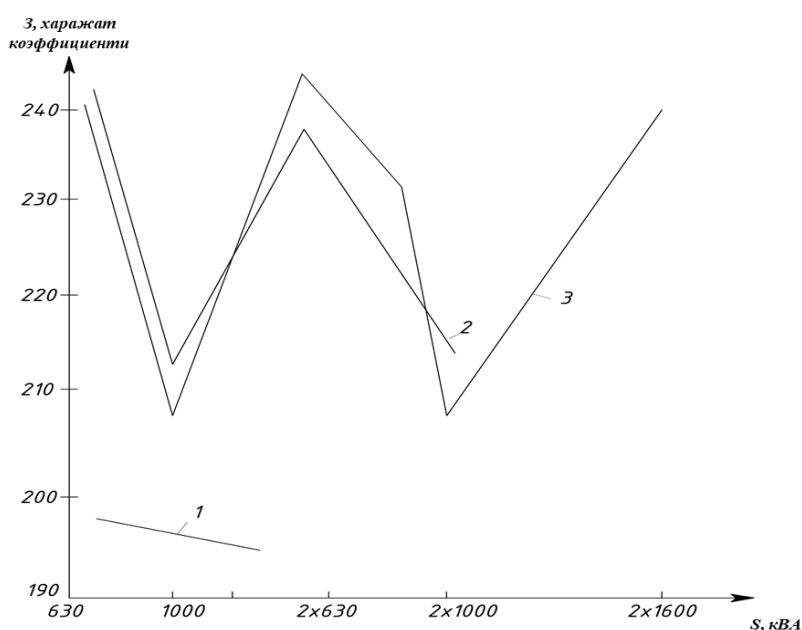


2-расм. ЭТТ нинг электр тармоқларида харажатлар функциясининг аппроксимациялаш (яқинлаштириш) ҳолатининг КТП оптимал қувватига боғлиқлик графиги

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Шундай қилиб, масаланинг ечими дискрет-бутун сонли ҳисоблаш тугунларида ҳаражатларнинг мақсад функциясини ҳисоблаш учун камади, унинг жойлашган ўқларидан бири трансформатор қувватининг дискрет шкаласи бўйича, иккинчиси N_{ji} – подстанциялар сонининг бутун қиймати бўйича.

Ҳисоблаш натижаларини сонли мисолдаги мақсад функция кўп экстремал эканлигини кўрсатади. 3-расмдаги (1-3) эгри чизиқлар уч хил иш режимидаги трансформатор ишлаб чиқариш заводларининг трансформатор подстанцияларига тўғри келади, улар паст кучланишли тақсимловчи электр тармоқ истеъмолчиларининг йиғилган шкафлари жойлашуви ва параметрлари билан фарқланади.



3-расм. Ишлаб чиқарувчи корхона тури бўйича оптимал қувват ва подстанциялар сонини танлаш натижаларини ҳаражатлар коэффициентига боғлиқлигини таҳлили

Хулоса. Электр таъминоти тизимида асосий тармоқ ҳисобланган комплекс трансформатор подстанция таркибидаги трансформатор сони ва қувватинининг оптимал қийматини аниқлаш учун тизимнинг техник-иқтисодий моделини, яъни юкори (ўрта) кучланишли электр тармоқ (6-10 кВ), комплекс трансформатор подстанция (КТП, 6-10/0,4 кВ), паст кучланишли тақсимловчи электр тармоқларни (0,4 кВ) қуришга кетаётган келтирилган ҳаражатларни тартибга солишга лозим. Бунда сарфланадиган ҳаражатларнинг минимал қийматидан мавжуд чегаранишларни ҳисобга олган ҳолда КТП нинг параметрларини аниқлаш имконияти юзага келди. Электр энергия истеъмолчиларининг истеъмол реактив қуввати қийматини компенсация қилувчи қурилмаларни ўрнатиб КТП нинг параметрларини келтирилган

харажатларнинг мавжуд ҳолат коэффициентларига боғлиқлиги график кўринишда ишлаб чиқилди. Натижада олинган графиклардан КТП нинг оптимал параметрларини аниқлаш имконияти юзага келади.

Адабиёт

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020-йил 5-октябрдаги «Рақамли Ўзбекистон – 2030 стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги №6079 – сонли Фармони.
2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022-йил 28-январдаги «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида» ги №60 – сонли Фармони.
3. Ulrich Butz, Dieter Heinze, N.Winoslawski, I.Taradaj. Automatisierung der projektierung von elektroenergieversorgungssystemen: - Berlin, 1988. – 210 pp.
4. Климова Г.Н., Кабышев А.В. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий / Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2009. – 184 ст.
5. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Дехконбоев А.А. // Определение оптимальных параметров распределительной электрической сети до 1000 В // Сб. научных статей международная научная конференция «INNOVATION-2018». – Ташкент, 2018. – С. 110-112.
6. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В. // Обзор оптимизации и унификации сечений жил кабелей распределительных электрических сетей // «Кайта тикланувчи энергетиканинг замонавий муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами/ - Карши, 2018. – С. 380-382.
7. Taslimov A., Berdishev A., Melikuziev M., Bijanov A. // Reliability indicators of 10 kV cable lines in rural areas // 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering, Construction – The Formation of Living, Environment, Form 2020; National University of Civil Engineering 55, Giai Phang Road Hanoi, Vietnam; 23 – 26 september 2020.
8. Железко Ю.С. «Новые правила расчета экономических значений потребления реактивной мощности потребителями» - Промышленная энергетика, № 6, 1996.
9. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. СП 31-110. - 2003.
10. S. Guseva, N. Skobeleva, N. Breners, O. Borscevskis. Determination of service areas of urban transformer substations and distribution using geometrical templates, Latv. Journ. of Ph. and Techn. Sc., 6, Riga, 2009, pp. 16-26.
11. S. Guseva, O. Borscevskis, N. Skobeleva, N. Breners. Load forecasting till 2020 of existing and perspective transformer substations in Riga. Proc. of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering, 25(4), Riga, 2009, pp. 77-80.
12. P. Hines, S.Blimsack, E.Cotilla Sanchez, C Barrows. The Topological and Electrical Structure of Power Grids, "International Journal of Critical Structure Protection", no 4, pp.243-251, 200.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

13. Фролов В.Я., Коротков А.В. Графики активной и реактивной нагрузки бытовых потребителей / Вестник ИГЭУ №5 2011 с. 114-123.

14. Гринкруг М.С., Гордин С.А. Экономическое обоснование выбора и мощности местоположения трансформаторных подстанций распределительной сети 0.4кВ // Сборник трудов V всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». - Благовещенск: АмГУ, 2008. - 428с. с.302-30.

15. Короткевич М.А. Эксплуатация электрических сетей. - Минск: «Высшая школа», 2005.

16. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 1995. – 414 ст.

17. Зув. Экономические интервалы мощности нагрузки двухобмоточных трансформаторов 110 кВ. // Общие вопросы электроэнергетики №4 2005 г. ст. 20-40.

18. Гордин С.А. Выбор параметров элементов городских систем электроснабжения низкого напряжения на основе математического моделирования режима их работы. Дисс ... канд. тех. наук. – Комсомольск на Амуре, 2009. – 133.

19. ГОСТ 21.613-88, СПДС. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи. Издательство стандартов. 2008.

20. Нормы технологического проектирования по проектированию промышленных предприятий. Электроснабжение. М.: Тяжпромэлектропроект, 2004. ст 67.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 621.313.019.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ МАШИННОГО ОРОШЕНИЯ**О.З. Тоиров, С.С. Халиков**

Мақолада “Наманган” насос станцияси насос агрегатининг ишончилигини тадқиқоти натижалари келтирилган, насос агрегатларининг авариялари, ишламай қолиш ва нуқсонлар сонини кўрсатилган. Машинали сугориш насос станциясининг насос агрегатларини ишламай қолишсиз вақти экспоненциал қонун бўйича тақсимланишини инобатга олиб насос агрегатларнинг 5 йиллик эксплуатация маълумотлари асосида дастлабки ҳодисалар эҳтимоли ҳисобланган ва графиклари қурилган, шунингдек 60 йиллик ишлаши даври учун насос агрегатларининг дастлабки ҳодисалар эҳтимоли назарий ҳисобланган ва графиклари қурилган.

Калит сўзлар: ишончлилиқ, авария, ишлаймиқ қолиш, нуқсон, насос агрегати, насос станцияси .

В статье приведены результаты исследования надежности, показаны виды аварий, отказов и дефектов, их количество и рассчитанные значения интенсивности возникновения событий агрегатов насосной станции “Наманган” за 5 лет работы. Учитывая, что время безотказной работы насосных агрегатов станции машинного орошения распределяется по экспоненциальному закону рассчитаны значения и построены графики вероятностей исходных событий насосных агрегатов станции за 5 лет работы с учетом эксплуатационных данных, а также теоретически рассчитаны и построены графики вероятностей исходных событий насосных агрегатов за 60 лет работы.

Ключевые слова: надежность, авария, отказ, дефект, насосный агрегат, насосная станция.

The article presents the results of a reliability study, shows the types of accidents, failures and defects, their number and the calculated values of the intensity of occurrence of events of pumping units of the Namangan pumping station for 5 years of operation. Taking into account that the time of failure-free operation of the pumping units of the pumping station of mechanical irrigation is distributed according to the exponential law, the values are calculated and the graphs of the probabilities of the initial events of the pumping units of the pumping station for 5 years of operation are plotted, taking into account operational data, as well as the theoretically calculated and plotted graphs of the probabilities of the initial events of the pumping units of the pumping station unit for 60 years of operation.

Key words: reliability, accident, failure, defect, pumping unit, pumping station.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В статье приводятся результаты исследований нарушений насосных агрегатов (НА) на примере насосной станции (НС) «Наманган». НС спроектирована и введена в эксплуатацию в 1983-году, и являясь головной в составе Большого Наманганского канала во многом предопределяет надежность, устойчивость, безопасность и эффективность функционирования как всего каскада, так многокомпонентного комплекса. В целом, за весь период длительной эксплуатации (свыше 40 лет) обеспечила выполнение своих функций. На этой станции установлены восемь синхронных двигателей типа ВДС2-325/69-16 со следующими номинальными техническими данными: мощность - 8,0 МВт, напряжение статора - 10 кВ, ток статора - 540 А, скорость вращения - 375 об/мин [1].

По полученным эксплуатационным данным вычислялись значения интенсивности возникновения события λ (1/ час), которые приведены в табл.1.

Таблица 1

Виды аварий, отказов и дефектов, их количество и интенсивность возникновения событий

№	Виды аварий, отказов и дефектов	Количество аварий, отказов и дефектов (кол-во / %)	Интенсивность возникновения события, $\lambda \cdot 10^{-4}$ (1/час)
1.	Износ улитки насоса с работкой металла	3 / 4,41	0,0124
2.	Повышенная вибрация насоса сверх допустимых пределов	2 / 2,94	0,0083
3.	Образование течи в радиаторе маслоохладителя верхней крестовины и попадание воды в масло	1 / 1,47	0,0042
4.	Нарушение сальникового уплотнения насоса со значительной утечкой воды	6 / 8,82	0,0248
5.	Отказ дискового затвора на закрытие	1 / 1,47	0,0042
6.	Отказ дискового затвора на открытие	1 / 1,47	0,0042
7.	Утечка масла из маслованны 1	6 / 8,85	0,0248
8.	Разрушение сальниковой втулки	6 / 8,82	0,0248
9.	Износ вала насоса	8 / 4,76	0,0331
10.	Повышенный бой вала насоса	2 / 2,94	0,0083
11.	Останов из-за разрушения сегментов подпятника электродвигателя	8 / 11,76	0,0331
12.	Утечка масла из маслованны 2	2 / 2,94	0,0083
13.	Забивка мусором входного отверстия радиатора в системе охлаждения электродвигателя	2 / 2,04	0,0083
14.	Загрязнение статорной обмотки электродвигателя маслом	1 / 1,47	0,0042
15.	Аварийный останов НА из-за короткого замыкания в системе тиристорного возбуждения	1 / 1,47	0,0042
16.	Аварийный останов НА из-за искрения на щитках токопровода ротора	1 / 1,47	0,0042

17.	Отказ в системе управления масляного выключателя НА	1 / 1,47	0,0042
18.	Аварийный останов из-за выхода из строя тиристоров в системе возбуждения	2 / 2,94	0,0083
19.	Аварийный останов из-за повышения температуры подпятника электродвигателя	5 / 7,35	0,0207
20.	Отказ термосигнализаторов в виде катастрофического отказа (выход из строя)	1 / 1,47	0,0042
21.	Несанкционированное отключение системы тиристорного возбуждения	1 / 1,47	0,0042
22.	Аварийный останов из-за перерыва в электроснабжении	1 / 1,47	0,0042
23.	Ложный сигнал на закрытие дискового затвора	1 / 1,47	0,0042
24.	Аварийный останов НА из-за «асинхронного хода»	2 / 1,47	0,0083
25.	Неисправность ремонтного шандора (неполное закрытие)	1 / 1,47	0,0042
26.	Утечка воды через компенсатор напорного трубопровода	1 / 1,47	0,0042
27.	Отказ на закрытие донного клапана насоса из-за попадания металлического листа	1 / 1,47	0,0042

Учитывая, что время безотказной работы насосных агрегатов НС машинного орошения распределяется по экспоненциальному закону [2, 3], значения вероятности исходных событий $P(t)$ определены по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}.$$

По этой формуле рассчитаны значения вероятностей исходных событий и введены в табл. 2. На основе этой таблицы построены графики изменения $P(t)$ в течение времени за 1-5 лет с учетом эксплуатационных данных, где значения интенсивности возникновения события λ взяты из табл. 1, соответствующим номерам аварий, отказов и дефектов, которые показаны на рис. 2.

Таблица 2

Значения вероятностей исходных событий узлов и механизмов НА

t - время работы НА, год	P(t) - вероятности исходных событий узлов и механизмов НА					
	$\lambda = 0,0042$	$\lambda = 0,0083$	$\lambda = 0,0124$	$\lambda = 0,0207$	$\lambda = 0,0248$	$\lambda = 0,0331$
1	0,996	0,993	0,989	0,982	0,979	0,971
2	0,993	0,986	0,979	0,964	0,957	0,944
3	0,989	0,978	0,968	0,947	0,937	0,917
4	0,985	0,971	0,957	0,930	0,917	0,890
5	0,982	0,964	0,947	0,913	0,897	0,865

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

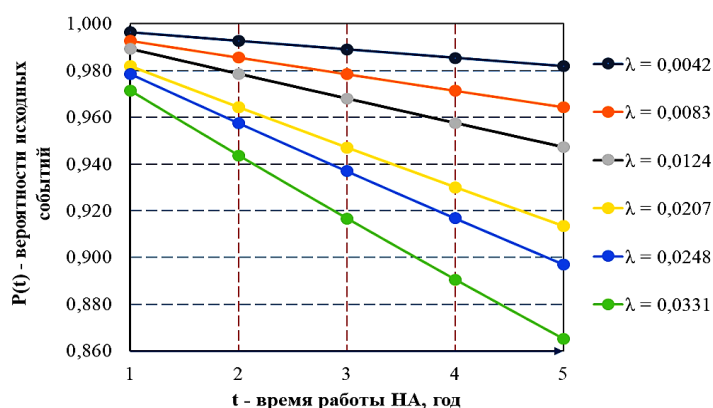


Рис.2. Графики изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ за 5 лет работы НА

Анализ графиков изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ показывает, что из-за возникновения событий: № 3, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27 [$\lambda=0.0042 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] вероятность исходных событий уменьшается на - 0,8%; событий № 2, 10, 12, 13, 18, 24 [$\lambda=0.0083 \cdot 10^{-4}$; (1/час)] на - 3,6%; событие №1, [$\lambda=0.0124 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на - 5,6%; событие №19 [$\lambda=0.0207 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на - 8,7%; событий № 4,7,8, [$\lambda=0.0248 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на - 10,3%; событий № 9,11, [$\lambda=0.0331 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на - 13,8%.

Из анализа графиков можно сделать вывод о том, что наблюдается уменьшение вероятности износа вала насоса и останова из-за разрушения сегментов подпятника электродвигателя (уменьшение вероятностных событий на - 13,8 %).

Таблица 3

Изменение вероятности исходных событий узлов и механизмов за 60 лет работы НА

t - время работы НА, год	P(t) - вероятности исходных событий узлов и механизмов НА					
	$\lambda = 0,0042$	$\lambda = 0,0083$	$\lambda = 0,0124$	$\lambda = 0,0207$	$\lambda = 0,0248$	$\lambda = 0,0331$
1	0,996	0,993	0,989	0,982	0,979	0,971
5	0,982	0,964	0,947	0,913	0,897	0,865
10	0,964	0,930	0,897	0,834	0,805	0,748
15	0,946	0,897	0,850	0,762	0,722	0,647
20	0,929	0,865	0,805	0,696	0,648	0,560
25	0,912	0,834	0,762	0,636	0,581	0,484
30	0,895	0,804	0,722	0,580	0,521	0,419
35	0,879	0,775	0,684	0,530	0,467	0,362
40	0,863	0,748	0,648	0,484	0,419	0,314
45	0,847	0,721	0,613	0,442	0,376	0,271
50	0,832	0,695	0,581	0,404	0,337	0,235
55	0,817	0,670	0,550	0,369	0,303	0,203
60	0,802	0,646	0,521	0,337	0,272	0,176

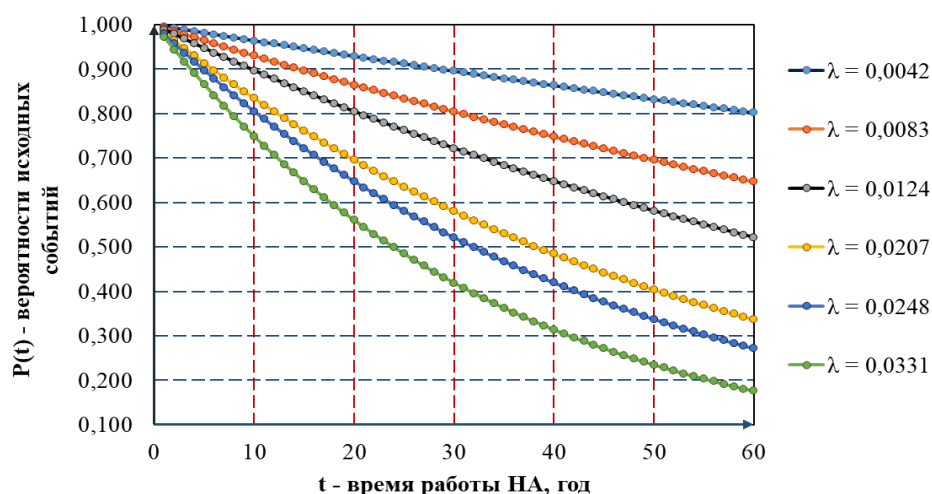


Рис. 3. Графики изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ за 60 лет работы НА

Анализ графиков изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ показывает, что из-за возникновения событий: № 3, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27 [$\lambda=0,0042 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] вероятность исходных событий уменьшается на 19,8%; событий № 2,10,12,13,18,24 [$\lambda=0,0083 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на – 35,4%; событие №1, [$\lambda=0,0124 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на – 47,9%; событие №19 [$\lambda=0,0207 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на – 66,3%; событий № 4,7,8, ($\lambda=0,0248 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на – 72,8%; событий № 9,11, [$\lambda=0,0331 \cdot 10^{-4}$ (1/час)] на – 82,4%.

Из анализа графиков можно сделать вывод о том, что наиболее опасными из вероятностных событий являются: износ вала насоса и останов из-за разрушения сегментов подпятника электродвигателя (уменьшение вероятностных событий на – 82,4 %).

Приведенные базы данные могут использоваться при определении надежности, расчете риска и оценки безопасности насосного агрегата насосной станции и самой НС, определить тяжесть каждого нарушения и оценить безопасность каждого элемента агрегата, а также обращаясь к каждому из них, отображать их состояния на экране ЭВМ и эффективно выявлять аварийные факторы, принять необходимые экстренные корректирующие меры, направленные на повышение безопасности работы насосного агрегата, что позволяет предотвращать аварийную ситуацию [4-9].

Заключение. 1. Из анализа графиков изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ за 5 лет работы НА сделан вывод о том, что наиболее уменьшение вероятностных событий (опасным) являются события: износ вала насоса и останов из-за разрушения сегментов подпятника электродвигателя (уменьшение вероятностных событий на – 13,8%).

2. Из анализа графиков изменения вероятностей исходных событий $P(t)$ за 60 лет работы НА сделан вывод о том, что наиболее уменьшение вероятностных

событий (опасным) являются событий: износ вала насоса и останов из-за разрушения сегментов подпятника электродвигателя (уменьшение вероятностных событий на – 82,4 %).

Литература

1. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Ташкент: Фан, 2014, 367 с.
2. Андрейков В.А. Количественное определение надежности электроагрегатов. М.: ВНИИЭМ, 1966. 85 с.
3. Тоиров О.З., Халиков С.С. Исследование надежности крупных синхронных двигателей оросительных насосных агрегатов // Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”. Ташкент, 2022. № 1. С.46-52.
4. Тоиров О.З., Халиков С.С. Диагностические исследования технического состояния крупных насосных установок. // Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”. Ташкент, 2022. №3.С.52-61.
5. Тоиров О.З., Халиков С.С. Вопросы диагностики насосных агрегатов насосной станции машинного водоподъема. // Узбекский журнал “Проблемы информатики и энергетики”. Ташкент, 2022. №4. С.59-65.
6. Тоиров О.З., Халиков С.С. Вопросы диагностики технического состояния циркуляционных насосов энергетических объектов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2022. Специальный выпуск (№83). С. 219-222.
7. Тоиров О.З., Халиков С.С., Урмонов С.Р. Вопросы применения нейронной сети для вероятностного анализа безопасности синхронного двигателя насосного агрегата // Научно-технический журнал ФерПИ. 2022. Спец.выпуск №16. С. 79-82.
8. Toirov O.Z., Khalikov S.S. Analysis of the safety of pumping units of pumping stations of machine water lifting in the function of reliability indicators, E3S Web of Conferences 365, 04010 (2023) CONMECHYDRO-2022, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504010>
9. Toirov O.Z., Khalikov S.S. Diagnostics of pumping units of pumping station of machine water lifting, E3S Web of Conferences 365, 04013 (2023) CONMECHYDRO-2022, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504013>

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 621. 313:634.8

**ЭЛЕКТРОФИЗИК ТАЪСИРЛАР БИЛАН УЗУМ ҚАЛАМЧАСИНИ ЭЛЕКТР
АВЖЛАНТИРИШНИ НАЗАРИЙ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ****А.С. Бердишев, Н.М. Маркаев**

Мақолада узум новда қаламчасига электр ишлов беришда энергияни қаламчага киритишининг энергетик хусусиятлари икки муҳит (сув ва қаламча) ли тизимни ҳолатини ҳисобга олган ҳолда ўрганилган. Бунда узум қаламчалари томонидан ютиладиган энергия узум қаламчасининг электр ўтказувчанлиги (γ_1), узум қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси (X_1), электр ўтказувчи суюқликнинг ўтказувчанлиги (γ_2) ва электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрацияси (X_2) га боғлиқ эканлиги аниқланган ҳамда илмий асосланган. Натижада икки муҳитли тизим яъни узум новда қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси (X_1) ва электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрацияси (X_2) орасидаги муносабат ($X_1+X_2=1$) бирга тенглиги, қаламчалар диаметри 1,2-1,5 см оралигида, кўндаланг кесим юзаси (S) қиймати 113,04-176,625 мм² оралигида ўзгариши, қаламчанинг солиштирма электр қаршилиги электр авжлантириши даврида 106,73-164,85 Ом оралигида ўзгариши ҳамда ишчи камера ичига жойлаштириладиган электродлар орасидаги масофа (l), ишлов бериш кучланиши (U), электр токининг таъсир вақти (τ) ни ҳисобга олиш керак эканлиги аниқланди.

Калит сўзлар: электродлар, узум новда қаламчаси, электр авжлантириши, электромагнит майдони, ўтказувчанлик, солиштирма электр қаршилиги, ҳажмий концентрацияси.

В статье изучены энергетические свойства черенков при электрообработке стебля винограда с учетом состояния системы в двух средах (вода и черенки). Установлено, что энергия, поглощаемая стеблями винограда, зависит от электропроводности черенков (γ_1), объемной концентрации черенков (X_1), проводимости электропроводящей жидкости (γ_2) и объемной концентрации электропроводящей жидкости (X_2). В результате определено, что двухсредовая система, т. е. соотношение между объемной концентрацией черенков винограда (X_1) и объемной концентрацией электропроводящей жидкости (X_2) равно ($X_1+X_2=1$), диаметр черенков находится в пределах 1,2-1,5 см, величина поверхности поперечного сечения (S) изменяется в пределах 113,04 - 76,625 мм², удельное электрическое сопротивление черенка изменяется в пределах 106,73-164,85 Ом-м. Также при времени воздействия (τ) электрического тока необходимо учитывать расстояние между электродами, размещенными в рабочей камере (l), напряжение обработки (U).

Ключевые слова: электроды, виноградные черенки, электрический ток, электромагнитное поле, проводимость, удельное электрическое сопротивление, объемная концентрация.

The article studies the energy properties of energy input into cuttings during electrical processing of a grape stem, taking into account the state of the system in two media (water and cuttings). It has been established that the energy absorbed by grape stems depends on the electrical conductivity of the cuttings (γ_1), the volume concentration of the cuttings (X_1), the conductivity of the electrically conductive liquid (γ_2) and the volumetric concentration of the electrically conductive liquid (X_2). As a result, it was determined that the two-environment system, i.e. the ratio between the volume concentration of grape cuttings (X_1) and the volume concentration of the electrically conductive liquid (X_2) is ($X_1 + X_2 = 1$), the diameter of the cuttings is in the range of 1.2-1.5 cm, the value of the cross-sectional surface (S) varies within 113.04 -76.625 mm², the electrical resistivity of the handle varies within 106.73-164.85 Ohm-m, also with the exposure time (τ) of the electric current, it is necessary to take into account the distance between electrodes placed in the working chamber (l), processing voltage (U).

Key words: *electrodes, grape cuttings, electric current, electromagnetic field, conductivity, electrical resistivity, volumetric concentration.*

Бугунги кунда аҳолини сифатли озиқ овқат маҳсулотлари билан таъминлаш долзарб масалалардан бири ҳисобланади. Озиқ овқат маҳсулотлари ичида узум ва узум маҳсулотлари асосий ўринни эгаллайди ва Ўзбекистон Республикаси иқтисодиётида муҳим аҳамиятга эга тармоқлардан бири ҳисобланади. Дунё миқёсида узум ва узум маҳсулотларига бўлган талаб ортиб бораётганлиги сабабли янги узумчилик плантацияларини яратишга бўлган талабни қондиришда соғлом, тана, новда ва илдизларда ҳеч қандай зарарланишлари бўлмаган узум кўчатлари етиштиришда энергия тежамкор замонавий технологиялардан фойдаланишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Сўнгги йилларда кишлок хўжалигини ислоҳ қилиш ва соҳага бозор механизмларини жорий қилиш борасида изчил чора-тадбирлар амалга оширилмоқда.

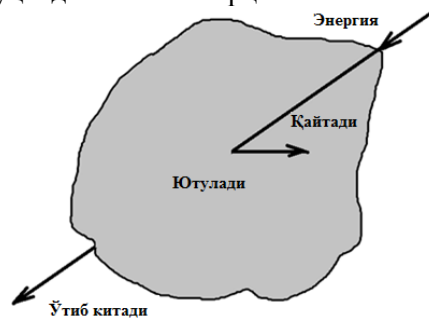
Узум ва узум маҳсулотларини етиштириш ва уни қайта ишлаш бўйича мамлакатимиз жаҳон миқёсида илғор ўринлардан бирини эгаллайди. Мамлакатимиз узумчилик соҳасида иқтисодий ислохотларни янада чуқурлаштириш, ишлаб чиқаришнинг янги қувватларини ишга тушириш ва мавжудларини модернизациялаш, чет эл инвестицияларини жалб қилиш учун қулай шароитлар яратиш, ишлаб чиқариш ҳажмлари ва турларини кенгайтиришга қаратилган таркибий ўзгаришлар амалга оширилмоқда.

Бугунги кунда узум кўчатларининг 85-90% вегетатив йўл билан қаламчасидан кўпайтирилмоқда. Бунда узум қаламчаларини тутувчанлигини ошириш энг муҳм масалалардан бири ҳисобланади. Тутувчанликни оширишга қаламчаларни экишдан олдин дастлабки ишлов бериб, илдиз ҳосил бўлиш даражасини тезлатиш, илдизлар сонини ошириш орқали эришилади ва бугунги кунда қаламчаларни экишдан олдин ишлов беришнинг турли усуллари мавжуд (механик, физиологик, кимёвий ва анъанавий). Ҳеч қандай ишлов берилмай ўтқазилган қаламчаларнинг бир қисми тутмаслиги, яна бир қисми дастлаб барг ва новда чиқариб кейин қуриб қолиши мумкин. Бунга сабаб, асосан илдизнинг ҳали яхши шаклланмаганлигидир.

Қаламчаларнинг дастлабки ўсиши уларда ўтган йил тўпланган озиқ моддалар ва намлик ҳисобига бўлади. Илдиз ҳосил бўлиш билан янги новдаларнинг ўсиши ўртасидаги мутаносиблик бузилса, яъни илдиз кечроқ шаклланса қаламча қуриydi.

Ҳозирги фаннинг ҳолати узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлишини тезлатишга қаратилган турли хил стимуляторлар, шу жумладан электромагнит майдон энергиясининг турли кўринишлари (электр майдони, электр токи, магнет майдони, электр разряди, электромагнит тўлқинлар, импульсли электромагнит майдони) нинг электрофизик таъсирлари ёрдамида бошқариш ва ўсимликлар ҳаётига фаол аралаштириш орқали уни тўғри йўналишга йўналтириш имкони мавжудлигини кўрсатмоқда.

Республикада узумчиликни ривожлантириш учун кўчат етиштиришнинг замонавий техника ва технологияларни амалиётга жорий қилиш орқали, етиштирилган кўчатларнинг таннархини камайтириш, сифат кўрсаткичларини ошириш ва кўчат етиштириш рентабеллигини оширишга қаратилган замонвий илмий тадқиқот ютуқлари билан бойитилган, кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 28 июлдаги ПҚ-5200-сонли қароридан, токзорлар учун сифатли кўчатлар етказиб бериш, уларни минерал ўғитлар билан таъминлаш, агрохизматлар кўрсатиш, маҳсулотни сотишни ташкил этишга кўмаклашиш каби бир қатор муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларини амалга ошириш учун, узум қаламчаларига экишдан олдин электрофизик таъсирлар билан ишлов бериш орқали, қаламчаларда илдиз ҳосил бўлишини тезлатиш, кўчатлар тутувчанлигини ошириш, узум қаламчаларидан вегетатив йўл билан кўчат етиштиришнинг янги технологиясини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Узум қаламчаларига экишдан олдин дастлабки электр ишлов бериш электромагнит майдон энергиясининг турли кўринишларини муҳитда ютилиши орқали амалга оширилади.

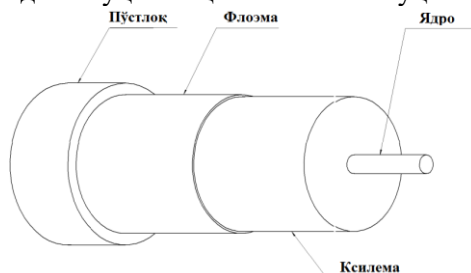


1-расм. Энергияни муҳитга таъсири

Электромагнит майдоннинг иссиқлик таъсиридан ташқари, унинг механик, кимёвий таъсирлари ҳам мавжуд ва биологик системаларга нисбатан маълум бир таъсирга эга. Биологик объектга (узум қаламчаси) электр таъсир кўрсатишда электр энергиясини ўзгартириб ёки бевосита “ноиссиқлик” таъсирларидан фойдаланиш мумкин.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Маълумки бирон бир муҳитга киритилган энергияни бир қисми ишлов берилмаётган жисм томонидан ютилади, бир қисми ўтиб кетади ва бир қисми қайтади (1-расмга қаранг). Электр ишлов беришда бажариладиган иш ютилган энергия ҳисобига бўлади. Шунинг учун ҳам технологик жараёнларга энергияни киритишда турли самарали усулларни қўллаш ва уларни тўғри танлаш муҳим босқичлардан бири ҳисобланади. Бунда қаламчаларни илдиз ҳосил бўлиш даражаси ва тутувчанлигини оширишда қаламчаларга экишдан олдин турли усуллар билан (механик, физиологик, кимёвий, анъанавий, электрофизик ва хоказолар) дастлабки ишлов берилади [2]. Бунда самарали усуллардан бири бу электрофизик (электр майдон, магнит майдон, электр токи, импульсли электромагнит майдон ва хоказолар) усуллар ҳисобланади [3,4,5,6]. Узум новда қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов беришда қаламча ва ишлов бериш жараёнидаги муҳитни ҳисобга олиш муҳим ҳисобланади [7].



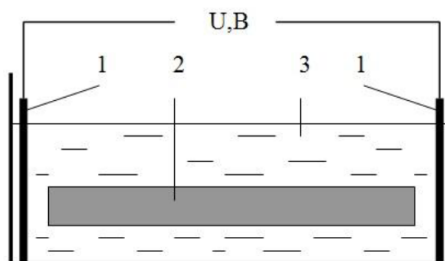
2-расм. Узум новда қаламчаси поясини тузулиши

Қаламча тўқималарига таъсир қиладиган кучланиш кучайиши билан қаршиликни қўлланиладиган частотага боғлиқлиги чизиқли ҳолатга яқинлашади. Қаламча қатламлари флоэма ва ксилеманинг қаршилиги бир хил, лекин ядро қаршилиги улардан фарқ қилади [6,7,11]. Ўсимликлар дунёсига мансуб қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари ва ёғочлашган дарахт новда қаламчаларига электрофизик таъсирларни ўрганиш ва кўчатларини етиштириш технологиясини такомиллаштириш бўйича, П.П.Радчевский, А.Г.Кудряков, В.А.Петрухин ва бошқа бирқанча олимлар илмий тадқиқотлар олиб борган бўлиб ижобий натижаларга эришилган [8,9]. Узум қаламчаларини экишдан олдин электр таъсир кўрсатишда уларнинг алоҳида қисмларини электр занжирининг элементлари сифатида тасвирлаш мумкин [10]. Узум қаламчаси ва ўсимликлар дунёсига мансуб қишлоқ хўжалиги маҳсулотларининг яъни ўсимлик элементларнинг характеристикаси ишлов берилмайдиган қаламчани электр манбаига улаш усуллари ва унинг тузилиши билан белгиланади. Кудряков А.Г аниқлашчи, узум қаламчаларига экишдан олдин электр токи билан дастлабки ишлов беришда энг тўғри усул суюқ электр ўтказувчи эритма орқали узум қаламчасининг кесилган жойларига электр энергиясини этказиб беришдир [5].

Бу борада, жумладан узум кўчати тайёрланадиган қаламчаларга инфрақизил, электромагнит нурлар ва электр токи билан ишлов бериб уларнинг ривожланишини авжлантириш, вегетатив ривожланишини бирхиллаштириш ва сифатини ошириш ҳамда энергия ва ресурсларни тежаш имконини яратадиган усул ва воситаларни

ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда [11,12]. Узум қаламчаларининг намлиги ГОСТ 28181-89 га асосан 46% дан кам бўлмаслиги шартлиги кўрсатилган. ГОСТ 28181-89 талабига кўра узум қаламчаларининг намлиги экиш даврида қанча юқори бўлса унинг тутувчанлиги шунча йўқори бўлади. Бугунги кунда узум қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш усуллари орқали ишлов бериш даврида унинг намлиги камайиб кетади. Шу жиҳатдан олиб қаралганда узум қаламчаларига электр ишлов бериш орқали улардаги биофизик жараёнларни тезлаштиришни таъминлайдигин ҳамда узум новда қаламчасининг намлигини 46% дан камайтирмаган ҳолда электр авжлантириш усулини илмий асослаш ва жараённи технологик параметрларини асослаш долзарб масалалардан биридир.

Бугунги кунда етиштирилаётган сифатли узум кўчатлариникирийиб 90% асосан вегетатив усуллар билан етиштирилмоқда. Бунда узум новда қаламчалари тутувчанлиги ўртача ҳисобда 65-80 % ни ташкел қилиб, экилган қаламчаларнинг 20-25 % кўқармасдан қолиб кетади [13]. Узум новда қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш орқали қаламчаларни электр авжлантириш орқали тутувчанлик даражасини ошириш мумкун эканлигини бугунги кундаги илм фан исботламоқда. Бунда узум новда қаламчаларига энергияни киритиш усуллари излаб топиш ва уни муҳитга самарали киритиш йўллари аниқлаш ҳамда таъсир қилувчи параметрларни илмий асослаш муҳим масалалардан бири бўлиб қолмоқда. [14,15]. Узум новда қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш муҳитга киритиладиган энергия миқдори ва тасир қилиш вақди катта аҳамиятга эга бўлиб уни аниқ қийматларини аниқлаш тадқиқот самарадорлигини характерлайди [16,17,18,19]. Юқоридаги маълумотлардан келиб чиқиб узум қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш орқали қаламчаларни электр авжлантиришда тасир қилувчи фактор сифатида ишлов бериш кучланиш (U), ишлов бериш вақти (t), электродлар орасидаги масофа (l), қаламча кундаланг кесм юзаси (S) ва қаламча солиштирма электр қаршилиги (p) ни ўрганиш ҳамда қийматларини аниқлаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.



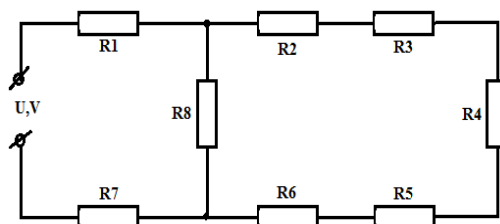
3-расм. Узум новда қаламчаларини электр энергияси билан таъминлаш схемаси

Узум новда қаламчаларини электр авжлантиришда қаламчаларга киритиладиган фойдали энергияни етказиб беришда энг самарали усуллардан бири электр ўтказувчи суюқлик орқали амалга оширишдир. Бу технологик жараёнда яъни узум новда қаламчаларини экишдан олдин ўзгарувчан электр токи билан ишлов

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

беришда иккита компонентли восита қайта ишланади. Электр ўтказувчи суюқлик (сув) ва узум новда қаламчалари [20].

Бу расмда 1-электрод, 2-узум новда қаламчаси, 3-электр токини ўтказадиган суюқлик (сув). Бунда узум қаламчаларини электр энергияси билан таъминлаш схемасидан келиб чиққан ҳолда, 4-расмда тасвирланган электр алмаштириш схемасини ҳосил қилиш мумкин бўлади. Эквивалент алмаштириш схемасини тузишда қаршилиқларни кетма-кет ва параллел ҳолатда тасвирлаш орқали амалга оширилади. 4-расмда узум қаламчаларига электр ишлов беришнинг алмаштириш схемаси килтирилган.



4-расм. Узум қаламчаларига электр ишлов беришнинг алмаштириш схемаси

Бу расмда P_1, P_7 – электрод ва сув ўртасидаги қаршилиқлар; P_2, P_6 - электрод ва узум қаламчаси орасидаги сувнинг қаршилиғи; P_3, P_5 – узум қаламчаси ва сув орасидаги қаршилиқ; P_4 – узум қаламчаси қаршилиғи; P_8 – электр токи ўтказувчи сувнинг қаршилиғи. Биз таклиф қилаётган усул бу узум қаламчаларини электр ўтказувчи суюқликга солинганда вақт ўтиши билан унинг намлиги ошади ва шунга асосан ундан ўтаётган электр токи вақт давомида ўзгарибборади [5]. Бу технологик жараёнда қаламчалар томонидан ютиладиган энергия фойдали иш бажаради. Суюқлик томонидан ютилган энергия сувни қиздиришга сарфланади ва исроф бўлади. Қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш даражасини электр авулантиришда максимал самарадорликка эришиш учун сув ва қаламчаларни ҳажмли оптимал нисбатларини аниқлашни талаб қилади.

А.Г.Кудряков қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш даражасини электр авулантиришда икки компонентли (сув ва қаламча) тизимнинг электр ўтказувчанлиги орасидаги ўзаро боғлиқликни аниқлашда қуйидаги формуладан топилишини таклиф қилган:

$$\gamma = \gamma_1 \cdot X_1 + \gamma_2 \cdot X_2; \quad (1)$$

бунда: γ_1 -узум қаламчасининг электр ўтказувчанлиги; X_1 -узум қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси; γ_2 -электр ўтказувчи суюқликнинг ўтказувчанлиги; X_2 - электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрацияси;

Икки компонентли тизим узум қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси ва электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрациясида қуйидаги гипотезани илгари суриш мумкин:

$$X_1 + X_2 = 1$$

Бу назарда тутади:

$$\sum_{i=1}^2 (\gamma_i - \gamma_{муз}) \cdot X_i \approx 0. \quad (2)$$

бунда: γ_i - тизимнинг и компонентининг электр ўтказувчанлиги; $\gamma_{муз}$ - тизимнинг электр ўтказувчанлиги; X_i - тизимни и компонентининг ҳажимли концентрацияси;

Технологик жараёнда (2) формуладаги X_i тизимни i компонентининг ҳажимли концентрациясини $X_i^{му}$ тизимни i компонентининг самарали ҳажм концентрациясидан кичик ёки тенг деб қараш мумкин деб бўлади:

$$X_i^{му} \leq X_i \quad (3)$$

бунда: $X_i^{му}$ - тизимни и компонентининг самарали ҳажим концентрацияси;

Демак бу ҳолат учун формула (3) қуюдаги кўринишга келади:

$$\sum_{i=1}^2 (\gamma_i - \gamma_{муз}) \cdot X_i^{му} = 0 \quad (4)$$

бунда: $X_i^{му}$ - тизимни i компонентининг самарали ҳажм концентрациясини нимага тенглиги аниқланади:

$$X_i^{му} = \frac{X_i}{f\left(\frac{\gamma_i}{\gamma_{муз}}\right)} \quad (5)$$

бунда: $f(y) \geq 1$ ва $\lim_{y \rightarrow 0} f(y) = 1$

$f(y)$ функцияни қатор сифатида ифодаланади:

$$\sum_{i=1}^2 (\gamma_i - \gamma_{муз}) \frac{X_i}{1 + d_i \frac{\gamma_i}{\gamma_{муз}}} = 0 \quad (6)$$

Бу ҳолат учун тенгламанинг ечими ($i=2$) кўринишга эга бўлади:

$$\gamma_{муз} = A(X_i, \gamma_i, d_i) + \sqrt{A^2(X_i, \gamma_i, d_i) + \gamma_1 \cdot \gamma_2 (d_i \cdot X_2 + d_i \cdot X_1)} \quad (7)$$

$$A = (X_i, \gamma_i, d_i) = \frac{\gamma_1 (X_1 - d_i \cdot X_2) + \gamma_2 (X_2 - d_i \cdot X_1)}{2} \quad (8)$$

бунда: $d_i = \frac{1}{2}$ деб қабул қилинди

Шунда $\gamma_{муз}$ тизимнинг тўла электр ўтказувчанлигини қуйидагича ёзиш мумкин бўлади:

$$\gamma_{муз} = \frac{(3X_1 - 1) \cdot \gamma_1 + (3X_2 - 1) \cdot \gamma_2}{4} + \sqrt{\frac{[(3X_1 - 1) \cdot \gamma_1 + (3X_2 - 1) \cdot \gamma_2]^2}{16} + \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{2}} \quad (9)$$

ёки бошқа шаклда:

$$\gamma_{\text{миз}} = \frac{(3X_1 - 1) \cdot \gamma_1 + (2 - 3X_1) \cdot \gamma_2}{4} + \sqrt{\frac{[(3X_1 - 1) \cdot \gamma_1 + (2 - 3X_1) \cdot \gamma_2]^2}{16} + \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{2}} \quad (10)$$

Узум новда қаламчасини экишдан олдин ўзгарувчан электр токи билан ишлов бериш технологиясида қаламчаларга киритиладиган фойдали энергияни етказиб беришда иккинчи компонент яъни сувдан фойдаланилади. Бунда жараёнда фойдаланиладиган умумий энергиянинг бир қисми юқори сув концентрациясида ютилади ва уни қизитишга сарфланади. Узум кўчат етиштиришнинг самарадор электротехнологияси (узум новда қаламчаларига экишдан олдин ўзгарувчан электр токи ёрдамида дастлабки ишлов бериш) ни характерлаш учун икки компонентли тизимда ютилаётган энергияларни аниқлаш ва жараёни оптималлаштириш керак.

Турчанин О. С., Коваленко Ё. А., Титаревский А. Л., Шебетеев В. А ва Сбитнева Н. И тадқиқотларида икки компонентли (сув ва қаламча) тизимда ютилаётган умумий $W_{\text{ум}}$ энергия сарфини ҳисоблашда Джоул-Ленц формуласидан фойдаланиб энергия тавсифлаган:

$$W_{\text{ум}} = \gamma_{\text{миз}} \cdot U^2 \quad (11)$$

Демак энергиянинг сақланиш қонунига асосан иккинчи компонентли тизимга асосланган технологияда узум новда қаламчалари томонидан ютиладиган W_1 фойдали энергияни қуйидагича ифодалаш мумкин бўлади.

$$W_1 = W_0 - W_2 \quad (12)$$

бунда: W_1 - узум новда қаламчалари томонидан ютиладиган фойдали энергия;

W_2 - сувни электр иситиш учун сарфланадиган энергия.

В.А.Петрухин тадқиқотларида мевали дарахтлар қаламчаларига электр ишлов беришда (13) ифодани аниқлаган, яъни мевали дарахт қаламчаларига электр ишлов беришда тутувчанлик даражасини ($S_{\text{мум}}$) қуйидагича тавсифлаган.

$$S_{\text{мум}} = 1 - \left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha(w-w_0)} - \frac{\gamma}{\alpha} \quad (13)$$

бунда: S_0 – бошланғич тутувчанлик, %; $\gamma = \beta/R_n$ – белгилаш киритилган; β – пропорционлик коэффициент, Ω / J . R_n -жорий қаршилик, Ω ; R_n – бошланғич қаршилик, Ω ; α – пропорционлик коэффициент, $1/J$.

Буз узум новда қаламчаларини электр авжлантиришга сарфланаётган қувватни қуйидагича ёзиш мумкун бўлади:

$$P_1 = I \cdot U \cdot \cos\varphi = U \cdot I \cdot \frac{g}{y} = U \cdot I \cdot Z \cdot g = g \cdot U^2 = \frac{1}{R_k} \cdot U^2 \quad (14)$$

бунда: g_a – актив ўтказувчанлик, S; y - тўла ўтказувчанлик, S; Z - тўла қаршилик, Ω ;

Узум новда қаламчаларини электр авжлантиришда қаламча томонидан ютиладиган фойдали энергия ($W_{\text{қал.фой}}$) ни қуйидагича ифодаланади:

$$W_1 = P_1 \cdot \tau = \frac{\tau}{R} \cdot U^2 = U^2 \frac{\tau}{R} = U^2 \frac{\tau}{\rho_k \frac{l}{S}} \quad (15)$$

бунда: τ - узум новда қаламчасига электр ишлов бериш вақти, соат;
 l – узум новда қаламчасининг узунлиги, см; S – қаламчанинг кўндаланг кесим юзаси, мм²; ρ_q - узум новда қаламчасининг солиштирма қаршилиги, Ом·м.

Сувни электр иситиш учун сарфланадиган энергияни текис параллель электрод системаси учун Джоул-Ленц формуласидан фойдаланилади:

$$W_2 = P_2 \cdot \tau = U^2 \frac{\tau}{R_s} = U^2 \frac{\tau}{\frac{\rho_s l}{S}} = U^2 \frac{\tau}{(\epsilon \cdot h)} \quad (16)$$

бунда: ρ_q - сувнинг солиштирма қаршилиги, Ом·м;

l – текис параллель электрод системаси орасидаги масофа, м; v, h - электрод системасининг геометрик ўлчамлари, см.

(11) ва (16) ифодани (13) ифодага қўйиб, қуйидагига эга бўлдик:

$$S_{mym} = 1 - \left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha \left(\gamma_{mcs} \cdot U^2 - U^2 \frac{\tau}{\frac{\rho_s l}{(\epsilon \cdot h)}} \right)} - \frac{\gamma}{\alpha} \quad (17)$$

Тасвирланган (17) ифодани соддалаштирадиган бўлсак (18) назарий ифода эга бўлдик:

$$S_{mym} = 1 - \left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha \left(U^2 \frac{\tau}{\rho_q \frac{l}{S}} \right)} - \frac{\gamma}{\alpha} \quad (18)$$

Узум новда қаламчаларини геометрик ўлчамларини ўрганиш шуни кўрсатдики, ГОСТ 1191-2009 (O'zDSt 1191:2009) ва ГОСТ 28181-89 бўйича қаламчалар диаметри 1,2-1,5 см бўлиши белгиланган. Бунда қаламчанинг кўндаланг кесим юзаси (S) қиймати 113,04-176,62 мм² ораликда, солиштирма қаршили (ρ) ги эса 106,73-164,85 Ом·м ораликда ўзгариши аниқланди. Ушбу ифодадан кўринадики, узум новда қаламчаларининг тутувчанлик даражаси ишлов бериш кучланиши (U), ишлов бериш вақти (τ), электродлар орасидаги масофа (l) га боғлиқлигини кўрсатади. Тадқиқотлар натижалари асосида шакиллантирилган (18) назарий ифода узум новда қаламчаларига экишдан олдин ўзгарувчан электр токи билан ишлов беришнинг самарадорлигини характерлайди. Олиб борилган тадқиқотлар натижасида «Кишмиш черный» навли узум новда қаламчаларини экишдан олдин ўзгарувчан электр токи билан дастлабки ишлов беришда таъсир қилувчи факторлар сифатида ишлов бериш кучланиши (U), ишлов бериш вақти (τ) ва электродлар орасидаги масофа (l) ни олиш ҳамда шу факторларни ўзгартирган ҳолда тадқиқотлар олиб борилса қаламчалар тутувчанлигини оширишга имкон яратади

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Хулоса. 1. Узум қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш орқали уни электр авжлантириш мумкун. Натижада узум новда қаламчаларга электр ишлов беришда қаламча намлигини ҳисобга олиш ва ГОСТ 28181-89 га асосан 46% дан кам бўлмаслиги шарт эканлиги аниқланди.

2. Узум қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов беришда геометрик ўлчамларини ҳисобга олиш муҳим параметрлардан бири ҳисобланади. Натижада ГОСТ 1191-2009 (O'zDSt 1191:2009) ва ГОСТ 28181-89 бўйича ҳамда тажрибалар натижалари асосида қаламчалар диаметри 1,2-1,5 см оралиғида, кўндаланг кесим юзаси (S) қиймати 113,04-176,625 мм² оралиқда бўлиши аниқланди.

3. Узум новда қаламчаларда илдиз ҳосил бўлиш даражасини электр авжлантиришда икки муҳитли (сув ва қаламча) тизимнинг электр ўтказувчанлиги орасидаги ўзаро боғлиқлиги ўрганилди. Натижада узум қаламчалари томонидан ютиладиган энергия узум қаламчасининг электр ўтказувчанлиги (γ_1), узум қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси (X_1), электр ўтказувчи суюқликнинг ўтказувчанлиги (γ_2) ва электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрацияси (X_2) га боғлиқ эканлиги аниқлаш имкони яратилди.

4. Икки муҳитли (сув ва қаламча) тизимнинг ҳажмий концентратсиялари ва уларнинг ҳолати мавжуд адабиётлар таҳлили, тажриба натижалари ва назарий жиҳатдан таҳлил қилинди. Натижада икки муҳитли тизим яъни узум новда қаламчаларининг ҳажмий концентрацияси (X_1) ва электр ўтказувчи суюқликнинг ҳажмий концентрацияси (X_2) орасидаги муносабат ($X_1+X_2=1$) бирга тенглиги аниқланди.

5. Узум қаламчаларига экишдан олдин дастлабки ишлов беришда қаламчани солиштирма электр қаршилиги электр ишлов беришни натижадорлигини характерлайдиган параметр сифатида қаралди. Натижада узум новда қаламчасининг солиштирма электр қаршили электр авжлантириш даврида 106,73-164,85 Ом-м оралиқда ўзгариши аниқланди.

6. Узум новда қаламчаларига экишдан олдин электр ишлов бериш қаламчалар тутувчанлик даражасини оширади. Бунда ишлов бериладиган муҳитга киритиладиган энергия турли факторларга боғлиқ бўлиши ва унинг қийматлари амалий ҳамда назарий жиҳатдан ўрганилди. Натижада узум новда қаламчаларига экишдан олдин дастлабки электр ишлов беришда ишчи камера ичига жойлаштириладиган электродлар орасидаги масофа (l), ишлов бериш кучланиши (U), электр токининг таъсир вақти (τ) ни ҳисобга олиш керак эканлиги аниқланди.

Адабиёт

1. “Узумчиликни ривожлантиришда кластер тизимини жорий этиш, соҳага илғор технологияларни жалб қилишни давлат томонидан қўллаб-қувватлашнинг қўшимча чора-тадбирлари тўғрисида” ПҚ-5200- сонли Президент Қарори - Тошкент, 2021 йил 8 июль.

2. Султонов К.С. Узумнинг юқори сифатли сертификатланган кўчатларини ишлаб чиқариш тизимининг илмий асослари. Автореферат. Диссертация кишлоқ хўжалиги фанлари доктори. – Тошкент шаҳар, 2018. – 222 б.
3. Лыков А. С., Щebetев В. А., Скворцов В. А. Энергетические показатели установки электростимуляции черенков винограда // Technical science “Colloquium-journal” 3(27). 2019 год, 37-40 с.
4. Малтабар Л.М. Еще раз о системе и суперинтенсивной технологии производства сертифицированного посадочного материала. / Питомниководство винограда. Краснодар, 2004. – С.8-16.
5. Кудряков А.Г. Стимуляция корнеобразования черенков винограда электрическим полем: Автореферат. / Диссертация канд.техн.наук. Краснодар, 1999. - 23 с.
6. Кудряков А.Г., Перекомий Г.П., Радчевский П.П., Лыков А.С., Безлер С.Ю. Повышение способности корнеобразования виноградных черенков с помощью электрического тока. Краснодар, 1999, 23 с.
7. Маркаев Н.М., Холикназаров Ё., Юсупов Ш. Электромагнит майдон энергиясидан электротехнологик мақсадларда фойдаланиш имкониятлари // Ўзбекистон Кишлоқ ва сув хўжалиги журнали Махсус сони 2019. 2019 йил 11 ноябрь. – Б 50-51.
8. Погосян К.С., Бабаханян М.А. Выращивание саженцев винограда на гидропонике // Виноделие и виноградарство. – Москва, 2001. – №2.– 29 с.
9. Лучинкин А.А. О стимулирующем действии электрического тока на виноградные прививки / Науч. Тр. УСХА. Киев, 1980. Вып. 247. - С 124.
10. Перекотий Г. П., Кудряков А. Г., Винников А. В. Стимулирующее действие электрического тока на корнеобразование посадочного материала винограда / Труды Кубанского государственного аграрного университета, № 346, 1996. – С. 153.
11. Радчевский П.П., Черкунов В.С., Трошин Л.П. Применение биологически активного вещества «Радикс» при выращивании виноградного посадочного материала //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №60(06). - С. 358 – 378.
12. Радчевский П.П., Трошин Л.П. Регенерационные свойства виноградных черенков под влиянием обработки их гетероауксином в зависимости от сортовых особенностей /Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №03(077). - С.1194–1223.
13. Абдураманова С.Х. Ток қаламчаларини тайёрлаш ва кўчатини кўпайтириш усуллари // “Ўзбекистонда озик-овқат хавфсизлигини таъминлашда мева-сабзавот ҳамда узумчилик соҳасининг роли ва аҳамияти” мавзусида Халқаро илмий-амалий анжуман конференцияси тўплами.-Тошкент, 2017 йил. –б. 123-125.
14. Бердишев А.С., Матчонов О.Г., Маркаев Н.М. Использование электрофизических методов для ускорения роста корней винограда // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN: 2350-0328 Vol. 8, Issue.– Индия, 2021. – С. 18510-18514.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

15. Маркаев Н.М. Электрофизик усулларнинг узум қаламчаларида илдиз ҳосил бўлиш жараёнларга таъсири // “Irrigatsiya va melioratsiya” жўрнали №4(26).- Тошкент, 2021. –б. 51-56.

16. Маркаев Н.М., Юсупов Ш., Б.Хушбоқов, Раҳмонов Ш. Узум кўчатларини илдиз отиш жараёнини авжлантиришда электротехнологик усуллардан фойдаланиш // Агро Илм журнали Махсус сони [70], 2020. 2020 йил 23 ноябрь. – Б. 41-42.

17. Байзаков Т., Маркаев Н., Юсупов Ш. Изучение воздействия энергии электромагнитного поля на соответствующие виды растительного мира и обоснование возможности применения их в технологических целях // Ўзбекгидроэнергетика журнали III (7) 7.10.2020.

18. Berdishev A S., Markaev NM., Hasanov J. Effects of electrophysical processing on the development of vine root roots. E3S Web of Conferences 264, 04090 (2021). CONMECHYDRO 2021

19. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – Москва: Машиностроение, 1977. – 328 с.

20. Турчанин О. С., Коваленко Ю. А., Титаревский А. Л., Щебетеев В. А., Сбитнева Н. И. Расчет соотношения между объемами токоподводящей жидкости и виноградных черенков при электростимуляции. «Colloquium-journal» #7(31),2019 / TECHNICAL SCIENCE. 2019. – С. 25-27.

21. Турчанин О.С., Щебетеев В.А., Кузьменко М.Э., Ошатицкий А.В., Вельмисев В.С., Власенко Е.В. Воздействие на виноградные черенки постоянного и переменного напряжений // «Colloquium-journal»#2(54),2020. - С. 177-180.

*“Тошкент ирригация ва қишлоқ хужалигини механизациялаш
муҳандислари институти” Миллий тадқиқот
университети томонидан тақдим этилган*

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ TCSC ДЛЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**Т.Ф. Махмудов**

Дунёда электр энергиясига бўлган талабнинг юқори ўсиши суръатлари туфайли электр тизимларининг турғунлик чегараларини аниқлашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу муносабат билан электр энергетика тизимларининг турғунлиги ва динамик хусусиятларини, жумладан, интеллектуал тизимлар асосида замонавий бошқарув усулларини қўллаш орқали оширишга қаратилган тадқиқотларга алоҳида эътибор қаратилмоқда. ХВДС ва ФАСТС узатиш технологияларини қўллаш энергетика тизимига янги бошқариш усулларини қўшиди, электр тармоқларининг узатиш қобилиятини оширди ва мониторинг имкониятларини яхшилади. Энергетика тизими стабилизаторлари ПСС (power system stabilizers) анъанавий равишда 0,2-1,5 Гц частота диапазонида электромеханик паст частотали тебранишларни сўндириш учун қўлланилади. Ушбу ишда тебранишлар демпфери сифатида ТССС (thyristor-controlled series capacitors) қурилмаларини бошқариш тизимларидан фойдаланиш таклиф этилади. Ишлаб чиқилган ПОД (power oscillation damper) ростлагич модели учун иккита энергетика тизимининг ўзаро юклама бурчагининг огишини минималлаштириш учун унинг параметрларини оптималлаштириш тартиби амалга оширилди ва параметрик оптималлаштириш алгоритми келтирилган. Рақамли моделдаги симулятсия натижалари энергетика тизимларида паст частотали тебранишларни бостириш учун ТССС ростлагичларидан фойдаланиш имкониятини тасдиқлайди.

Калим сўзлар: *электр энергетика тизими; тебранишларни демпферлаш; кетма-кет компенсацияловчи қурилма; POD-ростлагич, параметрик оптималлаштириш.*

В мире особое внимание уделяется определению запасов устойчивости электрических систем в связи с высокими темпами роста спроса на электроэнергию. В этом отношении особое внимание уделяется исследованиям, направленным на повышение устойчивости и динамических свойств электроэнергетических систем, в том числе за счет использования современных методов управления на основе интеллектуальных систем. Применение технологий передачи HVDC и FACTS добавили новые методы управления в энергосистеме, увеличили пропускную способность электрических сетей и улучшили возможности мониторинга. Стабилизаторы энергосистем PSS (power system stabilizers) традиционно применяются для гашения электромеханических низкочастотных колебаний в диапазоне частот 0,2–1,5 Гц. В этой работе предложено использование систем управления устройств последовательной компенсации TCSC (thyristor-controlled series capacitors) в качестве демпфера колебаний. Для составленной

модели POD (power oscillation damper) регулятора была произведена процедура оптимизации его параметров с целью минимизации отклонения взаимного угла нагрузки двух энергосистем, приведен алгоритм параметрической оптимизации. Результаты моделирования на цифровой модели подтверждают возможность использования регуляторов TCSC для подавления низкочастотных колебаний в энергосистемах.

Ключевые слова: электроэнергетическая система; демпфирование колебаний; устройство последовательной компенсации; POD-контроллер, параметрическая оптимизация.

Worldwide, special attention is being given to determining the stability of electrical systems in response to the rapid growth of electricity demand. In this regard, special attention is paid to research aimed at improving the stability and dynamic properties of electric power systems, including through the use of modern management techniques based on intelligent systems. The application of HVDC and FACTS technologies has added new control methods to the power system, increased the transmission capacity of electrical networks and improved monitoring capabilities. PSS system stabilizers (power system stabilizers) are traditionally used to suppress electromechanical low-frequency oscillations in the frequency range 0.2-1.5 Hz. In this work it is proposed to use control systems of TCSC sequential compensation devices (thyristor-controlled series capacitors) as a oscillation damper. The procedure of optimization of its parameters in order to minimize the deviation of the mutual load angle of two power systems, parametric optimization algorithm has been made for the compiled model of POD (power oscillation damper) controller. The results of the simulation on the digital model confirm the possibility of using TCSC regulators to suppress low-frequency oscillations in power systems.

Keywords: electric power system; oscillations damping; sequential compensation device; POD controller, parametric optimization.

Введение. Последовательная компенсация реактивной мощности успешно используется в течении многих лет в электрических сетях. С применением последовательной компенсацией возможно увеличить пропускную способность существующей электропередачи с меньшими инвестиционными затратами и за более короткий срок по сравнению со строительством новой линии.

Схемы управляемых устройств последовательной компенсации TCSC включают управляемые реакторы, включенные параллельно с секциями конденсаторных батарей. Эта комбинация позволяет осуществлять плавное регулирование емкостного сопротивления в достаточно широком диапазоне [1].

Управляемые устройства продольной компенсации TCSC обладают некоторыми основными преимуществами по сравнению со своими шунтирующими аналогами. При использовании последовательных конденсаторов реактивная мощность увеличивается как квадрат линейного тока, тогда как при шунтирующих конденсаторах реактивная мощность генерируется пропорционально квадрату напряжения на шине. Для достижения тех же системных преимуществ, что и у

последовательных конденсаторов, необходимо использовать шунтирующие конденсаторы, номинальная реактивная мощность которых в три-шесть раз больше, чем у последовательных конденсаторов [2].

Использование тиристорного управления в устройствах последовательной компенсации потенциально дает следующие преимущества [3-5]:

1. Непрерывный контроль уровня последовательной компенсации линии передачи.

2. Динамическое управление потоком мощности в выбранных линиях передачи в сети для обеспечения оптимальных условий перетока мощности.

3. Демпфирование качаний мощности от локальных и межсистемных колебаний.

4. Повышенный уровень защиты последовательных конденсаторов. Быстрое шунтирование последовательных конденсаторов может быть достигнуто за счет тиристорного управления, когда на конденсаторах возникают большие перенапряжения в послеаварийных режимах. Точно так же конденсаторы можно быстро повторно включить с помощью тиристоров после устранения неисправности.

5. Поддержание уровня напряжений. Устройства TCSC в сочетании с последовательными конденсаторами могут генерировать реактивную мощность, тем самым помогая регулировать уровень напряжения в локальной сети.

6. Снижение тока короткого замыкания. Во время прохождения токов короткого замыкания TCSC могут переключаться из режима регулируемой емкости в режим регулируемой индуктивности, тем самым ограничивая токи короткого замыкания.

Принцип работы TCSC. Рассмотрим работу TCSC путем анализа схемы с переменной индуктивностью L , управляемой тиристорами T_1 и T_2 , подключенной параллельно с фиксированным конденсатором C , как показано на рис. 1. Традиционно тиристорные преобразователи описываются с использованием угла зажигания/срабатывания α в качестве управляющей переменной [6-7].

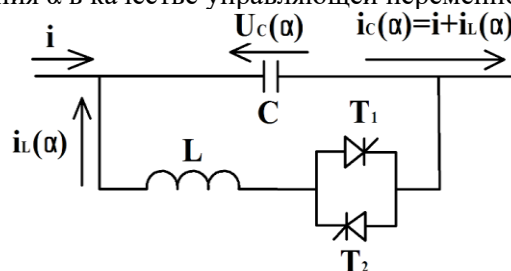


Рис. 1. Функциональная схема устройства TCSC

Эквивалентный импеданс Z_{eq} этой LC цепи выражается как:

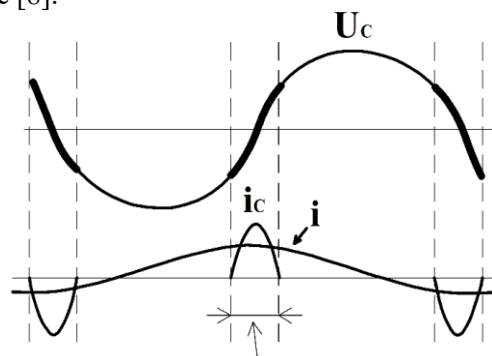
$$Z_{eq}(\alpha) = \frac{X_C \cdot X_L(\alpha)}{X_L(\alpha) - X_C} = -j \frac{1}{\omega C - \frac{1}{\omega L}}. \quad (1)$$

Здесь сопротивление конденсатора определяется как $-j(1/\omega C)$. Если $\omega C - (1/\omega L) > 0$, то в цепь станет носить емкостной характер.

Если $\omega C - (1/\omega L) = 0$, то возникает явление резонанса напряжений, которое приводит к бесконечному эквивалентному емкостному реактивному сопротивлению, и следственно к значительным перенапряжениям.

Если же $\omega C - (1/\omega L) < 0$, то в цепи начинает преобладать реактивное сопротивление переменной индуктивности. Эта ситуация соответствует индуктивному режиму работы TCSC.

На рис. 2 приведены формы сигналов, связанные с TCSC при работе в установившемся режиме [8].



Интервал включения тиристоров
Рис. 2. Работа TCSC в установившемся режиме

В TCSC вся конденсаторная батарея или ее часть снабжена параллельными тиристорами, которые передают токовые импульсы, затем они суммируются по фазе с линейным током для повышения напряжения. Каждый тиристор срабатывает один раз за цикл и имеет интервал проводимости, который короче половины цикла номинальной частоты сети [9].

Демпфирование колебаний мощности. Передача мощности P по линии с последовательной компенсацией определяется выражением [10-11]:

$$P(t) = \frac{U_1 \cdot U_2 \sin \delta}{X_L - X_C(t)}. \quad (2)$$

Колебания активной мощности в системах электропередачи могут возникать в линиях связи между генерирующими объектами в результате плохого демпфирования межсистемных соединений, особенно во время передачи большой мощности. Такие колебания могут быть вызваны рядом причин, например, отключением линии, переключением линий или внезапным изменением выходной мощности генератора [12].

В регуляторе демпфирования колебаний мощности POD (Power-Oscillation Damping) входными сигналами являются локальные сигналы в виде активной мощности и напряжения на линии в месте подключения, как это показано на рис. 3. Выходным сигналом POD-регулятора является сигнал степени компенсации [13-15].

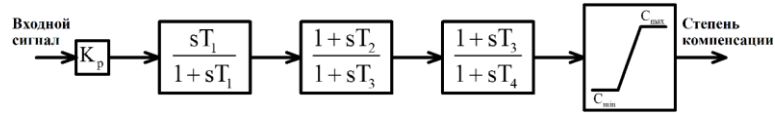


Рис. 3. Структурная схема POD-контроллера

Контроллер POD состоит из усилительного звена K_p , передаточной функции с постоянной времени T_1 , предназначенной для выделения из сигнала активной мощности переменной составляющей, определяющей локальные колебания, а также фильтров с постоянными времени T_2 - T_4 . Таким образом, контроллер POD генерирует сигнал, пропорциональный колебательной составляющей потока мощности, которая соответствующим образом сдвинута по фазе [16].

Чтобы действие динамического управления POD не превышало регулируемый диапазон TCSC, фильтры снабжены ограничителями компенсационных сигналов C_{\min} и C_{\max} . Предел C_{\max} соответствует максимально допустимому напряжению на TCSC, а C_{\min} максимальному импедансу линии электропередачи (индуктивный режим) [17].

Результаты. Рассмотрим влияние устройства TCSC с тиристорным управлением, выполняющего роль демпфера колебаний мощности на примере электроэнергетической системы (ЭЭС), представленной на рис. 4.

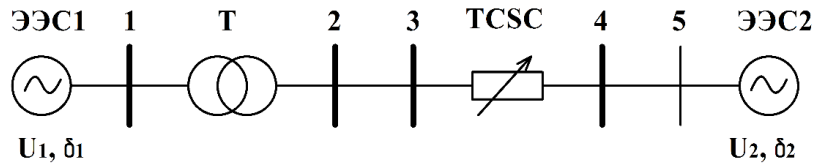


Рис. 4. Схема ЭЭС с устройством последовательной компенсации

Здесь, в качестве передающей системы принята первая энергосистема, а вторая энергосистема является приемной. В линию электропередачи включено последовательно устройство TCSC.

С целью получения переходных характеристик будем моделировать внешнее возмущение, выраженное в увеличении перетока мощности в сторону второй энергосистемы, и затем определим набор коэффициентов регулятора TCSC, минимизирующего отклонение фазового угла $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ между двумя ЭЭС.

Исходные и оптимизированные значения параметров POD-регулятора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров POD-регулятора

Значение	Параметр				
	K_p	$T_1=T_3$	$T_2=T_4$	C_{\max}	C_{\min}
Исходное	0,7	0.05	0.06	0.1	-0.1
Оптимизированное	2	0.015	0.038	0.1	-0.1

Параметры POD-регулятора были определены с помощью параметрической оптимизации, блок-схема которой приведена на рис. 5.

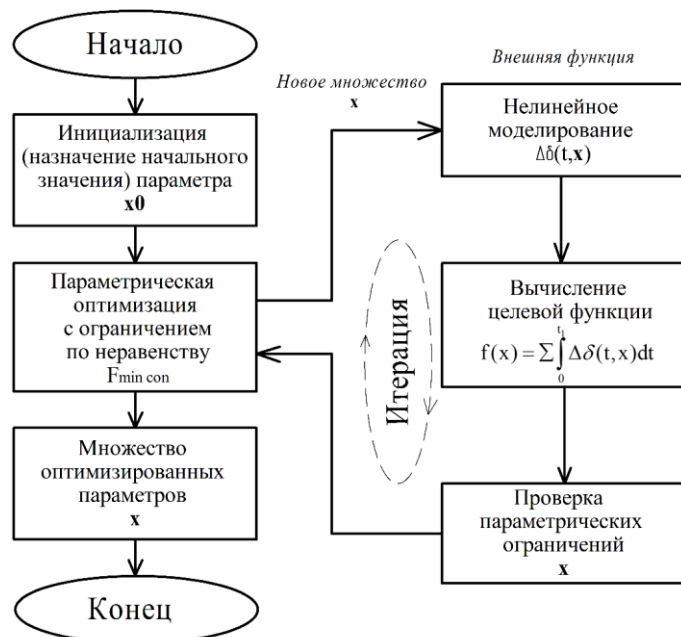


Рис. 5. Блок-схема параметрической оптимизации

Процедура оптимизации начинается при заранее выбранных начальных значениях параметров POD-регулятора $x_0=x_0$. Затем осуществляется настройка коэффициентов с помощью алгоритма нелинейного программирования, пока целевая функция $f(x)$ не достигнет своего глобального минимума. Параметры, соответствующие этому глобальному минимуму, являются оптимальными для POD-регулятора в смысле минимума целевой функции:

$$\min \{f(x) : h(x) = 0, g(x) \geq 0\}; \quad (3)$$

где $f(x)$ – целевая функция; x – вектор, содержащий параметры POD-регулятора; $h(x)$ – ограничения, накладываемые равенствами; $g(x)$ – ограничения, накладываемые неравенствами.

При этом целевая функция задавалась в виде:

$$f(x) = \sum_0^{t_1} |\delta_{12}(t, x) - \delta_{12}(0, x)| dt = \int_0^{t_1} \Delta\delta(t, x) dt; \quad (4)$$

где $\delta_{12}(t, x)$ – разность фазных углов в момент времени t двух ЭЭС, имеющих межсистемную связь; $\delta_{12}(0, x)$ – начальная разность фазных углов; $\Delta\delta(t, x)$ – изменение разности фазных углов за время t ; t_1 – время наблюдения.

Процесс оптимизации параметров POD-регулятора проводился в пакете Response Optimization среды MATLAB.

На рис. 6. приведены результаты нелинейного математического моделирования, показывающие значительное улучшение демпфирования колебаний в ЭЭС.

По полученным характеристикам переходных процессов 1 и 2 оценим эффективность POD-регулятора по следующим показателям [10, 13]:

- Время задержки (t_3): время, необходимое для достижения половины установившегося значения.

- Пиковое время (t_n): время, необходимое для достижения первого пикового значения характеристики переходного процесса.

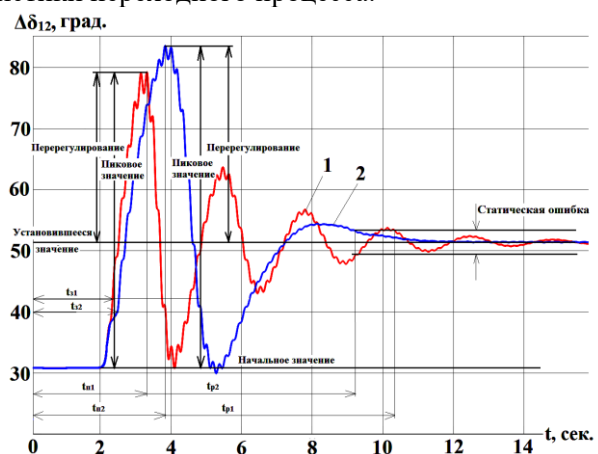


Рис. 6. Результаты нелинейного моделирования (1 – POD-регулятор без оптимизации; 2 – оптимизированный POD-регулятор)

- Время регулирования (t_p): время, необходимое для того, чтобы характеристика переходного процесса оставалась в пределах желаемой статической ошибки (5%) от установившегося значения.

- Перерегулирование: максимальное пиковое значение, относительно установившегося значения.

Таблица 2

Характеристики переходного процесса

Показатели качества переходного процесса	1-я характеристика	2-я характеристика
Время задержки (t_3), сек.	2,3	2,55
Пиковое время (t_n), сек.	3,2	3,8
Время регулирования (t_p), сек.	10,2	9,2
Перерегулирование, %	50	61,5

Из приведенных результатов очевидно, что несмотря на увеличение перерегулирования при использовании POD-регулятора с оптимизированными параметрами, улучшена демпфируемость колебаний, о чем свидетельствует снижение колебательности переходной характеристики 2 и уменьшение времени ее затухания.

Заключение. Наличие колебаний активной мощности ограничивает пропускную способность межсистемных соединений между частями энергосистем. В

некоторых случаях возможна установка системных стабилизаторов PSS на генераторы, особенно при межсистемных колебаниях мощности, которые имеют тенденцию быть низкочастотными (обычно от 0,2 Гц до 0,7 Гц). Последовательные конденсаторы с тиристорным управлением TCSC могут использоваться для улучшений характеристик энергосистемы, а именно для повышения запаса устойчивости, демпфирования колебаний мощности, уменьшения подсинхронного резонанса.

Литература

1. Misrikhanov M.Sh., Sitnikov V.F., and Sharov Yu.V. Optimal controllers based on FACTS devices intended for decentralized control of integrated large electrical power systems, *Russ. Electr. Eng.*, 2008, vol. 79, no. 2, pp. 104–110.
2. Mohan Mathur R., Rajiv K. Varma Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, 2002, Wiley-IEEE Press, 495 p.
3. Priyanka Kathal, Arti Bhandakkar Power Flow Control in Power System using FACT Device Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC): A Review // *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 2 Issue 3, 2013, PP. 388-395.
4. Wu Y. and Li L., "Transfer capability study of tie-line installed TCSC considering transient stability constraints," *2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference*, Wuhan, China, 2011, pp. 260-263, doi: 10.1109/PEAM.2011.6135078.
5. Qurratulain N. Ahmad, S. Hameed, A. Iqbal and K. Hasan, "Damping of power system oscillations using RCGA optimization based TCSC controller," *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, Bikaner, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERI.2016.8077168.
6. Mao, Z. A new modeling and control scheme for thyristor-controlled series capacitor. *J. Control Theory Appl.* 7, 81–86 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11768-009-6045-6>.
7. Qian Liu, V. Vittal and N. Elia, "LPV supplementary damping controller design for a thyristor controlled series capacitor (TCSC) device," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 1242-1249, Aug. 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2005.861241.
8. Colvara L.D., "The influence of the TCSC on power system transient energy," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 3, no. 3, pp. 284-289, July 2005, doi: 10.1109/TLA.2005.1642419.
9. Duong, T., JianGang, Y. & Truong, V. Improving the transient stability-constrained optimal power flow with Thyristor Controlled Series Compensators. *Russ. Electr. Engin.* 85, 777–784 (2014). <https://doi.org/10.3103/S1068371214120165>.
10. Taylor C.W., *Power System Voltage Stability* (McGraw-Hill, New York, 1994), p. 273.
11. Bizzarri F., Brambilla A. and Milano F., "Analytic and Numerical Study of TCSC Devices: Unveiling the Crucial Role of Phase-Locked Loops," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 65, no. 6, pp. 1840-1849, June 2018, doi: 10.1109/TCSI.2017.2768220.

12. Allaev K., Makhmudov T. Research of small oscillations of electrical power systems using the technology of embedding systems. *Electrical Engineering*, 2020; Issue 1: 309-319. DOI 10.1007/s00202-019-00876-9
13. Bjarne R. Andersen, Stig L. Nilsson *Flexible AC Transmission Systems*, 2020, Springer International Publishing, 1117 p.
14. Alam M.S., Shafiullah M., Hossain M.I. and Hasan M.N., "Enhancement of power system damping employing TCSC with genetic algorithm based controller design," *2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, Savar, Bangladesh, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEEICT.2015.7307353.
15. Wu X., Jiang P., Lu J. and Zhao X., "Design of TCSC damping controller for SSO suppression based on TLS-ESPRIT," *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN 2012)*, Hangzhou, 2012, pp. 1-5, doi: 10.1049/cp.2012.1750.
16. Angquist L. and Gama C., "Damping algorithm based on phasor estimation," *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194)*, Columbus, OH, USA, 2001, pp. 1160-1165 vol.3, doi: 10.1109/PESW.2001.917237.
17. Gupta, M., Gupta, A.K. & Sharma, N.K. A Comparative Study of Series Compensation, TCPAR and TCSR FACTS Controllers for Mitigation of Congestion. *J. Inst. Eng. India Ser. B* 101, 717–728 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00498x>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 62-714

**РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ
ТЕПЛООБМЕНА КОНДЕНСАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА
В КОТЛОАГРЕГАТАХ**

Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, Ю.У. Абдуллабеков

*Қозон блокининг ишлаши пайтида тутун газининг буғларини конденсация қилиши режимига ўтиши учун конденсация иссиқлик алмаштиргичининг иссиқлик алмашинуви юзаларида шудринг нуқтасидан паст ҳарорат бўлиши кераклиги кўрсатилган. Иссиқлик алмаштиргичларнинг қанотли юзасининг иссиқлик параметрларини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган бўлиб, бу конденсацияланувчи иссиқлик алмаштиргичнинг геометрик хусусиятларини ҳисоблашни тезлаштириши ва натижаларнинг аниқлигини ошириши имконини беради. Иссиқлик узатиш коэффициентининг *optimal* параметрлари қовурғалар орасидаги баландлик қийматлари ва уларнинг баландлиги асосида топилади.*

Калит сўзлар: конденсация иссиқлик алмашинувчиси, шудринг нуқтаси, қанотли иссиқлик алмаштиргич.

Показано, что для перехода на режим конденсации паров в дымовых газах, при работе котлоагрегата необходимо, чтобы теплообменные поверхности конденсационного теплообменника имели температуру ниже точки росы. Разработан алгоритм расчета тепловых параметров оребренной поверхности теплообменников, позволяющий ускорить операцию расчета геометрических характеристик конденсационного теплообменника и повысить точность результатов. Найдены оптимальные параметры коэффициента теплопередачи, исходя из значений шага между ребрами и их высоты.

Ключевые слова: конденсационный теплообменник, точка росы, оребренный теплообменник.

It is shown that in order to switch to the mode of condensation of flue gas vapors during operation of the boiler unit, it is necessary that the heat exchange surfaces of the condensation heat exchanger have a temperature below the dew point. An algorithm for calculating the thermal parameters of the finned surface of heat exchangers has been developed, which allows speeding up the calculation of the geometric characteristics of the condensing heat exchanger and increasing the accuracy of the results. The optimal parameters of the heat transfer coefficient are found based on the values of the pitch between the ribs and their height.

Key words: condensation heat exchanger, dew point, finned heat exchanger.

Введение. Повышение эффективности тепловых электростанций во многом зависит от утилизации тепла дымовых газов ТЭС, выбрасываемых в окружающую

среду, и разработки современных методов и эффективного подключения к тепловому контуру котлоагрегатов теплообменных установок для глубокого охлаждения этих газов. до точки росы, называемые конденсационными установками рекуперации тепла.

При температуре дымовых газов на выходе из теплообменника $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, по результатам испытаний [1], из того же объема продуктов сгорания в поверхностном теплообменнике конденсата из паров воды получается на 25 % больше, чем в поверхностном теплообменнике. контактный экономайзер стандартных котлов, поэтому одинаковое количество теплоты утилизируется и передается потребителю.

Расчет оптимальных конструктивных параметров конденсационных теплообменников по теплоотдаче требует использования справочных таблиц по теплофизическим характеристикам воды и дымовых газов, графиков для уточнения коэффициентов излучения CO_2 , водяного пара. Некоторые этапы расчета представляют собой приближительные итерационные алгоритмы.

2. Описание схемы. Установка, необходимой тепловой мощности собирается с использованием фланцев из нескольких теплообменных модулей, соединенных последовательно или параллельно по газам, показанных на рис.1.

Алгоритм теплового расчета тепловых характеристик теплообменников основан на балансе теплоты при ее обмене между дымовыми газами и охлаждающей водой:

$$Q_2 = Fk_t \Delta t_t \leftrightarrow Q_w = G_w c_{pw} (t_{w2} - t_{w1}); \quad (1)$$

где F – площадь поверхности теплообмена теплообменника, m^2 ; коэффициент теплопередачи, W/m ; Δt_t – градиент температуры через теплообменник, $^{\circ}\text{C}$; G_w – расход охлаждающей воды через теплообменник, kg/s ; c_{pw} – теплоемкость воды, $\text{W}\cdot\text{s}/(\text{kg K})$; t_{w1} – температура воды на входе теплообменника.

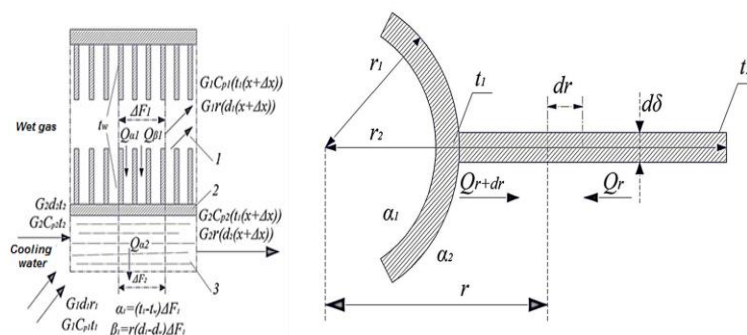


Рис.1. Разрез оребренного теплообменника-утилизатора: 1 - горячий теплоноситель (влажный газ); 2 - ребристая стенка, разделяющая теплообменные среды; 3 - холодная охлаждающая жидкость (жидкость)

3. Методология. Для существующего турбулентного режима течения воды в конденсационном теплообменнике расчет коэффициента теплоотдачи проводился по

формуле М.А. Михеева (2). Как принято в классической теории теплообмена, при изменении числа рядов по потоку для котлоагрегатов различной мощности для расчета коэффициента теплоотдачи выбирают третий ряд α_{g3} парогазовая смесь в трубы конденсационного теплообменника:

$$\text{Nu}_g = 0,41 \cdot \varepsilon_s \text{Re}_g^{0,6} \text{Pr}_g^{0,33} \rightarrow \alpha_{g3} = \lambda_g \text{Nu}_g / d_2. \quad (2)$$

При расчете был сделан ряд допущений:

температура стенки трубы ориентировочно принимается равной температуре воды с разницей 20-0 С со среднеарифметической температурой дымовых газов;

переход от перекрестноточной системы движения теплоносителей к противоточной;

упрощение цилиндрической стенки для расчета коэффициента теплопередачи к плоской.

Все это позволяет не превышать допустимую погрешность.

Для ускорения операции расчета геометрических характеристик конденсационного теплообменника и повышения точности результатов предлагаются следующие приемы. Учитывая, что разность температур дымовых газов и воды в конденсационном теплообменнике очень мала, то для зависимости теплофизических свойств от температуры выполнялась интерполяция полиномом Лагранжа 2-й степени [3]:

$$L^{(2)}(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)} Y_0 + \frac{(t-t_0)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_1-t_2)} Y_1 + \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)} Y_2. \quad (3)$$

Выбирается по трем значениям температуры и соответствующему теплофизическому показателю. Они обозначаются индексами 0,1,2.

Коэффициент излучения трех атомарных газов (3):

$$\varepsilon_g = 1 - \exp(-k_g r_n p l_r), k_g = \left(\frac{0,78 + 1,6 r_{\text{H}_2\text{O}}}{0,316 \sqrt{r_n p l_r}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \frac{T_{11}}{1000} \right); \quad (4)$$

где $r_n = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$ - в сумме значение частей объема 3 атомарных газов и паров воды; kg - коэффициент пропускания излучения уходящих дымовых газов.

Коэффициент теплопередачи лучистой энергии (3):

$$\alpha_r = 5,13 \varepsilon_g T_{g1}^3 \left[1 - \left(T_{sz} / T_{g1} \right)^n \right] / \left(1 - T_{sz} / T_{g1} \right). \quad (5)$$

Расчет среднего градиента температуры проводился по формуле многократного поперечного течения (3):

$$\Delta t_c = \frac{-P \cdot R(t_{11} - t_{21})}{m \ln \{ 1 + R \ln(Z_{PR}) \}}, Z_{PR} = (R-1) / \left\{ R - \left[(1-PR)/(1-P) \right]^{1/m} \right\}; \quad (6)$$

где обобщающие коэффициенты P и R находятся по формулам (3):

$$P = (t_{11} - t_{12}) / (t_{11} - t_{21}); R = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{12}). \quad (7)$$

Б. Расчет характеристик конденсационных теплообменников

В табл. 1 приведены результаты расчета тепловых характеристик конденсационного теплообменника с учетом параметров теплообменников, а также с учетом качества теплотворной способности природного газа в котлах

Таблица 1

Расчет результата	Q, MW	Теплоотдача и коэффициенты теплоотдачи, W/(m ² ·K)				Δt, °C	F, m ²	n, количество	l _{z1} , m
		смесь α ₂	теплообменник α ₁ ,	edges α _r	pipes k,				
Krasnoshchekov [4]	42,2	4505	80,9	9,7	86,5	443	1067	85,6	768
расчет	41,9	4807	82,2	11,4	92,4	4401	1019,8	84,5	746

При проведении расчетов использовались известные термодинамические характеристики воды, коэффициент полезного действия теплообменника, физические свойства дымовых газов.

В ходе применения алгоритма при описании зависимостей между удельным объемом воды и ее энтальпией использовались интерполяционные уравнения (2):

$$v = D_w p_1^4 + C_w p_1^2 + B_w p_1 + A_w, \quad p_1 = 5 - p/10, \quad (\text{m}^3/\text{kg}); \quad (8)$$

$$I_w = K_w p_1^4 + G_w p_1^2 + F_w p_1 + E_w, \quad (\text{kJ/kg}). \quad (9)$$

Интенсивность теплопередачи от дымовых газов к воде невелика, поэтому требуется поперечное ребрение снаружи теплообменника для увеличения площади теплообмена конденсационных теплообменников. Повышенная компактность по сравнению с гладкими трубами.

При разработке таких теплообменников определяются их рациональные геометрические параметры. С этой целью к теплообменнику устанавливаются требования к наименьшим габаритным размерам с учетом размеров газохода котлоагрегата. Сравнение результатов показано в табл.2.

Таблица 2

Расчет результата	Энтальпии дымовых газов и воды на входе и выходе, кДж/кг				Qg, J/g	w ₂ , C	t, C
	I _{g1}	I _{g2}	I _{w1}	I _{w2}			
Клаус [5]	9350	7056	1198	1381,6	2624	314	135,9
Расчетные данные	9482,1	7069,3	1242,2	1350,4	2204,2	309,3	139,2
Расчет результата	Коэффициенты теплопередачи от газа к воде, ребра, трубы, теплоотдача теплообменника Вт/(м ² ·K)				F _t , м ²	F _{pt} , м ²	N _{pt} , количество
	α _{re}	α _k	α _s	k _t			
Клаус [5]	10,8	81,6	91,7	66,8	5102	1,279	5,2
Расчетные данные	9,6	82,3	89,6	64,3	5307	1,316	6,4

Для расчета развитых поверхностей теплообмена использован метод теплового расчета, состоящий из уравнений баланса потоков тепла через оребренную поверхность теплообменника.

В количество тепла, отдаваемого газами теплообменнику, входит тепло, передаваемое ребрами и промежуточной частью трубы между ребрами:

$$Q_{pc} = Q_p + Q_c = nQ_{p1} + \alpha_k 2\pi r_1 t_1 (L_t - n\delta_p). \quad (10)$$

Тепло, передаваемое от каждого ребра, равно:

$$Q_{p1} = -2\pi r_1 \lambda \delta_p \left(\frac{dt}{dr} \right)_{r=r_1} = 2\pi r_1 \lambda \delta_p m \mathcal{G}_1 \Psi \quad (11)$$

здесь – обобщенные тепловые параметры теплообменника [6]:

$$\Psi = \frac{I_1(s_2)K_1(s_1) - I_1(s_1)K_1(s_2)}{I_0(s_1)K_1(s_2) + I_1(s_2)K_0(s_1)}, \quad m = \sqrt{2\alpha / \delta_p \lambda} \quad (12)$$

Краевая эффективность находится по формуле (6):

$$E_p = \Psi \frac{2r_1^2}{m(r_2^2 - r_1^2)} \quad (13)$$

В известных расчетах (6) для определения коэффициента теплопередачи биметаллической трубы используются не совсем точные графики, что приводит к ошибке в расчетах E_p .

4. Результаты вычислений. Для компьютерной обработки итерационных расчетов составлен алгоритм расчета характеристик конденсационных теплообменников, на гладких трубах которых установлены ребра. Коэффициент α_k определялась исходя из значений шага между ребрами и их высоты.

Из-за утончения ребра, естественно, снижается общее использование тепловой энергии дымовых газов. Q_{pc}, ребром, однако расчеты показывают, что в этом случае удельная теплоотдача ребра увеличивается. На рис.2 обозначено: толщина ребра 1- $\delta_p = 5$ мм; 2- $\delta_p = 1$ мм. При этом ее шаг sr варьировал в пределах: вариант 1 – от 21 до 4 мм; вариант 2 - от 23 до 4 мм. Было принято значение скорости уходящих дымовых газов - 9 м/с. Коэффициент теплоотдачи варьировался в следующих пределах: вариант 1 – $36.8 \div 55.2$ W/(m²K), второй вариант - $37.6 \div 55.6$ W / (m²K), значение коэффициента теплопередачи биметаллической трубы $\alpha_t = 42.4$ W/(m²K²).

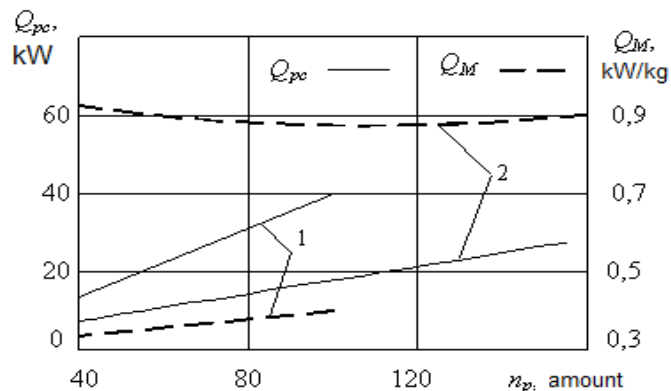


Рис.2. Зависимость от абсолютного Q_{pc} , и специфика Q_m теплоотдачи от количества ребер при различной толщине: 1- $\delta_p = 5$ mm; 2- $\delta_p = 1$ mm.

Установка большего количества ребер увеличивает эффективность трубы E_T и немного опускается E_p . С уменьшением толщины ребер снижается как эффективность ребра E_p , и трубы E_T (Рис-3).

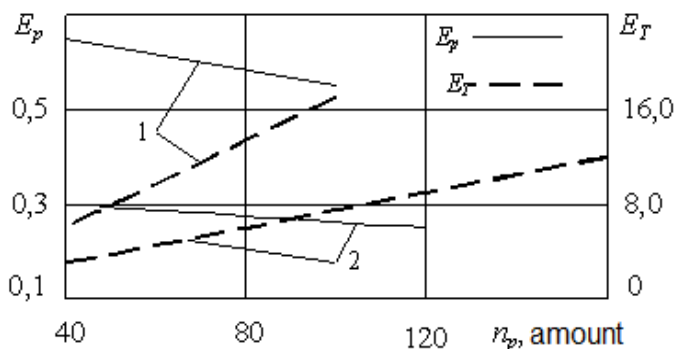


Рис.3. Зависимость эффективности одного ребра и трубы от их количества:

Снижение скорости дымовых газов w_g в 3 раза в $\delta_p = 5$ mm снижено значение коэффициента теплопередачи α_k , α_T (рис. 4), а для трубы E_T уменьшилось до 6.4.

Несмотря на теоретические результаты, технически установка большего количества ребер с минимальным шагом между ними усложняет изготовление и обслуживание этого элемента конденсационного теплообменника.

В то же время в пределах значений реально применяемых на практике теплообменников скорости прохождения дымовых газов для значений толщины оребрения не могут быть достигнуты по полному и удельному теплу, отводимому в максимальной степени теплообменной поверхностью конденсационного теплообменника котла.

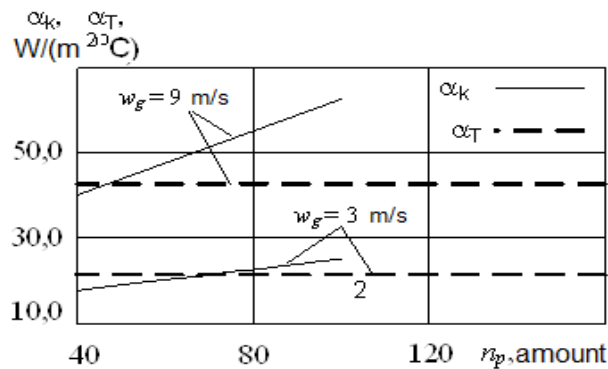


Рис. 4. Зависимость коэффициентов теплоотдачи биметаллических и гладкостенных труб от количества ребер при скоростях газа V.

Вывод. В статье приведены результаты расчета тепловых характеристик конденсационного теплообменника с учетом параметров теплообменников, а также с учетом качества теплотворной способности природного газа в котлах. При расчете оптимальных параметров поверхности теплообмена конденсируемого теплообменника в котлах КПД котлов может быть увеличен.

Литература

1. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. - М.: Машиностроение, 2011. - 374 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплообмена. – Москва: Энергия. 1977. - 134 с.
3. Иванов А. В. Оперативный метод в задачах теплопроводности и тепломассообмена // Теплофизика в литейном производстве. Изд-во Академии наук Республики Беларусь, 1993. - 203 с.
4. Краснощеков Е.А., Сукомель А.С. Задачник по теплопередаче. - М. Энергия. 1980. - С.238.
5. Керн Д., Клаус А. Разработанные поверхности теплообмена. - М.: Энергия, 1989. - 322 с.
6. Беспалов В.В. Технологии глубокой утилизации тепла дымовых газов // Энергетика Татарстана. 2015. № 2 (38). - С. 32–36.
7. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика устройств рекуперации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования. - Москва: Стройиздат, 1983. - 320 с.

Представлено Ташкентским государственным техническим университетом

УДК 536.423.4

**ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН ҚОВУРҒА СИРТЛИ ВЕРТИКАЛ ҚУВУРДА БУҒ
КОНДЕНСАЦИЯЛАНИШ ЖАРАЁНИНИНГ ФИЗИК ВА МАТЕМАТИК
МОДЕЛИ****Л.М. Эшқуватов, Р.П. Бабаходжаев, Н.Т. Ташбаев**

Мазкур мақолада такомиллаштирилган қовурға сиртли вертикал қувурда сув бугнинг конденсацияланишида сиртда ҳосил бўлган конденсат плёнка қалинлигини трубка узунлиги бўйича ўзгаришини, совуқ ҳолдаги иссиқлик ташувчининг ҳароратини ҳамда иссиқлик алмашинув юзаларининг ҳароратлар ўзгаришини, бугнинг юза бўйлаб конденсацияланишини миқдорий тадқиқ қилиш учун физик ва математик модели ишлаб чиқилган. Бугни конденсацияланиш жараёнида содир бўладиган иссиқлик алмашини қурилмаларини тўғри танлаш учун ҳароратнинг маҳаллий қийматларини, оқимдаги буг концентрациясини ва иссиқлик алмашинув юзаси бўйлаб иссиқлик оқимини ҳисоблашга имкон берадиган ҳисоблаш усуллари зарурдир. Иссиқлик энергетик қурилмаларни лойиҳалаш ва ҳисоблаш вақтида бугнинг вертикал сирт бўйлаб конденсацияланишида плёнка қалинлигини ҳисобга олиш зарур. Суюқликнинг молекуляр деворолди қатламларининг термик қаршилигини пасайтиришдан иборат бўлган қиздирувчи буг томонидан бугнинг конденсацияланиши содир бўладиган иссиқлик алмашини сиртларини геометрик шаклини такомиллаштириш орқали иссиқлик алмашини жараёнини жадаллаштириш усуллари келтирилган. Бу усул иссиқлик алмашини юзасини ошириш ҳисобига бугдан девор сиртига иссиқлик бериш коэффициентининг оширилишига имкон беради.

Калит сўзлар: *такомиллаштирилган қовурғали сирт, вертикал, иссиқлик бериш, конденсация, жадаллаштириш, буг, плёнка, томчи, иссиқлик.*

В настоящей статье приведены физическая и математическая модели, описывающие изменение толщины плёнки по длине трубки, изменение температуры холодного теплоносителя и изменение температуры теплообменной поверхности и количественный анализ конденсации водяного пара по поверхности вертикальной трубки с ребрами. Для правильного выбора теплообменных аппаратов необходимы методы расчета, позволяющие рассчитать местные значения температуры, концентрацию пара в потоке и поток тепла по теплообменной поверхности. При проектировании и расчете теплоэнергетических установок необходимо учитывать толщину пленки при конденсации на вертикальной поверхности. Снижение термического сопротивления пристенных молекулярных слоев жидкости за счет совершенствования теплообменной поверхности позволит интенсифицировать процесс теплообмена. Этот метод позволяет повысить коэффициент теплоотдачи от пара за счет увеличения теплообменной поверхности стенки.

Ключевые слова: ребро с усовершенствованной поверхностью, вертикаль, теплоотдача, конденсация, интенсификация, пар, плёнка, капля, тепло.

This article presents physical and mathematical models describing the change in the thickness of the film along the length of the tube, the change in the temperature of the cold coolant and the change in the temperature of the heat exchange porosity and quantitative analysis of condensation on the surface during condensation of water vapor on a vertical tube with fins with an improved surface. For the correct choice of heat exchangers, calculation methods are needed that allow calculating local temperature values, the concentration of steam in the flow and the heat flow over the heat exchange surface. When designing and calculating thermal power plants, it is necessary to take into account the thickness of the film during condensation on a vertical surface. Reducing the thermal resistance of the wall-mounted molecular layers of the liquid due to the improvement of the heat exchange surface will intensify the heat exchange process. This method allows to increase the coefficient of heat transfer from steam to the wall surface by increasing the heat exchange surface.

Key words: fin with improved surface, vertical, heat transfer, condensation, intensification, steam, film, drop, heat.

Кириш. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан энергетика, кимё, озик-овқат, нефтни қайта ишлаш ва бошқа саноат соҳаларида кенг фойдаланилади. Саноат корхоналари ва аҳолини иссиқлик энергияси билан таъминлаш марказларида вертикал қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилади. Бу жараёнда таъминот суви буғ билан қиздирилади ва конденсат ҳосил бўлиши билан кечади. Вертикал қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмаларида буғнинг конденсацияланиши натижасида ҳосил бўлган конденсат плёнкасининг қалинлиги қувур узунлиги бўйлаб ортиб боради, унинг термик қаршилиги катталашади ва буғ билан совитувчи сирт ўртасидаги иссиқлик алмашиниш жараёни сустлашади, натижада иссиқлик бериш коэффициенти тушиб кетади.

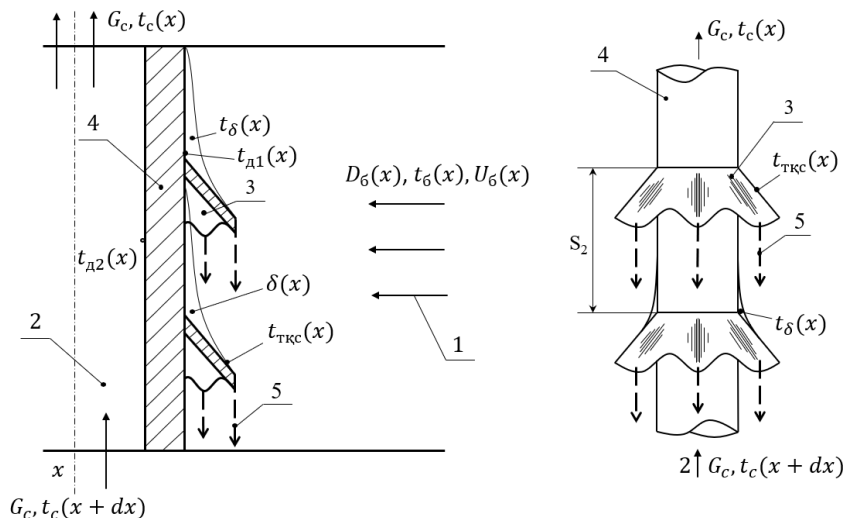
Асосий қисм. Сув буғининг конденсацияланиш жараёнида иссиқлик беришни жадаллаштиришнинг мавжуд усуллари таҳлил қилинганда такомиллаштирилган қувурғали сиртларда конденсация жараёни самарали кечади деган хулосага келинди [1 - 4].

Иссиқлик энергетика қурилмаларини лойиҳалаш ва ҳисоблашда буғнинг вертикал сирт бўйлаб конденсацияланиш жараёнида плёнка қалинлиги ва унинг термик қаршилигини эътиборга оладиган иссиқлик алмашинувини ҳисоблайдиган усулларни аниқлаш долзарб масала ҳисобланади [5 - 8].

Иссиқлик алмашиниш жараёнини жадаллаштиришнинг физик ва математик моделлари бўйича тадқиқотлар олиб борилган [9 – 14].

Буғни вертикал силлиқ сирт бўйлаб конденсациялашнинг плёнкали модели қабул қилинади. Томчи ёки сизимча конденсацияланишни юзага келиши биринчи навбатда юзанинг тузилишига ва девор материалига боғлиқдир. Томчи ёки сизимча кўринишидаги конденсациялаш жараёнини бориши учун қулай шарт-шароитларни

яратиш бўйича кўплаб ўринишлар бўлишига карамай, ҳанузгача плёнкали конденсациялашдан фойдаланилмоқда [15].



1 - расм. Такимилаштирилган қовурға сиртли вертикал қувурда буғ конденсацияланиш жараёнининг физик модели: 1-буғ; 2-сув; 3-конденсат плёнкаси; 4-девор; 5-томчи (сизимча); S_2 -қовурғалар орасидаги масофа; м.

1 – расмда қарама-қарши оқимли иссиқлик алмашинув қурилмасида буғ ва иситилувчи сув ўртасида иссиқлик алмашинуви оқимларини ажратиш туривчи девор орқали амалга оширилади. Масса сарфи G_6 бўлган буғ совуқ сирт бўйлаб маълум U_6 тезликда ҳаракатланади ва конденсацияланади. Натижада совуқ сиртнинг юзасида қалинлиги ўсиб боровчи конденсат плёнкаси ҳосил бўлади ва иссиқлик алмашиниш жараёнининг секинлашишига олиб келади. Ҳосил бўлган конденсат плёнка таъсирини бартараф этиш учун такомиллаштирилган қовурғали сиртлар (ТҚС) ўзаро оралиқ (S_2) бўйича ўрнатилади. ТҚС конденсат плёнкасини совуқ сиртдан ажратади ва қовурға сирти бўйлаб ҳосил қилинган бир нечта чуқурсимон йўлақлар бўйлаб йириклаштирилган чизимчалар шаклида пастга тушириб юборилади. Ушбу ечим, яъни, конденсат оқимининг бир нечта чуқурсимон йўлақлар бўйлаб йириклаштирилган чизимчалар шаклида пастга тушириб юборилиши, қўшимча тарзда, буғ оқимининг конденсатдан ҳоли бўлган совуқ юза томон ҳаракатини жадаллаштиради. Натижа иссиқлик бериш коэффиценти қийматининг ошишига олиб келади.

Конденсат плёнкаси орқали ўтадиган иссиқлик оқими қуйидаги қўринишда ифодаланади:

$$q = \alpha_{пл} \cdot (t_\delta - t_d); \quad (1)$$

бу ерда $\alpha_{пл}$ – конденсат плёнканинг иссиқлик бериш коэффиценти, Вт/(м² · °С); t_δ – конденсат плёнканинг ҳарорати, °С.

Плётка ўсиши жараёнини моделлаштириш учун Нуссельтнинг модификацияланган яқинлашувидан фойдаланиш мумкин. Конденсат плёткаси учун плётка ва буғ аралашма чегараларида ишқаланишни ҳисобга олган ҳолда ҳаракат тенгламасини интеграллаш йўли орқали плётка ўсишининг дифференциал тенгламасини келтириб чиқарамиз.

Агар конденсат плёткаси билан буғ уринса, унинг ҳарорати t_n га тенг бўлади, у ҳолда иссиқлик оқими q қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_\delta - t_n); \quad (2)$$

бу ерда δ - плётка қалинлиги, мм; λ - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/(м · °С); t_n - девор сиртининг ҳарорати, °С.

Иккинчи томондан, Ньютон-Рихман қонунига асосан конденсат плёткаси орқали ўтадиган иссиқлик оқими қуйидаги кўринишда ифодланади:

$$q = \alpha (t_\delta - t_n). \quad (3)$$

(2) ва (3) – ифодаларни тенглаштирадик, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta}. \quad (4)$$

Шундай қилиб, иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш масаласи конденсат плёткаси қалинлигини аниқлаш масаласига келтирилади, яъни конденсатнинг плётка ҳосил қилиб ҳаракатланишини анализ қилиш орқали аниқланади.

Плётка ўсиши жараёнини моделлаштириш учун Нуссельтнинг модификацияланган яқинлашувидан фойдаланиш мумкин. Конденсат плёткаси учун плётка ва буғ чегараларида ишқаланишни ҳисобга олган ҳолда кўриб чиқамиз. Бирлик ҳажмда ҳосил қилинган плётка учун конденсатнинг ҳаракат тенгламасини қуйидаги кўринишда оламиз:

$$g\rho_k + \mu_k \frac{d^2\omega_x}{dy^2} = 0. \quad (5)$$

(5) – тенглама конденсатнинг ҳаракат тенгламаси бўлиб, уни икки мартаба интеграллаш йўли орқали конденсат тезлигининг ўзгаришини характерловчи қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\omega_x = -\frac{g\rho_k}{2\mu_k} y^2 + C_1 y + C_2. \quad (6)$$

Интеграллаш ўзгармасларини топиш учун чегаравий шартлардан фойдаланамиз.

Чегаравий шартлар:

$$\begin{aligned} y = 0 \text{ да } \omega_x &= \omega_x(y = 0) = 0; \\ y = \delta \text{ да } \mu_k \frac{\partial \omega_x(y=\delta)}{\partial y} &= \mu_n \frac{\partial U}{\partial y}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тезликнинг тарқалиши чизиқли равишда масофага боғлиқ, яъни:

$$\omega_x = U \frac{y}{h}. \quad (8)$$

Конденсат плёткаси тезлигининг ўзгариш қонунини топамиз:

$$\omega_x = -\frac{g\rho}{2\mu} y^2 + \left(\frac{g\rho}{\mu_k} \delta + \frac{\mu_n U}{\mu_k h} \right) y. \quad (9)$$

Конденсат плёнка учун (9) - ҳаракат тенгласини бутун қалинлик бўйича интеграллаш орқали конденсат плёнкасининг ўртача тезлигини топиш мумкин:

$$\bar{\omega}_x = \frac{1}{\delta} \int_0^\delta \omega_x dy = \bar{\omega}_x = \frac{g\rho}{3\mu} \delta^2 + \frac{\mu n U}{2\mu_k h} \delta. \quad (10)$$

Бир бирлик кенгликка тўғри келадиган плёнканинг кўндаланг кесими орқали бир бирлик вақт ичида оқиб ўтадиган конденсат миқдорини қуйидаги ифода орқали аниқлаймиз:

$$G = \rho_k \cdot \bar{\omega}_x \cdot \delta \cdot 1. \quad (11)$$

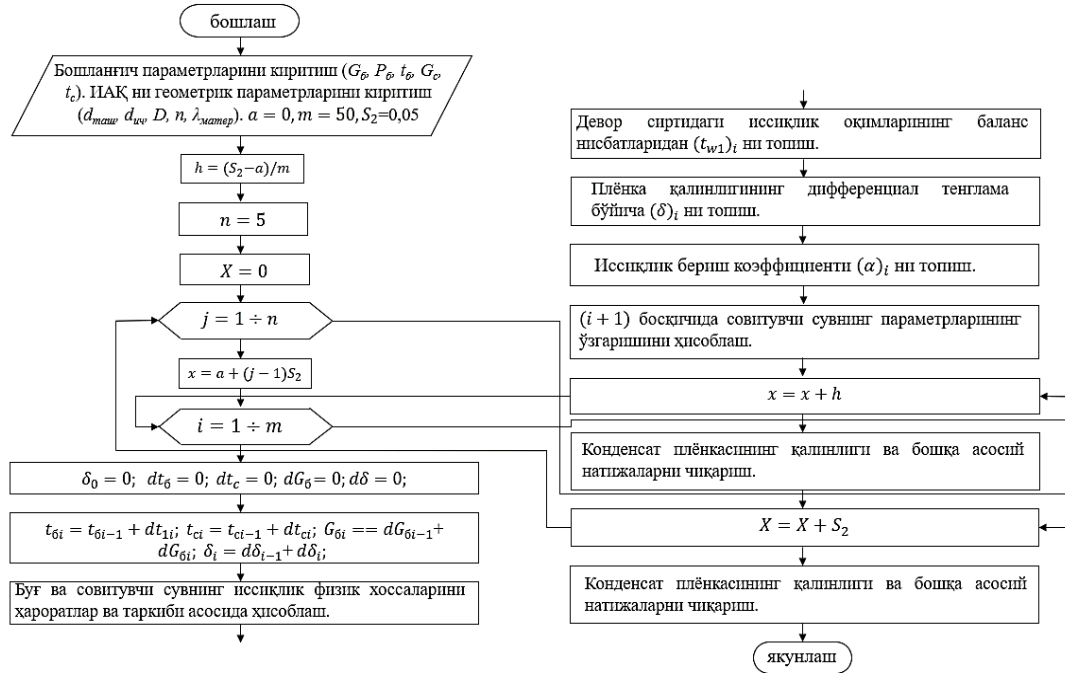
Шундай қилиб, бирлик вақт ичида бирлик юзадаги конденсат миқдори:

$$G = \frac{g\rho k \rho}{3\mu_k} \delta^3 + \frac{\mu n \rho U}{2\mu_k h} \delta^2. \quad (12)$$

Плёнканинг кўндаланг кесими dx масофада, унга мос оқим қиймати dG бўлади. Плёнка қалинлигининг бундай ўсиши, конденсация миқдорига боғлиқ бўлади. Бу ҳолда қуйидаги тенглама тўғри бўлади:

$$d(\rho_k \cdot \bar{\omega}_x \delta) = j dx, \quad (13)$$

$\bar{\omega}_x$ – плёнка кесими бўйича конденсатнинг ўртача тезлиги; м/с.



2 – расм. Такмиллаштирилган қовурға сиртли вертикал қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмаларида бугнинг конденсацияланишида плёнка қалинлигини ҳисоблаш алгоритми

Конденсатнинг ўртача тезлиги учун (12) – тенгламани (13) – ифодага қўйиб ва кавсларни очиб юбориб, ТҚСли вертикал қувурда конденсат плёнкаси ўсишининг дифференциал тенгласини оламиз:

$$\frac{d\delta}{dx} = \frac{jh\mu_n}{\rho_k \rho g h \delta^2 + 2\mu_k \rho_k U \delta} \quad x = (i-1) \cdot S_2 : \delta = 0; \quad (14)$$

бу ерда тенгламанинг ўнг томони: μ_k, ρ_k – конденсатнинг динамик қовушқоқлик коэффициентлари, Па·с ва зичлиги, кг/м³; ρ – буғнинг зичлиги, кг/м³; H – қувур узунлиги, м; g – эркин тушиш тезланиши, м/с²; $i = 1 \div n$.

(14) – тенгламалар системасини ечиш учун 4-даражали аниқликка эга бўлган Рунге-Кутг усулидан фойдаланилди ҳамда ҳисоблаш алгоритмининг блок-схемаси яратилди (2 - расм).

Хулоса. Ушбу математик модель ёрдамида такомиллаштирилган қовурга сиртли вертикал қувурларда буғ конденсацияланишида аниқланадиган ҳисоб-китоблар x координатаси бўйича иссиқлик элтувчиларнинг ҳарорати, сарфи, конденсат плёнқасининг қалинлиги ва иссиқлик бериш коэффициентлари ва бошқа параметрларини аниқлаш имконини беради.

Адабиёт

1. Эшқуватов Л.М., Ташбаев Н.Т. Вертикал қувурларда буғнинг ламинар конденсациялаш жараёнини ҳисоблашнинг айрим усуллари таҳлили натижалари // Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар мавзусида халқаро илмий-амалий конференция. Андижон, 2020. 181-187 б.

2. Эшқуватов Л.М., Бабаходжаев Р.П., Исмаилов Б.Р., Ташбаев Н.Т., Исмаилов Х.Б., Мирзаев Ж.А., Кучинов Х.А., Курбанбаева М. Қовурғаланган қувур // ЎзРес. Интеллектуал мулк агентлиги. Фойдали модел учун патент FAP 02024, 27.06.2022.

3. Lutfulla Eshkuvatov, Rakhimjan Babakhodjaev and Nazim Tashbaev Experimental study of the influence of the geometric structure of ribbing on a vertical tube on the heat transfer coefficient / Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2021) AIR Conf. Proc. 2552, 030021-1-030021-6 (2023); <http://doi.org/10.1063/5.0111439>.

4. Эшқуватов Л.М. Конденсация паров воды на оребренных вертикальных трубах / Universum: технические науки: научный журнал. -№ 4(97). Част 11. М., Изд. «МЦНО», 2022. – С. 32-36. <http://doi - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13444>.

5. Lutfulla Eshkuvatov, Mirjalol Ruzinazarov Methodology for conduction and calculation of the results of an experimental study for condensation of vapors on vertical tubes with specially profiled ribs // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology ISSN: 2350-0328 Vol. 9, Issue 11, November 2022 Pages: 20032-20037.

6. Эшқуватов Л.М., Н.Т. Ташбаев, Р.П. Бабаходжаев Анализ современного состояния эффективности конденсации водяного пара на поверхностях вертикальной трубки и разработка экспериментального стенда. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2021. №2, -С. 94-101.

7. Эшқуватов Л.М. Экспериментальное исследование конденсации пара на вертикальных оребренных трубах. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения.

Ташкент, 2021. №4, -С. 148-153.

8. Eshkuvatov L.M., Babakhodjayev R.P., Tashbayev N.T. Study of steam condensation on vertical tubes of a heat exchanger and processing of the results. // Technical science and innovation: TSTU. Tashkent, 2021.

9. Manglik R.M. Heat Transfer Enhancement // Heat transfer handbook. Editors by Bejan A. and Kraus A.D. Chap.14. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 1480 p.

10. Thome J.R. Boiling // Heat transfer handbook. Editors by Bejan A. and Kraus A.D. Chap.9.13. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 1480 p.

11. Kedzierski M.A., Chato J.C., Rabas T.J. Condensation // Heat transfer handbook. Editors by Bejan A. and Kraus A.D. Chap.10.7. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 1480 p.

12. Pan Y. Condensation characteristics inside a vertical tube considering the presence of mass transfer, vapor velocity and interfacial shear // Int. Int. J. Heat Mass Transfer, - 2001, –Vol. 44.

13. Иодис В.А., Пашкевич Р.И. Математические модели процесса ламинарной конденсации пара в вертикальных трубах. НИГТЦ ДВО РАН. 2014.

14. Kim D.E., Yang K.H., Hwang K.W. et al. Simple heat transfer model for laminar film condensation in a vertical tube // Nuclear Engineering and Design. - 2011. - Vol. 241. - p. 2544– 2548.

15. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977. -240 с.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 62-714

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС

Х.С. Исаходжаев, З.Ё. Хасанов, С.К. Ярашов

Ўзбекистондаги иссиқлик электр станцияларида энг қулай ва доимий сифатдаги ва турбинали конденсаторда иситиладиган сувдан иссиқлик электр станциясининг сув тозалаш иншоотида фойдаланиладиган дренажсиз айланма совутиши тизими кенг тарқалди. Циркулятсияли совутиши тизими хом технологик сувдан фойдаланганлиги сабабли турбинали кондансерларда иссиқлик алмашинуви юзаларида ёмон эрийдиган моддалар (шкала) конлари ҳосил бўлади. Масштабнинг пайдо бўлишининг сабаби совутиши минораларида сувнинг буғланиши натижасида сувнинг ёмон эрийдиган таркибий қисмларининг контсентратсияси эканлигига ишонилади. Конденсаторларнинг иссиқлик алмашинуви юзасида ҳосил бўлган конларнинг паст иссиқлик ўтказувчанлиги туфайли ҳарорат фарқи ортади. Илмий-техник адабиётлардан маълумки, турбинали конденсаторлардаги босим совутиши сиртининг ифлосланишига боғлиқ. Шу сабабли вакуум ёмонлашади. Вакуумнинг ёмонлашиши буғнинг ортиқча истеъмол қилинишига олиб келади. Шундай қилиб, ушбу ишнинг мақсади иссиқлик электр станциясининг айланма совутиши тизимининг самарадорлигини оширишдир.

Калит сўзлар: айланма совутиши тизими, қолдиқ ҳосил бўлиши, чўкинди, иссиқлик ўтказувчанлик, вакуум, конденсатор, буғлатгич, сув совутгич.

На тепловых электростанциях Узбекистане широкое распространение получила бессточная система оборотного охлаждения, при которой вода наиболее благоприятного и постоянного качества и подогретая в конденсаторе турбин используется на водоподготовительной установке тепловая электростанция. Поскольку в система оборотного охлаждения используется техническая необработанная вода, на поверхностях теплообмена в конденсаторах турбин образуются отложения малорастворимых веществ (накипь). Как считается, причина накипобразования – концентрирование малорастворимых компонентов воды в результате испарения воды в градирнях. Из-за низкой теплопроводности отложений, образующихся на поверхности теплообмена конденсаторов, увеличивается температурный напор. Как известно из научно-технической литературы, давление в конденсаторах турбин зависит от загрязнения поверхности охлаждения. Из-за этого ухудшается вакуум. Ухудшение вакуума приводит к перерасходу пара. Таким образом, цель данной работы повышение эффективности работы система оборотного охлаждения тепловая электростанция.

Ключевые слова: система оборотного охлаждения, накипобразования, отложение, теплопроводность, вакуум, конденсатор, испаритель, водоохладитель.

At thermal power plants in Uzbekistan, a drainless circulating cooling system has become widespread, in which water of the most favorable and constant quality and heated in the turbine condenser is used at the water treatment plant of the thermal power plant. Since the recirculating cooling system uses raw process water, deposits of poorly soluble substances (scale) form on the heat exchange surfaces in the turbine condensers. It is believed that the cause of scale formation is the concentration of poorly soluble components of water as a result of water evaporation in cooling towers. Due to the low thermal conductivity of the deposits formed on the heat exchange surface of the condensers, the temperature difference increases. As is known from scientific and technical literature, the pressure in turbine condensers depends on the contamination of the cooling surface. Because of this, the vacuum deteriorates. The deterioration of the vacuum leads to excessive consumption of steam. Thus, the purpose of this work is to increase the efficiency of the circulating cooling system of a thermal power plant.

Key words: *circulating cooling system, scale formation, deposition, thermal conductivity, vacuum, condenser, evaporator, water cooler.*

Введение. На электростанциях применяются системы технического водоснабжения (ТВС) в основном трех типов: оборотные, прямоточные и комбинированные [1]. Наиболее распространены оборотные. В оборотных системах обязательным является наличие водоохладителя. Его функции могут выполнять водоем-охладитель, градирни или брызгальные бассейны. Система водоснабжения с водоемом-охладителем – наиболее распространенная на действующих конденсационных электростанциях. В этой системе главный корпус электростанции размещают обычно близ берега водохранилища, а циркуляционные насосы - в береговой насосной.

Охлаждение в водоохладителе происходит в результате соприкосновения воды с воздухом при ее движении как в границах акватории, так и по высоте водяного слоя. Поступающая в больших количествах с нагретой в конденсаторах водой теплота отводится, в основном, путем испарительного охлаждения. Такое охлаждение значительно повышает интенсивность теплообмена между воздухом и водой [2, 3]. При этом температура воды может иметь значение ниже температуры окружающего воздуха. Эта разница возрастает с уменьшением относительной влажности воздуха.

Схема технического водоснабжения с градирнями предусматривают обычно центральную насосную станцию, расположенную у постоянного торца машинного зала главного корпуса тепловые электростанции (ТЭС). Охлажденная вода после градирен самотеком по железобетонным каналам поступает на вход циркуляционных насосов. Их установка обеспечивает работу под заливом. В насосных станциях современных крупных ТЭС с градирнями применяют как обычные центробежные, так и осевые вертикальные насосы [1, 2, 3].

Метод. Основные требования к качеству охлаждающей воды сводятся к тому, чтобы она имела температуру, обеспечивающую требуемую глубину вакуума в конденсаторе, не вызвала при нагреве образования в системе охлаждения

минеральных отложений и биологических обрастаний, а также коррозии оборудования и трубопроводов. Естественно, что при столь больших расходах воды, охлаждающей конденсаторы, масло- и газоохладители, неправомерно ставить вопрос о ее тщательной очистке с удалением всех примесей, склонных к образованию отложений и коррозионному воздействию на материалы охлаждающей системы. В [4-8] предложена методика, позволяющая достаточно точно рассчитывать изменение солевого состава циркуляционной воды в системах оборотного охлаждения.

В градирнях или брызгальных бассейнах температура оборотной воды снижается за счет испарения части подогретой в конденсаторе воды и конвективного теплообмена при контакте с воздухом, затем вода вновь подается в теплообменники-конденсаторы (рис. 1). В градирнях часть оборотной (охлаждающей) воды теряется за счет капельного уноса ($P_{ун} = 0,05 - 3,5\%$) и испарения ($P_{исп} = 1,0 - 1,5\%$).

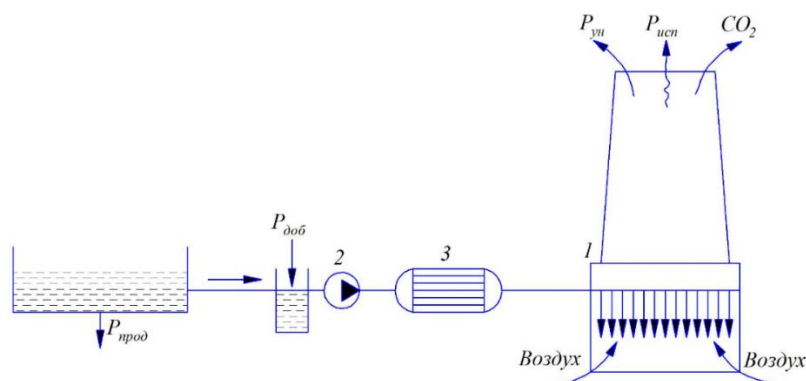


Рис. 1. Схема оборотного охлаждения конденсатора с градирней: 1-градирня; 2-циркуляционный насос; 3-конденсатор; $P_{исп}$, $P_{ун}$ – потери воды в градирне на испарение и унос; $P_{прод}$ – продувка оборотной воды; $P_{доб}$ – добавка в систему свежей воды

Испаряемая влага является чистой водой, поэтому за счет испарения солесодержание воды в оборотной системе повышается [1-3]. Регулирование солесодержания осуществляется методом водообмена с помощью продувки системы $P_{прод}$. Отмеченные потери компенсируются добавлением в систему технической воды:

$$P_{доб} = P_{исп} + P_{ун} + P_{прод} \quad (1)$$

Для солей, не образующих труднорастворимых соединений, при нагреве воды в системе охлаждения баланс масс в установившемся режиме записывается в виде

$$C_{доб} \cdot P_{доб} = C_{цирк} \cdot (P_{ун} + P_{прод}) = C_{цирк} \cdot (P_{доб} - P_{исп}); \quad (2)$$

где $C_{цирк}$, $C_{доб}$ – концентрация солей (ионизированных примесей) в добавочной и циркуляционной водах.

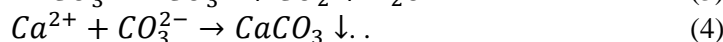
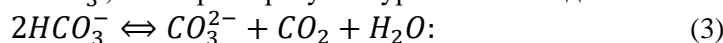
Из (2) следует, отношение $\frac{C_{\text{цирк}}}{C_{\text{доб}}}$, называемое коэффициентом концентрирования K_K , определяется значением потерь циркуляционной воды с продувкой и капельным уносом (табл. 1). Также K_K называют коэффициентом упаривания [9, 10].

Сокращение значения продувки приводит к повышению кратности концентрирования и, следовательно, к значительному росту солесодержания циркуляционной воды. При $P_{\text{прод}} = 0$ значение K_K определяется потерями воды в системе за счет капельного уноса.

Таблица 1
Зависимость коэффициента концентрирования от продувки системы оборотного охлаждения

Продувка, %	Градирни с каплеуловителями	Градирня без каплеуловителями
0	41,0	4,00
0,5	3,68	2,50
1,0	2,42	2,00
2,0	1,73	1,60
4,0	1,37	1,33
6,0	1,30	1,28

Наряду с концентрированием легко растворимых солей в системе оборотного охлаждения увеличивается в той же кратности концентрация солей жесткости и гидрокарбонатов. Процесс образования карбонатных отложений в теплообменниках (2) будет определяться сдвигом углекислотного равновесия при нагревании воды [11-13]. С ростом температуры воды в системе оборотного охлаждения интенсифицируется гидролиз HCO_3^- , что характеризуется уравнением вида:



Сдвигу вправо реакции (3), т.е. распаду ионов HCO_3^- и образованию CO_3^{2-} , способствует также потеря появляющегося при гидролизе диоксида углерода в градирне (5, 6) (аналогично процессу в декарбонизаторе). Эти факторы приводят к возможности выделения на теплообменной поверхности отложений CaCO_3 (пересыщение воды по CaCO_3), т.е. к потере стабильности охлаждающей воды (7-10) в тех случаях, когда произведение активностей взаимодействующих компонентов превысит $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} < a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}$ (14-16). Сульфат кальция обладает сравнительно большой растворимостью при $t = 20 - 40$ °С (около $1800 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$), поэтому редко встречается в составе низкотемпературных отложений.

Так как теплопроводность кальциевых отложений на порядок меньше теплопроводности металла конденсаторных трубок, с ростом толщины накипи на них повышается температура конденсации пара и снижается вакуум в конденсаторе. Ухудшение вакуума на 1% требует увеличение расхода пара на 1,4% для поддержания номинальной мощности турбоустановки. Таким образом, отложения в

системе оборотного охлаждения (СОО) приводят к значительному пережогу топлива при выработке электроэнергии.

Несмотря на отмеченный факт, а также на то, что в СОО с градирнями температура охлаждающей воды на входе в конденсаторы выше, чем в прямоточных системах с водохранилищами, применение градирен позволило резко сократить сброс подогретой воды в водотоки и водоемы, предотвращая их «тепловое» отравление. Кроме того, эти оборотные системы единственно приемлемы в условиях ограниченного дебита воды.

Математическая модель для расчета материального баланса СОО. Здесь и далее под СОО подразумеваем часть СОО со стороны охлаждающей воды, включая охлаждающую воду и границы раздела с твердой и газовой фазой. Моделирование реальной СОО и определение материального баланса представляет собой определенные трудности. Прежде всего, это связано с большим объемом системы (массой воды в СОО). Кроме того, водяной объем (масса) системы непостоянен во времени и может как возрастать, так и уменьшаться в зависимости от соотношения входящих и выходящих потоков. Сами водяные и воздушные потоки (m_i , i – порядковый индекс потока) и концентрации содержащихся в них веществ (концентрация i -й независимой компоненты – c_j) меняются во времени сложным, непредсказуемым образом. В таких условиях расчет по известным уравнениям (1-4) либо невозможен, либо приводит к большим ошибкам, при которых результаты расчетов лишены физического смысла.

В рамках системного подхода СОО ТЭС необходимо рассматривать как проточную, непрерывно действующую систему с нестационарным режимом работы. Тепловой режим работы – промежуточный. Однако, учитывая большую протяженность системы, малый температурный интервал и, соответственно, очень малый температурный градиент, для большей части СОО можно принять тепловой режим как квазистационарный изотермический. СОО представляет собой замкнутую систему, в которой по аппаратам и трубопроводам осуществляется циркуляция воды с помощью перемешивающего устройства – насосов. С термодинамической точки зрения СОО является открытой материальной системой, поскольку есть массо- и теплообмен с окружающей средой. В СОО протекают химические реакции и физико-химические процессы. Реакции протекают во всех фазах – в жидкой (равновесные химические реакции), твердой (отложения малорастворимых веществ, внутренняя коррозия и растворение продуктов коррозии) и газовой (массообмен с воздухом летучими компонентами). Для таких случаев уравнения материального и теплового балансов приводятся только в общем виде (в виде дифференциальных уравнений с частными производными). Чтобы сделать их пригодными для проведения инженерных расчетов, необходимо детальное рассмотрение конкретной системы с целью определить допустимые упрощения, позволяющие максимально просто, но адекватно описать систему.

В общем виде принципиальную схему и структуру потоков СОО ТЭС для расчета материального баланса можно представить как показано на рис. 2. Дальнейшее упрощение схемы не представляется возможным.

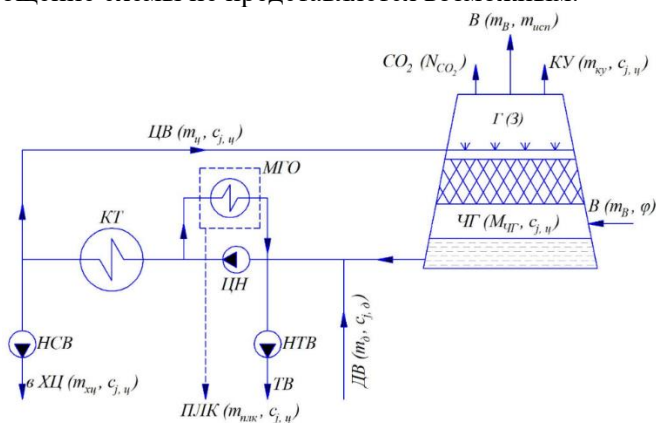


Рис. 2. Принципиальная схема системы обратного охлаждения ТЭС для расчета материального баланса: Условные обозначения: Г – градирня; ЧГ – чаша градирни; ЦН – циркуляционный насос; КТ – конденсаторы турбин; НСВ – насос сырой воды; НТВ – насос технической воды; ДВ – добавочная вода; ЦВ – циркуляционная вода; МГО – маслогазоохладители и другое теплообменное оборудование, в т.ч. включенные очистные ТЭС; В – воздушный поток; КУ – капельный унос; ПЛК – промливневая канализация. В скобках указано число аппаратов

В СОО два основных материальных входа – добавочная вода (из р. Чирчик, $m_{д}, c_{j,д}$) и воздушные потоки в градирнях ($m_{в}, \varphi$ – влажность). Есть еще небольшой по объему возврат шламовых вод ХВО, которым в первом приближении можно пренебречь, либо считать постоянным (примерно $2,2 \frac{м^3}{час}$). Выходные потоки представлены расходом воды в химический цех на ВПУ («сырая» вода, $m_{хц}, c_{j,ц}$), испарением воды в градирнях ($m_{исп}$), капельным уносом циркуляционной воды в градирнях ($m_{ку}, c_{j,ц}$) и уносом углекислоты с воздушным потоком (m_{CO_2}). Существует еще непостоянный во времени слив циркуляционной воды в промливневую канализацию (за счет перелива воды в градирнях и утечек с трубопроводов и оборудования ТЭС) и забор циркуляционной (технической) воды на нужды цехов (ТВ).

Вывод уравнений для расчета материального баланса СОО ТЭС. Прежде всего, проведем допустимые упрощения и определим ограничения. В частности, важнейшим является гидродинамическая обстановка или сложность структуры потока. Логически в качестве модели для СОО подходит комбинированная модель, построенная как совокупность ячеек различного типа и разных размеров, соединенных последовательно и параллельно.

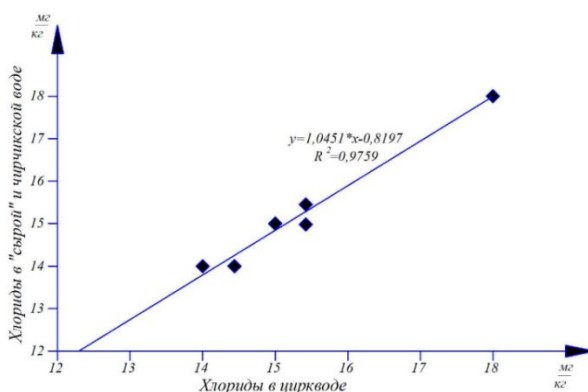


Рис. 3. Концентрация хлоридов в различных частях СОО ТЭС и в добавочной волжской воде в момент времени τ_i в ходе эксперимента в июле 2022 г. Средняя концентрация хлоридов в добавочной волжской воде – $12,3 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}$

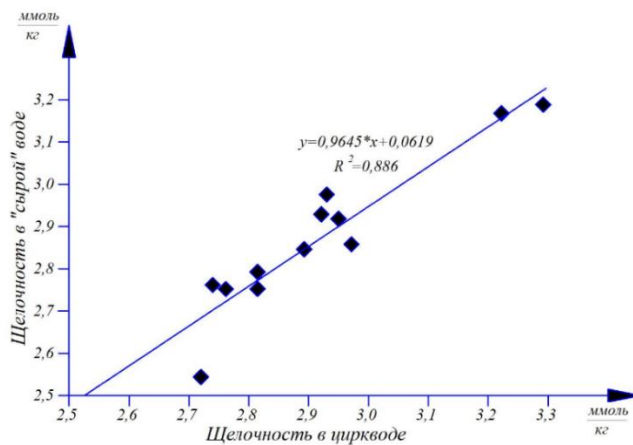


Рис. 4. Общая щелочность в различных частях СОО ТЭС в момент времени τ_i в ходе эксперимента в июле 2022 г. Общая щелочность добавочной чирчикской воды – $2,305 \frac{\text{ммоль}}{\text{кг}}$

С целью определения гидродинамической обстановки в СОО были проведены прямые эксперименты. В ходе плановых экспериментов в мае и июле 2022 г. в различных частях СОО дважды в день (в 10:00 и 14:00) определяли химический состав воды. Из соображений вероятных максимальных отличий точки контроля были выбраны – (1) вода на выходе из СОО («сырая» вода на ВПУ); (2) вода в чаше градирни (циркувода) и (3) вода в самотечном колодце (циркувода). При этом точки контроля (1) и (2) разделяют градирни, где происходят процессы, максимально изменяющие состав воды (испарение и улетучивание CO_2), а точки (1) и (2) – КТ, циркунасос и вход добавочной воды. Статистический анализ концентраций растворенных компонент в выходном потоке («сырая» вода на ВПУ) и различных

точках СОО в момент времени τ_i не показывает достоверного различия (рис. 3 и 4). Это также касается веществ, заведомо активно участвующих в химических реакциях и физико-химических процессах. Их содержание отражает общая щелочность воды. Для определенного момента времени щелочность в разных частях СОО одинакова в пределах ошибки опыта и достоверно отличается от щелочности добавочной воды. Такая закономерность характерна для других периодов работы. На рис. 5 представлено сопоставление среднемесячных значений общей щелочности за последние пять лет.

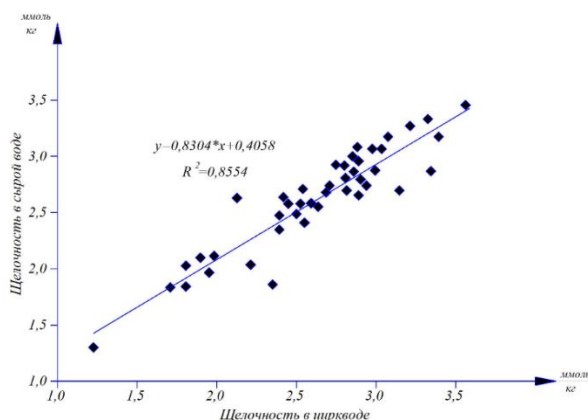


Рис. 5. Соотношения общей щелочности (среднемесячные значения) в циркуде и «сырой» воде в СОО ТЭС в 2020 – 2022 гг.

Суммируя вышеизложенное, можно записать для СОО. Тип системы – проточная (непрерывно действующая), замкнутая, открытая материальная; структура потока – идеальное смешение; режим работы – нестационарный, тепловой режим работы – изотермический (квазистационарный). Химические, биохимические и физико-химические процессы в системе – нестационарные.

$m_i, c_j \neq const$. Потоки и концентрации компонент (веществ) в потоках непостоянны во времени, т.е. $(m_i)_\tau, (c_j)_\tau = f(\tau)$.

$M_o, M_{чг} \neq const$. Массы воды в системе и отдельных ее частях непостоянны во времени – $(M_o)_\tau, (M_{чг})_\tau = f(\tau)$.

Баланс СОО по массе воды записывается как:

$$(m_d)_\tau \cdot d\tau - (m_{исп})_\tau \cdot d\tau - (m_y)_\tau \cdot d\tau - (m_{хц})_\tau \cdot d\tau - (m_{плк})_\tau \cdot d\tau = d(M_o)_\tau \quad (5)$$

Баланс по -ой не превращающейся и не переходящих в другие фазы компоненты:

$$(m_d)_\tau \cdot (c_{j,d})_\tau \cdot d\tau - (m_y)_\tau \cdot (c_{j,y})_\tau \cdot d\tau - (m_{хц})_\tau \cdot d(c_{j,хц})_\tau \cdot \tau - (m_{плк})_\tau \cdot (c_{j,плк})_\tau \cdot d\tau = (M_o)_\tau \cdot d(c_{j,o})_\tau \quad (6)$$

Для остальных компонент:

$$(m_d)_\tau \cdot (c_{j,d})_\tau \cdot d\tau = (m_y)_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau + (m_{хц})_\tau \cdot d(c_{j,хц})_\tau \cdot \tau + (m_{плк})_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau + (M_o)_\tau \cdot d(c_{j,c})_\tau + dN_{j,c}. \quad (7)$$

где $N_{j,c}$ – количество компоненты, превратившееся в другие компоненты в результате химических реакций или перешедшее в другие фазы из циркуды.

Таким образом, получаем систему из $m + 1$ простых дифференциальных уравнений, которая представляет собой модель, описывающая перемещение, накопление и превращение компонент и потоков в СОО. Уравнения 5 – 7 можно представить в форме определенного интеграла:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_d)_\tau \cdot (c_{j,d})_\tau \cdot d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_y)_\tau \cdot (c_{j,c})_\tau \cdot d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} (m_{хц})_\tau \cdot d(c_{j,хц})_\tau \cdot \tau = \int_{c_{j,c1}}^{c_{j,c2}} (M_o)_\tau \cdot d(c_{j,c})_\tau + \int_{N_{j,c1}}^{N_{j,c2}} dN_{j,c}; \quad (8)$$

граничные условия: при $\tau = \tau_1$, $c_{j,c} = c_{j,c1}$, $N_{j,c} = N_{j,c1}$, $M_o = M_{o1}$, $\tau = \tau_2$, $c_{j,c} = c_{j,c2}$, $N_{j,c} = N_{j,c2}$, $M_o = M_{o2}$.

В реальных условиях известными являются значения расхода добавочной воды, расхода воды в химцех, концентрации веществ в добавочной, циркуляционной и «сырой» (поступает в ХЦ из СОО) воды. Это входные параметры модели. Неизвестными или требующими уточнения являются величины испарения, капельного уноса и иных утечек, количество образующихся осадков.

Уравнения вида 8 возможно разрешить в явном виде методом квадратур относительно средних значений параметров для временного интервала $\Delta\tau$. Уравнения были аппроксимированы системой алгебраических уравнений.

Совместное решение интегральных форм уравнений 5 и 6 для компонент не участвующих в химических превращениях и межфазных переходах позволяет найти расходы воды на испарение и утечки (капельной унос, расход в ПЛК и на нужды цехов – расход технической воды):

$$\bar{m}_y = \bar{m}_d \cdot \frac{\bar{c}_{j,d}}{\bar{c}_{j,c}} - \frac{\bar{M}_o}{\bar{c}_{j,c}} \cdot \frac{\Delta c_{j,c}}{\Delta\tau}; \quad (9)$$

$$m_y = m_{ку} + m_{хц} + m_{плк} + m_{пр}; \quad (10)$$

$$\bar{m}_{исп} = \bar{m}_d - m_y - \frac{\Delta M_o}{\Delta\tau}. \quad (11)$$

Дополнительный учет уравнений баланса для остальных компонент (осаждаемых веществ и углекислоты) позволяет определить скорости образования осадков в СОО и уноса CO_2 :

$$\frac{\Delta N_{j,c}}{\Delta\tau} = \bar{m}_d \cdot \bar{c}_j - \bar{m}_y \cdot \bar{c}_{j,c} - \bar{M}_o \cdot \frac{\Delta c_{j,c}}{\Delta\tau}. \quad (12)$$

Черта сверху означает среднее значение параметра за период времени

Система алгебраических уравнений 10 – 12 использовалась далее для расчета материального баланса СОО ТЭС путем обработки массива данных по значениям объема потоков и концентрациям веществ в потоках.

Далее, для определения зависимости степени концентрирования воды СОО от времени, разрешали исходную систему дифференциальных уравнений 5 – 6 для не участвующих компонент. Представим основное уравнение в виде:

$$m_d \cdot c_{j,d} \cdot d\tau - m_y \cdot c_{j,\text{ц}} \cdot d\tau = M_o \cdot dc_{j,\text{ц}} + dN_{j,\text{ц}}, \quad (13)$$

где m_y – все виды ухода (утечек) циркулирующей воды в жидком виде. Справедливо $m_y + \frac{\Delta M}{\Delta \tau} = m_d - m_{\text{исп}}$. Учтем, что для не участвующих компонент $dN_j = 0$ и обозначим $c_{j,\text{ц}} = x$. Тогда после преобразования уравнение 13 будет:

$$\frac{m_d}{m_d - m_{\text{исп}}} \cdot c_{j,d} \cdot d\tau - x \cdot d\tau = \frac{M_o}{m_d - m_{\text{исп}}} \cdot dx; \quad (14)$$

или

$$\left(\frac{m_d}{m_d - m_{\text{исп}}} \cdot c_{j,d} - x \right) \cdot d\tau = \frac{M_o}{m_d - m_{\text{исп}}} \cdot dx. \quad (15)$$

После разделения переменных интегрируем при следующих граничных условиях – при $\tau_1, c_{j,\text{ц}} = c_{j,\text{ц}1}$; при $\tau_2, c_{j,\text{ц}} = c_{j,\text{ц}2}$:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{m_d - m_{\text{исп}}}{M_o} \cdot d\tau = \int_{c_{j,\text{ц}1}}^{c_{j,\text{ц}2}} \frac{dx}{\left(\frac{m_d}{m_d - m_{\text{исп}}} \cdot c_{j,d} - x \right)}. \quad (16)$$

Представленное интегральное выражение мы можем решить только приближенно, т.к. $m_d, m_{\text{исп}}$ и M_o зависят от времени, но вид зависимости нам неизвестен. Например, по методу квадратур можно взять их средние значения за выбранный период времени. Тогда интеграл решается аналитически. В итоге получаем:

$$\frac{\bar{m}_d - \bar{m}_{\text{исп}}}{M_o} \cdot d\tau = \ln \left(\frac{\bar{\varphi} \cdot c_{j,d} - c_{j,\text{ц}1}}{\bar{\varphi} \cdot c_{j,d} - c_{j,\text{ц}2}} \right); \quad (17)$$

где $\frac{\bar{m}_{\text{исп}} + \bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}}{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}} = \frac{\bar{m}_d}{\bar{m}_d - \bar{m}_{\text{исп}}} = \frac{\bar{m}_d}{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}} = \bar{\varphi}$ – среднее значение коэффициента упаривания (K_y) за период времени $\Delta \tau$. Здесь и далее изменение массы воды в СОО относится к единице времени ($\Delta M_o = \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}$). В отличие от приводимых в литературе уравнений (1-4), это отношение не равно коэффициенту концентрирования, т.е. $\varphi \neq K_k$; $K_k = \frac{c_{j,\text{ц}}}{c_{j,d}}$. Уравнение 17 можно представить в виде экспоненты:

$$\frac{\bar{\varphi} \cdot c_{j,d} - c_{j,\text{ц}1}}{\bar{\varphi} \cdot c_{j,d} - c_{j,\text{ц}2}} = e^{-\left(\frac{\bar{m}_d - \bar{m}_{\text{исп}}}{M_o} \right) \cdot \Delta \tau}. \quad (18)$$

Преобразованием уравнения (18) можно получить зависимость концентрации компонент (веществ) в воде СОО от времени, скорости потоков и исходных концентраций веществ в потоках:

$$c_{j,\text{ц}2} = \frac{\bar{m}_d}{\bar{m}_y + \Delta M_o} \cdot c_{j,d} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}}{M_o} \right)} \right) + c_{j,\text{ц}1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}}{M_o} \right)}. \quad (19)$$

Для коэффициента концентрирования эта зависимость будет:

$$K_{к2} = \frac{c_{j,ц2}}{c_{j,д}} = \frac{\bar{m}_д}{\bar{m}_y + \Delta M_o} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}}{M_o}\right)} \right) + \frac{c_{j,ц1}}{c_{j,д}} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}}{M_o}\right)}. \quad (20)$$

Принимаем, что $\frac{\Delta M_o}{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}} = \bar{\tau}$ – среднее время пребывания добавочной воды в СОО, а $\frac{\bar{m}_y}{M_o} \cdot \Delta \tau = \frac{\Delta \tau}{\tau} = \gamma$ – кратность обновления (замены) воды в СОО. Тогда коэффициент концентрирования в конце временного интервала (для $\tau = \tau_2$) будет:

$$K_{к2} = \bar{\varphi} \cdot (1 - e^{-\gamma}) + K_{к1} \cdot e^{-\gamma}; \quad (21)$$

где $K_{к1}$ – коэффициент концентрирования в начале временного интервала (для $\tau = \tau_1$). Время, за которое происходит изменение состава циркуляционной воды (от $c_{j,ц1}$ до $c_{j,ц2}$) можно определить по уравнению:

$$\Delta \tau = \frac{M_o}{\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}} \cdot \ln \left[\frac{\bar{m}_д \cdot \bar{c}_{j,д} - \left(\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}\right) \cdot c_{j,ц1}}{\bar{m}_д \cdot \bar{c}_{j,д} - \left(\bar{m}_y + \frac{\Delta M_o}{\Delta \tau}\right) \cdot c_{j,ц2}} \right]; \quad (22)$$

то же для коэффициента концентрирования во времени будет:

$$\Delta \tau = \bar{\tau} \cdot \ln \left(\frac{\bar{\varphi} - K_{к1}}{\bar{\varphi} - K_{к2}} \right). \quad (23)$$

Преобразованием уравнения 23 можно получить выражение для времени замены воды СОО на добавочную воду. Из условия режима идеального смешения следует, что в режиме непрерывной работы полной замены циркуляционной воды на добавочную воду не происходит. Можно говорить только о частичной замене воды, например, на 50%, 90%, 99%. Если обозначить долю замены воды СОО на добавочную – α ($\alpha \leq 0 \leq 1$), тогда, с учетом концентрирования воды в СОО, время замены воды на $\alpha \cdot 100\%$ (τ_α) будет:

$$\tau_\alpha = \bar{\tau} \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right). \quad (24)$$

Аналогично можно разрешить относительно доли оставшейся не замененной воды СОО. Если $1 - \alpha = \beta$ – доля оставшейся не замененной воды, то:

$$\tau_\beta = \bar{\tau} \cdot \ln \left(\frac{1}{\beta} \right) = -\bar{\tau} \cdot \ln \beta; \quad (25)$$

и

$$\beta = e^{-\frac{\tau_\beta}{\bar{\tau}}}. \quad (26)$$

Если заменить абсолютные значения потоков на их долю ($p_i, \%$) относительно циркулирующей воды $m_{ц} - \frac{m_{д} \cdot 100}{m_{ц}} = p_{д}$; $\frac{m_y \cdot 100}{m_{ц}} = p_y$; $\frac{m_{исп} \cdot 100}{m_{ц}} = p_{исп}$, тогда основные показатели в уравнениях (19 – 27) будут зависеть от процентной доли потоков, а $\bar{\tau}$ будет иметь смысл среднего времени оборота воды в СОО.

Если принять, что:

1. Время работы системы очень большое ($\tau \rightarrow \infty$).

2. Масса системы пренебрежимо мала ($M_o = 0$).
3. Изменение массы воды в системе не происходит ($\Delta M_o = 0$).
4. Все водные и воздушные потоки стационарны, т.е. постоянны во времени ($m_i = const$).
5. Концентрации компонент (веществ) в добавочной воде постоянны ($c_{j,d} = const$).

6. В воде СОО независимые компоненты j не участвуют в химических превращениях и межфазных переходах, т.е. не попадают в отложения и в газовую фазу, то основное уравнение 20 упрощается до известного в литературе уравнения:

$$\bar{K}_y = \frac{\bar{c}_n}{\bar{c}_d} = \frac{\bar{m}_d}{\bar{m}_d - \bar{m}_{исп}}. \quad (27)$$

Таким образом, известное уравнение представляет собой выражение частного случая идеальной системы, для которой выполняются условия, изложенные выше (условия 1 – 6). Как показывает опыт, систему, близкую к идеальной, возможно воспроизвести только в лабораторных условиях. Реальные СОО ТЭС далеко не идеальны и требуют для своего описания более сложной системы уравнений (модели).

Заключение. На тепловых электростанциях Узбекистане широкое распространение получила бессточная система оборотного охлаждения, при которой вода наиболее благоприятного и постоянного качества и подогретая в конденсаторе турбин используется на водоподготовительной установке тепловая электростанция. Поскольку в система оборотного охлаждения используется техническая необработанная вода, на поверхностях теплообмена в конденсаторах турбин образуются отложения малорастворимых веществ (накипь). Как считается, причина накипеобразования – концентрирование малорастворимых компонентов воды в результате испарения воды в градирнях. Из-за низкой теплопроводности отложений, образующихся на поверхности теплообмена конденсаторов, увеличивается температурный напор. Как известно из научно-технической литературы, давление в конденсаторах турбин зависит от загрязнения поверхности охлаждения. Из-за этого ухудшается вакуум. Ухудшение вакуума приводит к перерасходу пара.

Литература

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
2. Буров В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П. и др. Тепловые электрические станции. – М.: изд-во МЭИ, 2005. – 454 с.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
4. Vlasov A.V., Dachkov G.V., Solodukhin A.D., Fisenko S.P. // Institute of Mechanical Engineering Conference Transaction. London. 1996. No 3. Pr. 565-573.
5. Кот А.А., Бондарь Ю.Ф., Тройский Р.К. Прогнозирование солевого состава воды в оборотных системах охлаждения // Теплоэнергетика. 1978. №3, – С. 58-60.

6. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Силов И.Ю., Смирнов А.Ю., Муртазин А.И. Математическое моделирование материальных потоков в системе оборотного охлаждения ТЭС // Проблемы энергетики. Известия вузов. 2008. №3-4, – С. 28-34.
7. Царик Д.Ф. Методика определения средней толщины слоя накипи // Водоснабжение и санитарная техника. 1990. №7. – С. 9-10.
8. Балабан-Ирменин Ю.М., Богловский А.В., Васина Л.Г., Рубашов А.М. Закономерности накипеобразования в водогрейном оборудовании систем теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. № 3, – С. 10-16.
9. Aliev A. F. “Prevention of scale formation in circulating service water supply systems using highly mineralized waters,” Therm. Eng. 53, 644–647 (2006).
10. Johannsen P., Karlapudi R., Reinhold G. “High pressure reverse osmosis for wastewater minimization and zero liquid discharge applications,” Desalination 199, 84–85 (2006).
11. Dunn R.F. El-Halwagi M. Process integration technology review: Background and applications in the chemical process industry. Chem. Technol. Biotechnol. 2003, 78, 1011–1021.
12. Sun W., Wang Y., Zhang, F., Zhao Y. Dynamic allocation of surplus byproduct gas in steel plant by dynamic programming with reduced state space algorithm. Eng. Opt. 2018, 50, 1578–1592.
13. Sun J., Feng X., Wang Y. Cooling-water system optimisation with a novel two-step sequential. Appl. Therm. Eng. 2015, 89, 1006–1013.
14. Rahmani K. Reducing water consumption by increasing the cycles of concentration and Considerations of corrosion and scaling in a cooling system. Appl. Therm. Eng. 2017, 114, 849–856.
15. Vinogradov V.N., Smirnov B.A., Zhadan A.V., Avan V.K. “Improving the efficiency of clarifiers for coagulation treatment of water,” Therm. Eng. 57 (8), 653 (2010).
16. Козюлина Е.В., Ларин Б.М. Применение математической модели измерения качества конденсата в разработке тренажера ВХР энергоблока 300 МВт // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии». Иваново: 2003, – С. 199-201.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 621.365.31

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕЗИСТИВНОГО ИЛИ
КОМБИНИРОВАННОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6-10 КВ НА
ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ****Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров, Ш.С. Самиев**

Мақолада экскаваторнинг юқори кучланишли электр юритмаларини ишлаш режимларининг турли хил вариантлари, электр тармогида гайритабиий режимларнинг пайдо бўлиши эҳтимоли ва аварияларни тезда локализация қилиши имкониятлари кўриб чиқилди. Юқори кучланишли электр юритмаларининг электр тармоқларини изоляция қилинган нейтрал режимдан, нейтрал қаршиликли ерга улаш режимга ўтказиши ва модернизация қилиши келтирилган. Ёйнинг ёниши муддати ва унинг сўниши шартларига ёй ёниши жойидаги ўтиши қаршилиги, ёй канали билан тўғридан-тўғри алоқа қиладиган диэлектрик тури, уни совутиши интенсивлиги, ёй ёнишидаги босим ҳамда унинг чўзилиши имконияти ва бошқалар. Тог-кон саноатининг 6-10 кВ тармоқларининг юқори вольтли ускуналари кўпинча ўта оғир иш шароитида ишлайди, бу эса катта миқдордаги шикастланишларга олиб келади, уларнинг катта қисми бир фазали ерга улаш билан боғлиқ. Бир фазали ерга улаш (айниқса, узилди ёй орқали бир фазали ерга улаш бўлса) ва шунга мос равишда бу ҳолда юзага келадиган юқори вольтли ускунанинг шикастланишига олиб келадиган ҳаддан ташқари кучланиш жараёнлари кўп жиҳатдан аниқланади. тармоқ нейтрал ерга улаш режими. Электр таъминоти ишончилигини ошириши, хом ашёни қазиб олиши ва қайта ишлаш бўйича ортиб бораётган ишлаб чиқариш режалари бажарилишини таъминлаш учун тог-кон саноати корхоналари бугунги кунда нейтрал режим муаммосига фаол қизиқиши билдирмоқда.

Калит сўзлар: энергетика тизими, электр энергияси, реактор, нейтрал ерга улаш.

В статье рассмотрены различные варианты режимов заземления высоковольтного электропривода экскаватора, вероятностей возникновения аномальных режимов в электрической сети и возможности быстрой локализации аварий. Обоснованна модернизация электрических сетей высоковольтного электропривода с режима изолированной нейтрали на режим резистивного заземления нейтрали. На длительность горения дуги и условия ее гашения существенное влияние оказывают переходное сопротивление в месте горения дуги, вид диэлектрика, непосредственно контактирующего с дуговым каналом, интенсивность ее охлаждения, давление в зоне горения дуги, возможность ее растяжения и др. Высоковольтное оборудование сетей 6-10 кВ предприятия горнорудной промышленности зачастую работает в экстремально тяжелых условиях эксплуатации, приводящих к значительному числу повреждений, значительная часть которых приходится на долю однофазных замыканий на землю.

Процессы при однофазных замыканиях на землю (особенно при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу) и, соответственно, возникающие при этом перенапряжения, приводящие к повреждению высоковольтного оборудования, во многом определяются режимом заземления нейтрали сети. Для повышения надежности электроснабжения, обеспечения выполнения возрастающих производственных планов добычи и переработки сырья предприятия горнорудной промышленности проявляют активный интерес к проблеме режима нейтрали.

Ключевые слова: энергосистема, электричество, реактор, заземление нейтрали.

The article considers various options for grounding modes of a high-voltage electric drive of an excavator, the probabilities of occurrence of abnormal modes in the electrical network and the possibility of rapid localization of accidents. It is justified to modernize the electrical networks of a high-voltage electric drive from the isolated neutral mode to the neutral resistive grounding mode. The duration of the arc burning and the conditions for its extinction are significantly affected by the transition resistance at the place of arc burning, the type of dielectric in direct contact with the arc channel, the intensity of its cooling, the pressure in the arc burning zone, the possibility of its stretching, etc. High-voltage equipment of 6-10 kV networks of the mining industry often operates in extremely difficult operating conditions, leading to a significant number of damages, a significant part of which is due to single-phase ground faults. Processes in case of single-phase earth faults (especially in case of single-phase earth faults through an intermittent arc) and, accordingly, the overvoltages that occur in this case, leading to damage to high-voltage equipment, are largely determined by the network neutral grounding mode. To improve the reliability of power supply, ensure the implementation of increasing production plans for the extraction and processing of raw materials, mining enterprises are currently showing an active interest in the problem of the neutral mode.

Key words: energy system, electricity, reactor, neutral grounding.

В системах электроснабжения рудников Навоийский горно-металлургический комбинат (НГМК) сети напряжением 6 и 10 кВ работают с изолированной нейтралью. Релейная защита от однофазных замыканий на землю в таких сетях в ряде случаев не способна селективно отключить аварийное присоединение и при этом вся сеть длительно находится под воздействием дуговых перенапряжений на время поиска повреждения.

В целях устранения недостатков сети с изолированной нейтралью предлагается высокоомное или низкоомное резистивное заземления нейтрали. Применение резистивного заземления нейтрали позволяет избавиться от опасных перенапряжений и повышает быстрдействие и селективность релейной защиты.

Необходимость применения резистивного заземления нейтрали особенно остро стоит в питающих сетях 6 - 10 кВ с мощной двигательной нагрузкой [1-4].

Заземляющий резистор может подключаться либо к нейтрали обмотки высшего напряжения специального трансформатора, либо непосредственно к нейтрали обмотки силового трансформатора, питающего электрические сети.

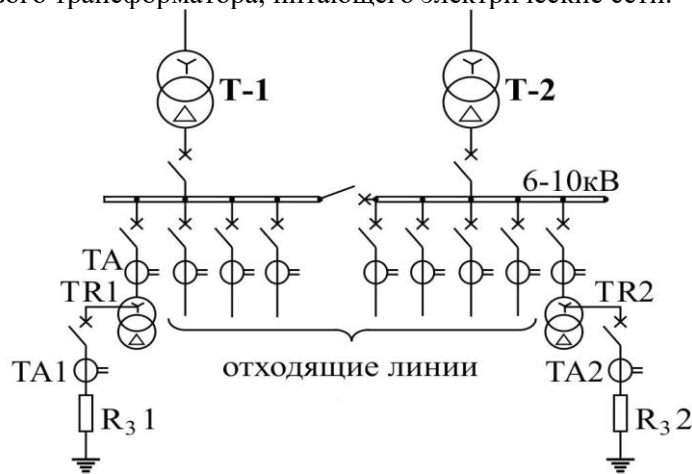


Рис. 1. Схема включения заземляющих резисторов в сеть 6-10 кВ

На рис. 2. показана локальная сеть 6 кВ с присоединениями электродвигателей со схемой соединения обмоток Δ/Y , которые получают питание от трансформаторов [5-10].

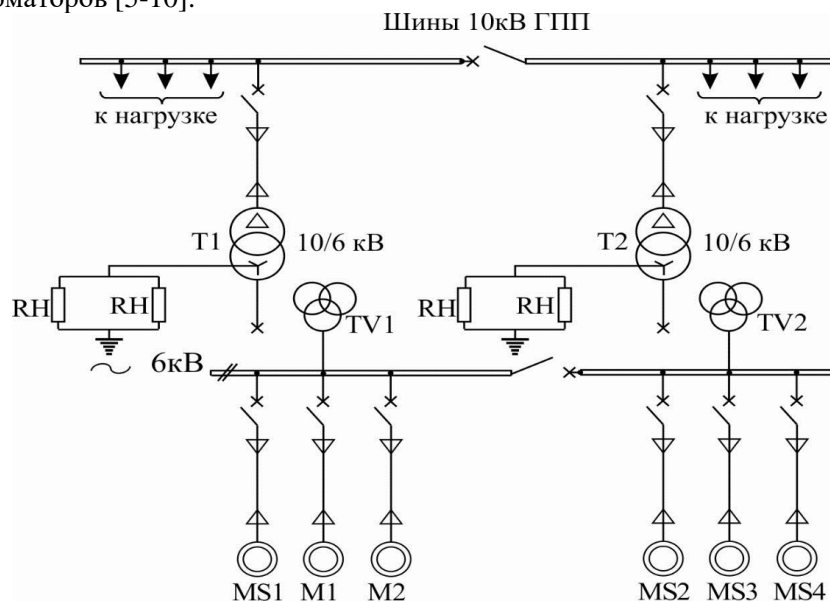


Рис.2. Локальная сеть 6 кВ с присоединениями электродвигателей со схемой соединения обмоток

Как правило, один из выводов этой обмотки следует, соединять с заземляющим устройством подстанции.

Подключение к выводам соответствующих обмоток питающих трансформаторов дает возможность селективно выявлять однофазные замыкания на землю на сборных шинах 6-10 кВ и в цепи обмотки того же напряжения питающего трансформатора, а также позволяет сохранить стабильный уровень тока замыкания на землю, без отключения одного из трансформаторов для присоединения заземляющих резисторов, что особенно важно для электрических сетей с повышенными требованиями к технике безопасности.

Трансформаторы для присоединения заземляющих резисторов должны, как правило, подключаться к электрическим сетям выключателями, а также допускается подключение их при помощи разъединителя, с установкой в цепи его высшего напряжения предохранителя.

В цепи заземляющего резистора должны предусматриваться разъединитель и трансформатор тока, а при необходимости предохранитель для защиты заземляющего резистора. Должна быть предусмотрена блокировка, исключающий отключение указанного разъединителя под нагрузкой.

Подключение заземляющих резисторов к нейтрали трансформаторов TR рекомендуется выполнять сталеалюминиевыми проводами или шинами сечением 50-70 мм², а при действии защиты от однофазных замыканий на землю на отключение и токах замыкания на землю до 50 А - сечением 16-25 мм².

Выбор параметров заземляющего резистора и трансформатора для его подключения. В качестве исходных данных для выбора заземляющего резистора R_z и трансформатора TR необходимы следующие данные.

1. Значение естественного емкостного тока однофазного замыкания на землю I_c, A .

Значение естественного емкостного тока однофазного замыкания на землю определяется измерением, если резистивное заземление выполняется для действующей электрической сети или расчетом, который приведен ниже.

Расчет значения емкостного тока однофазного замыкания на землю. Значение емкостного тока однофазного замыкания на землю (емкостная составляющая тока однофазного замыкания на землю) I_c, A электрических сетей определяется как сумма емкостных токов линий электропередачи всей электрически связанной сети $I_{c.l}$, электродвигателей напряжением 6-10 кВ, присоединенных к электрическим сетям - $I_{c.d}$ с учетом емкости распределительных устройств, относящихся к данной электрической сети:

$$I_c = (\sum I_{c.l} + \sum I_{c.d}) \cdot K_{py}; \quad (1)$$

где K_{py} - коэффициент, учитывающий увеличение емкостного тока однофазного замыкания на землю электрических сетей за счет емкости оборудования распределительных устройств.

Значение K_{py} принимается равным $1,05 - 1,1$ для воздушных и кабельных электрических сетей 6-10 кВ [2; 11-20; 8].

Собственный емкостный ток однофазного замыкания на землю отдельной кабельной линии электропередачи, состоящей из m проводов (кабелей) в каждой фазе, длиной l км определяется по формуле:

$$I_{c.l} = I_{c.o} \cdot l \cdot m, \quad A; \quad (2)$$

где $I_{c.o}$ - значение собственного емкостного тока единицы длины (1 км) кабельной линии с одним проводом (кабелем) в фазе, $A/км$

Зарядные и емкостные токи замыкания на землю, кабелей 6 -10 кВ приведены в табл.1.

Таблица 1

Сечение кабеля, мм	Кабели 6 кВ		Кабели 10 кВ	
	Зарядный ток, $A/км$	Ток замыкания на землю, $A/км$	Зарядный ток, $A/км$	Ток замыкания на землю, $A/км$
16	0,24	0,37	0,33	0,52
25	0,32	0,46	0,42	0,62
35	0,36	0,52	0,47	0,69
50	0,41	0,59	0,54	0,77
70	0,49	0,71	0,6	0,9
95	0,51	0,82	0,69	1,0
120	0,62	0,89	0,74	1,1
150	0,7	1,1	0,84	1,3
185	0,79	1,2	0,95	1,4
240	0,89	1,3	1,06	1,6
300	1,00	1,5	1,16	1,8

Собственный емкостный ток отдельных электродвигателей (ЭД) вычисляется по формуле:

$$I_{c.d} = \frac{2\pi f_{ном} \cdot 3C_d \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}}, \quad A \quad (3)$$

Значение $I_{c.d}$ измеряется в амперах, если номинальная частота сети $f_{ном}$ выражена в герцах, емкость фазы статора - в фарадах, а номинальное напряжение электродвигателя $U_{ном}$ в вольтах.

Емкость фазы C_d статора принимается по данным завода-изготовителя.

Следует учитывать возможное увеличение I_c из-за развития электрической сети в ближайшие 10 лет. Если данные о предстоящем развитии сети отсутствуют, то расчетное значение I_c принимается примерно на 25% больше, чем определено расчетным путем.

2. Значение напряжения естественного смещения нейтрали $U_{o,nc}$ в сети с изолированной нейтралью, для которой предполагается установить резистивное заземление нейтрали.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

3. Параметры (ток, напряжение, выдержки времени) срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю.

Выбор параметров заземляющего резистора R_z и трансформатора TR является комплексной задачей, которую рекомендуется решать одновременно с выбором принципов действия и параметров срабатывания релейных защит элементов от однофазных замыканий на землю проектируемой сети с резистивным заземлением.

Выбор заземляющего резистора определяется следующими основными условиями:

- а) номенклатурой и техническими характеристиками резисторов, выпускающихся или разработанных и готовых к выпуску;
- б) необходимым для эффективной работы сети с резистивным заземлением значением тока замыкания на землю;
- в) ограничением по величине тока замыкания на землю, которое определяется условиями безопасной эксплуатации;
- г) количеством энергии, поглощаемой резистором в процессе адиабатического, нагревали рассеиваемой в окружающую среду;
- д) надежной работой защиты от однофазных замыканий на землю.

В качестве заземляющего резистора могут использоваться как отдельные резисторы, данные которых приведены в табл.2, так и группы, составленные из этих резисторов, соединенных параллельно или последовательно.

Таблица 2

Емкостной ток однофазного замыканий на землю, I_o, A	Сопротивление R_z (Ом) при напряжении сети, кВ	
	6 кВ	10 кВ
0,7-2	3	4
3-4	2	3
5...6	1	2
7...8	1	1,5
9...10	0,75	1

0,7-2- для сетей, оснащенных защитами от замыкания на землю типа ЗЗП-I значения сопротивления резистора в указанном диапазоне емкостных токов должны быть увеличены в 2 раза.

Выбор параметров заземляющего резистора в сетях с повышенными требованиями к безопасной эксплуатации. Целесообразное относительное значение активной составляющей тока однофазного замыкания на землю определяется из диапазона значений I_{a^*} , полученного в результате решения системы неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{a^*} \geq \sqrt{\left(I_{o3, \max} \cdot \frac{K_{\psi, \min}}{I_o} \right)^2 - 1} \\ I_{a^*} \geq 0,5 \dots 1 \\ I_{a^*} \leq I_{a^* \text{ доп}} \end{array} \right. ; \quad (4)$$

$$I_{a^*} \geq 0,5 \dots 1 \quad (5)$$

$$I_{a^*} \leq I_{a^* \text{ доп}} \quad (6)$$

где $I_{a^*} = \frac{I_a}{I_o}$ - относительное целесообразное значение активной составляющей тока

однофазного замыкания на землю, $o.в$;

I_o - наибольшее значение естественного емкостного тока однофазного замыкания на землю данной электрической линии, A ; $I_{a^* \text{ доп.}}$ - допустимое, с точки зрения техники безопасности значение, активной составляющей тока однофазного замыкания на землю; $I_{оз. \text{ max}}$ - наибольший из токов срабатывания защит от однофазных замыканий на землю в рассматриваемой электрической линии, A ; $K_{ч. \text{ min}}$ - наименьшее допустимое нормативными материалами значение коэффициента чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю.

Принимается равным:

1,25 (1,5) - для ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности кабельной (воздушной) линий;

2 - для токовой направленной защиты нулевой последовательности (например, типа ЗЗП –I).

Неравенство (4) обеспечивает условия надежного срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю при K_3 в защищаемой зоне.

Выполнение неравенства $I_{a^*} \geq (0,5 \dots 1)$ позволяет использовать преимущества сети с резистивным заземлением, такие как: удовлетворительное гашение заземляющих дуг в кабельных сетях; отсутствие влияния токов при K_3 на информационные каналы и устройства связи; снижение по сравнению с сетью с изолированной нейтралью уровня перенапряжений на неповрежденных фазах при дуговом перемежающемся однофазном замыкании на землю - до $(2 \cdot 1 \dots 2 \cdot 4) U_{\phi}$; отсутствие перенапряжений на поврежденной фазе электрической сети в процессе дугового перемежающегося однофазного замыкания на землю [12; 15].

Неравенство (6) ограничивает выбор сопротивления резистора уровнем $I_{a^* \text{ доп.}}$ соответствующим допустимому значению напряжения прикосновения $U_{\text{пр. доп.}}(t)$ на заземленном электрооборудовании при непрерывном (металлическом) замыкании на землю, зависящему, в свою очередь, от времени существования $K_3^{(1)}$. Связь между $I_{a^* \text{ доп.}}$ и $U_{\text{пр. доп.}}(t)$ может быть записана в виде:

$$I_o R_{\text{зз}} \sqrt{I_{a^* \text{ доп.}}^2 + 1} \leq U_{\text{пр. доп.}}(t); \quad (7)$$

где $R_{\text{зз}}$ - сопротивление заземляющего устройства (для открытых горных предприятий составляет, как правило, около 4 Ом) или:

$$I_{a^* \text{ доп.}} \leq \sqrt{\frac{U_{\text{пр. доп.}}^2(t)}{I_o^2 R_{\text{зз}}^2} - 1}; \quad (8)$$

Расчет по формулам (8) позволяет выявить диапазон сопротивлений $R_3 = \frac{U_{\phi}}{I_{a^*} \cdot I_o}$ заземляющего резистора, удовлетворяющий вышеуказанным условиям.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В качестве заземляющего резистора R_3 могут использоваться отдельные резисторы из представленных в табл.3 или несколько таких резисторов, соединенных последовательно или параллельно.

Количество параллельно (m) и последовательно (n) включенных резисторов R_l , составляющих R_3 определяется из следующих условий:

1. Общее сопротивление $R_3 = \frac{nR_l}{m}$ должно входить в диапазон сопротивлений,

определенный по формулам (4)-(8) .

2. Ток, проходящий по каждому из резисторов R_l в длительном режиме, не должен превышать предельно допустимое по условиям нагрева значение сопротивления для соответствующего типа резистора R_l :

$$I_{RI} \leq I_{дон.R_l} \cdot \quad (9)$$

Значение I_{RI} определяется для двух режимов работы электрических сетей нормального, когда к заземляющему резистору приложено напряжение смещения нейтрали $U_{о.нс}$, обусловленное главным образом несимметрией емкостей фаз электрических сетей относительно земли, и аварийного режима однофазного замыкания на землю в такой реальной точке одного из элементов электрической сети, что защита от однофазных замыканий на землю этого элемента (присоединения) находится на грани срабатывания. В первом из этих двух режимов ток, проходящий через резистор R_l , определяется по формуле:

$$I_{RI.1} = \frac{U_{о.нс}}{nR_l} \cdot \quad (10)$$

Во втором режиме:

$$I_{RI.2} = \frac{I_{R_2}}{m} ; \quad (11)$$

где I_{R_3} - ток, проходящий через резистор R_3 в рассматриваемом режиме. В свою очередь значение тока I_{R_3} может быть определено как

$$I_{R_3} = I_{cз} \cdot I_{a*} \cdot \quad (12)$$

где $I_{cз}$ - ток в месте установки защиты на грани ее срабатывания, принят (с запасом)

$I_{R_3} = I_{cз}$. Если защита от замыканий на землю выполнена с использованием обычных токовых реле, то $I_{cз}$ принимается равным первичному току срабатывания защиты.

Если для защиты от однофазных замыканий на землю применена, например, направленная токовая защита типа ЗЗП-I, следует учитывать, что напряжение срабатывания этой защиты составляет 32 В, т.е 32% от полного напряжения смещения нейтрали, соответствующего однофазному замыканию на землю с током через заземляющий резистор, равным $I_{a*} \cdot I_c$. В этом случае второй из рассматриваемых режимов является определяющим:

$$I_{RI.2} = \frac{0,32U_{\phi}}{nR_l} \cdot \quad (13)$$

В табл.2. и 3. для заземляющих резисторов R_z составленных из различных типов резисторов, даны характерные для них значения I_a, R_z и предельные по условиям нагрева значения тока через $R_z - I_{доп}$.

Таблица 3

Сопротивление $R_z, Ом$					Значение $I_a = I_{a*} \cdot I_c, А$					Допустимое значение тока в R_z по условиям нагрева, A				
Параметры заземляющего резистора, составленного из резисторов РШ2-ССН₁														
220	110	73	55	44	$\frac{27.5}{18.4}$	$\frac{5.5}{32.7}$	$\frac{83}{49.3}$	$\frac{110}{65.4}$	$\frac{13.8}{81.8}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
440	220	147	110	88	$\frac{13.7}{8.2}$	$\frac{27.5}{16.4}$	$\frac{41.2}{24.5}$	$\frac{55}{32.7}$	$\frac{68.9}{40.9}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
660	330	220	165	132	$\frac{9.2}{5.5}$	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{27.5}{16.4}$	$\frac{36.8}{21.8}$	$\frac{45.9}{27.3}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
880	440	293	220	176	$\frac{6.9}{4.09}$	$\frac{13.8}{8.2}$	$\frac{20.7}{12.3}$	$\frac{27.5}{16.4}$	$\frac{34.4}{20.4}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
1100	550	367	275	220	$\frac{5.5}{3.3}$	$\frac{11}{6.5}$	$\frac{16.5}{9.8}$	$\frac{22}{13.1}$	$\frac{27.5}{16.4}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
1320	660	440	330	264	$\frac{4.6}{2.7}$	$\frac{9.2}{5.5}$	$\frac{13.8}{8.2}$	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{28.9}{13.6}$	1.65	3.3	4.9	6.6	8.2
Параметры заземляющего резистора, составленного из резисторов РШ2-ССН₂														
330	165	110	83	68	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{36.7}{21.8}$	$\frac{55}{32.7}$	$\frac{73.4}{43.8}$	$\frac{91.8}{54.5}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
660	330	220	165	132	$\frac{9.2}{5.5}$	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{27.5}{18.4}$	$\frac{38.8}{21.8}$	$\frac{45.9}{27.3}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
990	495	330	248	198	$\frac{6.1}{3.6}$	$\frac{12.2}{7.3}$	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{24.4}{14.5}$	$\frac{30.8}{18.2}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
1320	660	440	330	264	$\frac{4.6}{2.7}$	$\frac{9.2}{5.5}$	$\frac{13.8}{8.2}$	$\frac{18.4}{10.9}$	$\frac{23}{13.6}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
1650	825	550	413	330	$\frac{3.7}{2.2}$	$\frac{7.3}{4.4}$	$\frac{11}{6.5}$	$\frac{14.7}{8.7}$	$\frac{18.4}{10.9}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
1980	990	660	495	396	$\frac{3.08}{1.8}$	$\frac{6.1}{3.6}$	$\frac{9.2}{5.5}$	$\frac{12.2}{7.3}$	$\frac{15.3}{9.1}$	1.35	2.7	4.05	5.4	6.75
Параметры заземляющего резистора, составленного из резисторов РНВ на номинальное напряжение электрической сети 6 кВ														
690	345	230	172	138	5.2	10.4	15.6	20.9	26.0	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
1380	690	460	344	276	2.6	5.2	7.8	10.5	13.0	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
2070	1035	690	516	414	1.7	3.5	5.2	7	8.7	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
2760	1380	920	690	552	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
3450	1725	1150	860	690	1.04	2.1	3.1	4.2	5.2	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
4140	2070	1380	1032	828	0.87	1.7	2.6	3.5	4.3	0.93	1.86	2.79	3.72	4.65
Параметры заземляющего резистора, составленного из резисторов РНВ на номинальное напряжение электрической сети 10 кВ														
2760	1380	920	690	552	2.2	4.4	6.6	8.8	1.1	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3
5520	2760	1840	1380	1104	1.09	2.2	3.3	4.4	5.5	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3
8250	4140	2760	2070	1656	0.73	1.46	2.2	2.9	3.6	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3
11040	5520	3680	2760	2208	0.55	1.1	1.6	2.2	2.7	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3
13800	6900	4600	3450	2760	0.44	0.88	1.3	1.7	2.2	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3
16560	8280	5520	4140	3312	0.36	0.73	1.1	1.46	1.8	0.46	0.92	1.38	1.84	2.3

Выбор параметров заземляющего резистора в сетях без повышенных требований к безопасной эксплуатации. Целесообразное значение активной составляющей тока однофазного замыкания на землю выбирается из условий надежного срабатывания защит от однофазных замыканий на землю и из условия обеспечения наибольших преимуществ электрической сети с резистивным заземлением:

$$I_{a*} \geq K ; \quad (14)$$

$$I_{a*} \geq \frac{I_{oz.max} \cdot K_{ч.min}}{I_o} ; \quad (15)$$

где K - коэффициент, принимаемый больше единицы. Для локальных электрических сетей с электродвигателями напряжением 6 кВ и выше рекомендуется $K=3÷4$.

Выбранный заземляющий резистор набирается из m – параллельно и n - последовательно включенных резисторов R_l . Их количество определяется следующими условиями:

1. Общее сопротивление $R_3 = \frac{nR_l}{m}$ должно быть таким, чтобы значение $I_a = \frac{U_\phi}{R_3}$ соответствовало бы неравенствам (14) и (15).

2. Ток, проходящий по каждому из резисторов R_l в длительном режиме, не должен превышать предельно допустимое значение для каждого типа резистора R_l .

Заключение. Выбор рационального режима заземления нейтрали электрических сетей открытых горных карьеров проводился на основании анализа преимуществ и недостатков различных видов заземления нейтрали с учетом особенностей технологии производства.

Незначительная величина тока однофазного замыкания при изолированной нейтрали является причиной того, что такое замыкание невозможно отключить предохранителями и автоматами защиты. По этим причинам на горнорудных предприятиях необходимо модернизировать режим заземления нейтрали сетей 6-10 кВ, переводя её на заземление через резистор (резистивная система) или через резистор и дугогасящий реактор (ДГР) (комбинированная система).

Литература

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Государственная инспекция по надзору в электроэнергетике. Ташкент. 2005. 308 с.
2. Самойлович И.С. Режимы нейтрали карьерных электрических сетей средних напряжений. Киев. Изд-во «Наукова думка». 1974.
3. Дударев Л.Е., Велошек И.В. Выбор сопротивления резистора в нейтрали сетей 6-10 кВ. «Промышленная энергетика». 1989. № 6.

4. Хошимов Ф.А., Ишназаров О.Х., Таслимов А.Д. Резистивное заземление нейтрали сетей электроснабжения горнорудной промышленности. / Материалы международной научно-технической конференции «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». Навои, 22-23 ноября, 2018. С. 404-405.

5. Сарин Л.И., Ширковец А.И., Ильиных М.В. Опыт применения резистивного заземления нейтрали в электрических сетях // Энергетик. 2009. № 4. С.13-14.

6. Коробейников С.М., Сарин Л.И., Ильиных М.В. Особенности пробоя воздушного промежутка в опытах искусственного ОДЗ при различных режимах заземления нейтрали / Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2002. – С. 123-127.

7. Емельянов Н.И., Ширковец А.И. Актуальные вопросы применения резистивного и комбинированного заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ. // Энергоэксперт. 2010. – № 2. - С.44-50.

8. Титенков С.С. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю / Энергоэксперт, 2010. №2, - С. 36–43.

9. Катасонов С.М. Ограничение перенапряжений в сетях 6– 35 кВ с помощью резистивного заземления нейтрали // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. №18-1. – С. 97–100.

10. Комплектные распределительные устройства 6(10), 20, 35 кВ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moselectroshield.ru/upload/iblock/054/0543b7c728e3eb1c4f7e83885ffdc439.pdf>. – Дата доступа: 10.03.2016. 11. Шкаф частичного заземления нейтрали [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kga.ru/catalog/product/shkaf-chastichnogozazemleniya-neutrali>. – Дата доступа: 10.03.2016.

12. Трансформатор серии ТСН3-63/10-У3. Трехфазный сухой класса напряжения 6–10 кВ для защиты электросетей промышленных предприятий (для заземления нейтрали) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektrozavod.ru/sites/default/files/production/catalog/pdf/additional/TSN3-63-10.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2016/

13. Бруй С.Р. Резисторы для заземления нейтрали в сетях 6– 35 кВ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://static.pnpbolid.com/pdf/V-Conference-2008-19.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2016.

14. Евдокунин Г.А., Корепанов А.А. Перенапряжения, создаваемые вакуумными выключателями при коммутациях высоковольтных электродвигателей, и их ограничение с помощью ОНИ Тезисы докладов четвертой российской научно-технической конференции 1996, с. 27-31.

15. Халилова Ф.Х., Евдокунин Г.А., Таджибаева Л.И, Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений. // С.-Петербург, 1997, - С.67-131.

16. Евдокунин Г.А., Корепанов А.А. Ограничение с помощью ОПН перенапряжений в сетях 6-35 кВ при рачичных способах заземления // Санкт Петербург, 1997, - С. 44-52.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

17. Дипломный проект на тему "Заземление нейтрали электрической сети напряжением 6-10 кВ через резистор". Дерюга В.С., 2016.

18. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.

19. Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985.

20. Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова // Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие /– Томск: Изд-во ТПУ, 2006.

*Представлено Институт
проблем энергетики АН РУз*

УДК 621.314

**ОБЗОР ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ****Ш.Б. Умаров**

Мақолада юқори токли яримўтказгичли асбобларнинг ривожланиши босқичларини таҳлил қилиши, улардан фойдаланиши қувват диапазонлари ва частоталарини кенгайтиришини тадқиқот қилиши, шунингдек, юқори токли яримўтказгичли асбобларнинг асосидаги вентилли частота ўзгартиргичларини куч схемаларининг замонавий топологияларини ва жаҳоннинг этакчи фирмалари томонидан ишлаб чиқарилган автоном ток инвертерлари техник хусусиятларини ўрганиши натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: юқори токли яримўтказгичли асбоблар, вентилли частота ўзгартиргичи, автоном ток инвертори.

В статье приводятся результаты проведенного анализа этапов развития технологии производства высокоточных полупроводниковых приборов, исследовано расширение диапазонов мощностей и частот их использования, а также представлены сведения о современных топологиях силовых схем вентильных преобразователей, производимых ведущими мировыми фирмами. Приведены технические характеристики автономных инверторов тока, выполненные на основании использования высокоточных полупроводниковых приборов.

Ключевые слова: высокоточные полупроводниковые приборы, вентильный преобразователь частоты, автономный инвертор тока.

The article presents the results of the analysis of the stages of development of high-current semiconductor devices studies the expansion of power ranges and frequencies of their use, and presents information about modern power circuit topologies of valve converters produced by the world's leading firms. Technical characteristics of autonomous current inverters made on the basis of using high-current semiconductor devices are given.

Key words: high-current semiconductor devices, gate frequency converter, autonomous current inverter.

Развитие преобразовательных установок на основе полностью управляемых тиристоров привело к значительному росту разработки и внедрения высокоточных электронных устройств. По прогнозу немецкой статистической фирмы Statista Gm ВН в период с 2018 по 2029 год ожидается значительный рост рынка продаж автомобильных инверторов на основе металл оксидных полупроводниковых полевых транзисторов (MOSFET). Так, если уровень продаж в 2018 году составил 121,6 млн. долларов США, то в 2029 году этот показатель вырастет примерно в 68 раз и составит 8,3 млрд. долларов США. Такое интенсивное развитие элементной базы

силовой электроники способствует повышению удельных мощностей внедряемых преобразователей, значительно увеличивает спектр эксплуатационных, технических и экономических характеристик. Ниже на рис 1 приведена диаграмма этапов развития управляемых тиристоров и высоковольтных транзисторов [1, 2, 3].

Развитие технологий производства силовых приборов, расширение диапазонов мощностей и частот их использования, а также высокий спрос их на мировом рынке, привели к развитию топологий схем автономных инверторов тока (АИТ) и вентильных преобразователей в целом.

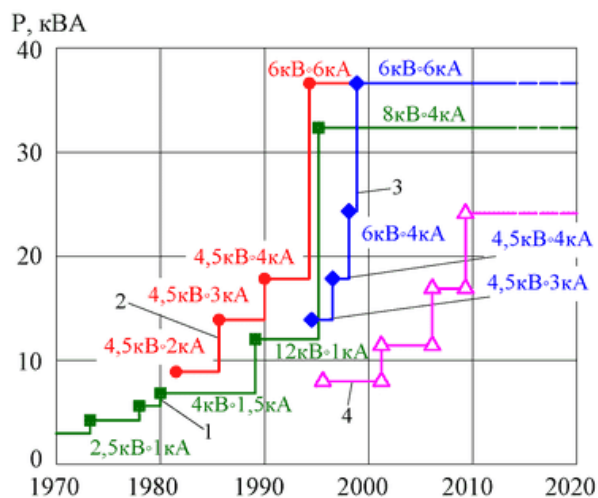


Рис. 1. Диаграмма этапов развития тиристоров и высоковольтных транзисторов:
 1 - традиционные неуправляемые тиристоры; 2 - запираемые тиристоры типа GTO, IGCT; 3 - запираемые тиристоры типа GCT; 4 - высоковольтные транзисторы типа IGBT, MOSFET

Перспективы «новых» топологий заключаются в разработке схем автономных инверторов (АИ) на базе синтеза гармонического состава выходных напряжений и токов инверторов. Ниже на рис. 2 представлена диаграмма, показывающая область использования современных типов полупроводниковых приборов в диапазоне мощностей и частот их переключения.

Развитие новых топологий полупроводниковых преобразователей в направлении силовой энергетической электроники предусматривает разработку многоуровневых и матричных схем автономных инверторов тока.

Многоуровневые преобразователи, в целях улучшения гармонического состава, предусматривают наращивание количества ступеней в формах выходных напряжений инверторов, а матричные – одноуровневые автономные инверторы тока, выполняют те же функции улучшения качества формы выходных напряжений методами широтно-импульсной модуляции (ШИМ), широтно-импульсного регулирования (ШИР), частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) и др. [4, 5].

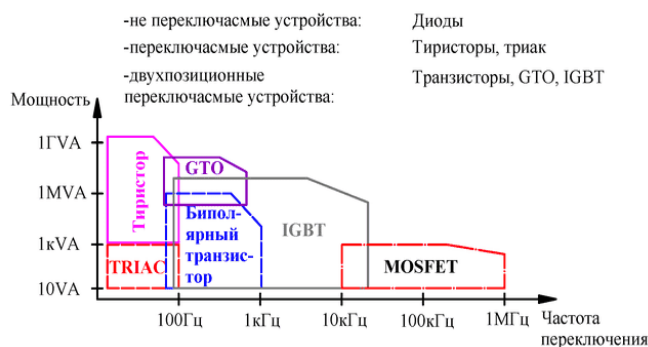


Рис. 2. Диаграмма, показывающая область использования современных типов полупроводниковых приборов в диапазоне мощностей и частот их переключения

Базовая топология трехуровневого однофазного АИТ на управляемых тиристорах представлена на рис.3 [6].

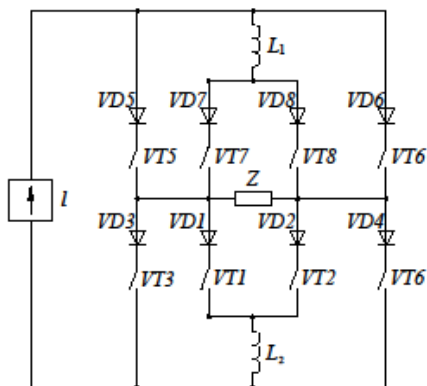


Рис. 3. Базовая топология трехуровневого однофазного АИТ

Направление развития схемных решений матричных преобразователей предусматривает установку конденсаторных фильтров со стороны питающего напряжения или нагрузки, а также в обе стороны одновременно. Такие условия возникают в связи с необходимостью организации устойчивой коммутации вентилей при ШИМ или других видов модуляции. Типовая схема таких преобразователей (АИТ с ШИМ) показана на рис. 4.

Американская фирма Power Flex 7000 Allen Bradley выпускает преобразователи частоты, построенные на базе АИТ с ШИМ [7]. В преобразователе используются SGCT тиристоры, что обеспечивает более высокую частоту модуляции: 440-1000 Гц, по сравнению с 200-225 Гц. у GTO тиристоров, что позволяет получить более высокий коэффициент синусоидальности формы инвертируемых тока и напряжения.

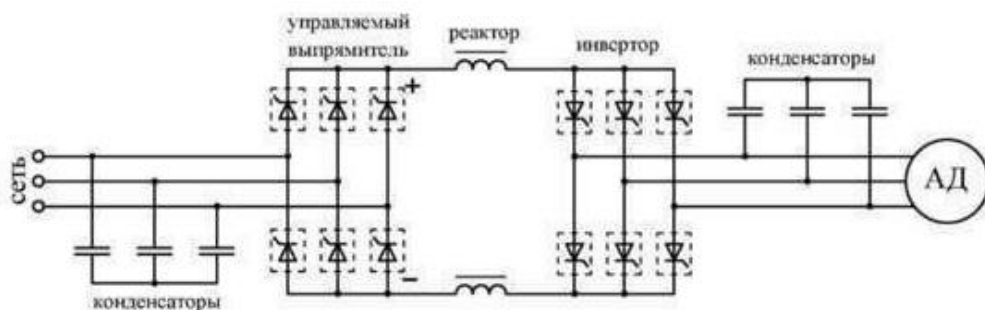


Рис. 4. Типовая схема преобразователя частоты, построенная на базе АИТ с ШИМ

В соответствии с [8, 9, 10] вентильные преобразователи на основе автономных инверторов тока в основном используются для реализации следующих практических целей:

- питание потребителя переменного тока в устройствах с источником энергии в виде аккумуляторной батареи;
- электроснабжение установок гарантированного питания и агрегатов бесперебойного питания;
- обеспечение регулируемым напряжением и частотой электроприводов с асинхронными и синхронными двигателями;
- электротранспорт, питаемый от контактной сети или источника постоянного тока, использующий асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в качестве тяговых электродвигателей;
- питание переменным током повышенной частоты электротехнологических установок различного назначения (электротермия, плавка металла, нагрев, закалка и др.).
- стабилизированные источники питания переменного напряжения (вычислительная техника, радио и проводная связь, аппаратура управления и автоматика, электротранспорт).

Кроме вышеописанного традиционного спектра использования вентильных преобразователей на основе автономных инверторов тока в последнее время большой практический интерес представляет возможность их использования в ветроэнергетике и солнечной энергетике для разработки возобновляемых источников питания [11, 12].

Ниже в табл. 1 представлены технические характеристики и область применения вентильных преобразователей, построенный на основе различных силовых схем автономных инверторов тока, производимые ведущими мировыми фирмами.

Таблица 1

Технические характеристики ВПЧ на базе АИТ, производимых
ведущими фирмами

№	Фирма производитель	Схема АИТ	Технические данные
1	Серия ПЧИТ Технорос, Россия	АИТ с ОД	$P_H = 160-2000$ кВт $U_{п} = 380$ В, 660 В, 1140 В
2	Серия ПЧВМ Электротекс, Россия	Мостовой АИТ	$P_H = 250-5600$ кВт $U_{п} = 3, 6, 10$ кВ
3	ПЧ -01 МИР, Россия	Мостовой АИТ	$P_H = 630-5000$ кВт $U_{п} = 6, 10$ кВ
4	АТ09 ТРИОЛ, Россия	АИТ с ОД	$P_H = 630-5000$ кВт $U_{п} = 6, 10$ кВ
5	НПМ «ЭКРА», Россия	Мостовой АИТ	$P_H = 630-5000$ кВт $U_{п} = 6, 10$ кВ
6	ПЧТЭ НПМ «ЭОС», Украина	Мостовой АИТ	$P_H = 1600-8000$ кВт $U_{п} = 6, 10$ кВ
7	ПЧТ-1М НИИ «ХЭМЗ», Украина	Мостовой АИТ	$P_H = 50-1600$ кВт $U_{п} = 380, 660$ В
8	Power Flex 7000 Rockwell, США	АИТ с ОД	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
9	Ross Hill, США	АИТ с ОД	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
10	Hill Gracham, США	АИТ с ОД	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
11	Imvar, Англия	АИТ с ОД	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
12	Silcovert Ansaldo, Италия	АИТ с ОД	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
13	Серия 1557 М Allen Bradle, Канада	АИТ с ШИМ	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
14	Power Flex 7000 Allen Bradle, Канада	АИТ с ШИМ	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
15	Hyunday, Южная Корея	АИТ с ШИМ	$P_H = 630-12500$ кВт $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ
16	ALSPA CDL8000, Франция	Мостовой АИТ	$P_H = 5$ МВА-13,5 МВА $U_{п} = 3,3-13,5$ кВ

Кроме вышеперечисленных схемных решений в настоящее время одним из самых перспективных направлений развития силовой электроники является разработка и применение интеллектуальных силовых модулей. Это происходит в связи с постоянным совершенствованием технологии изготовления и улучшения технических характеристик мощных полевых транзисторов – MOSFET и IGBT, силовых драйверов с высокой степенью интеграции [13, 14, 15, 16]. Наиболее успешно работают в этом направлении компании Mitsubishi, Fairchild, International Rectifier, Siemens, Schorch, BM Elektronik, Transrech Antriebs systeme Berlin, Relience Elektric, Германия; “Hill Graham Control”, США; “Asi Robicon”, Италия - США;

“Alstom”, Франция; “Allen Bradley”, США-Канада; ESTEL PLUS, Эстония; НПП “ЭОС”, Украина и др. [13, 17, 18].

Заключение. Изложенные в обзоре этапы и перспективы развития вентильных преобразователей в целом и автономных инверторов тока (АИТ) в частности, позволяют судить о современном состоянии вопросов проектирования, изготовления и внедрения высокоэффективных DC-AC преобразователей. На основании проведенного анализа установлено, что в настоящее время тиристорные автономные инверторы не утратили свою значимость в системах передачи электроэнергии и в промышленных установках. Фундаментальные научные положения, достигнутые за последние несколько десятилетий, охватывающие большой объем методов моделирования, программных продуктов, а также практических навыков разработки и внедрения тиристорных преобразователей, являются неотъемлемой базой для разработки современных преобразователей на основе гибридных и интеллектуальных IGBT и IGCT модулей.

Литература

1. Кэррол Э., Линдер Ш., Блиндберг И., Чекмарев А. Силовые полупроводники в сфере передачи и распределения энергии // *Электротехника*, 2007, №10.- С. 11-15.
2. Пронин М.В., Воронцов А.Г. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет). –С-Пб.: Изд-во Электросила, 2003.-171 с.
3. Розанов Ю.К Основные этапы развития и современное состояние силовой электроники.- *Электричество*, 2005, №7. - С. 52-62.
4. Донской Н., Иванов А., Матисон В., Ушаков И. Многоуровневые автономные инверторы для мэлектропривода и электроэнергетики // *Силовая Электроника*. - 2008, №1. - С.43-46.
5. Сидоров С. Матричный преобразователь частоты – объект скалярного управления // *Силовая электроника*, 2009, №3. - С. 31-36.
6. Егоров А.Н., Семёнов А.С., Федоров О.В. Практический опыт применения преобразователей частоты POWER FLEX 7000 в горнодобывающей промышленности//Издательство НГТУ.- 2017, №4, - С.86-93.
7. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов. – М.: Альянс, 2013. - 496 с.
8. Зиновьев Г.С. Силовая электроника. – М.: Юрайт, 2015.- 667 с.
9. Томашевский Д.Н. Автономные инверторы. Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2019. – 120 с.
10. Мальнев А.И., Баховцев И.А., Зиновьев Г.С. Обзор многоуровневых инверторов тока ветроэнергетических станций// *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015. Т.326. №7.- С. 15-26.
11. Zhu, S., Liu, K., Qin, L., et al.: ‘Global asymptotic stability assessment of three-phase inverters with saturation’, *IET Power Electron.*, 2018, 11, (9), pp. 1556–1565.

12. Башкиров В. Интеллектуальные силовые модули компании International Rectifier для приводов малой мощности // Силовая электроника. 2005. №2.-С. 30-35.
13. Chen, J., O'Donnell, T.: 'Analysis of virtual synchronous generator control and its response based on transfer functions', IET Power Electron., 2019, 12, (11), pp. 2965–2977.85.
14. Сурма А.М. Состояние и перспективы развития силовых полупроводниковых приборов для преобразовательных устройств// Электричество, 2006, №9. - С. 21-30.
15. Шустов М.А. Основы силовой электроники.-СПб.: Наука и Техника, 2017.- 336 с.
16. Иванов А.Г., Шеляховский М.А., Фомин С.А. Современные решения SIEMENS в области мощных высоковольтных электроприводов / Регулируемый электропривод. Опыт и перспективы применения. Сб. докладов научно-практического семинара. -М.: Издательство МЭИ, 2006.- С. 68-76.
17. Лазарев Г. Преобразователи для частотно-регулируемого электропривода //Силовая Электроника, 2008, №8(132). – С.14 –23.
18. Лазарев Г. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода //Новости электротехники, 2019, №5(119). – С.1 – 15.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 629.064.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А.Д. Таслимов, А.А. Юлдашев, М.О. Узбеков

Мақолада қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари электр таъминоти тизимининг умумий математик модели асосида классик усул меъзонли тахлил асосида уларнинг параметрларини комплекс оптималлаштириши амалга оширилади. Электр таъминоти тизими параметрларини (погоналар кучланиши, линиялар кесим юзаси, трансформаторлар қуввати, трансформатор подстанциялари сони) комплекс оптималлаштириши натижасида асосий таъсир этувчи факторларнинг (ҳисобий қувват, ички ва ташқи электр таъминоти линиялари узунлиги, подстанциядан чиқувчи линиялар сони) чегаравий қийматларида қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари электр таъминоти тизими учун параметрларнинг иқтисод жиҳатдан мақсадга мувофиқ қийматлари аниқланади. Бунда қишлоқ хўжалиги истеъмолчилари электр таъминоти тизими учун параметрларнинг рационал қийматлари таъкил этган: $U_1 = 35$ кВ; $U_2 = 10$ кВ; $M_1 = 4$; $M_2 = 5-6$; $S_{HT1} = 6-10$ мВА; $S_{HT2} = 400$ кВА; $F_1 = 120$ мм²; $F_2 = 120$ мм²; $F_3 = 120$ мм².

Калит сўзлар: кучланиши, кесим юза, қувват, электр таъминоти тизими, математик модель, оптималлаштириши, меъзонли тахлил, рационал параметр

В статье на основе общей математической модели систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей проводится комплексная оптимизация их параметров с использованием классического метода критериального анализа. В результате оптимизации комплекса параметров (напряжения ступеней, сечения линий, мощности трансформаторов; количество трансформаторных подстанций) систем электроснабжения определяются экономически целесообразные (рациональные) их значения для систем электроснабжения сельско-хозяйственных потребителей при различных граничных значениях основных влияющих факторов (расчетная мощность, протяженность линий внутреннего электроснабжения, количество отходящих линий от подстанций, длина линий внешнего электроснабжения). При этом для систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей рациональные значения параметров составляют: $U_1 = 35$ кВ; $U_2 = 10$ кВ; $M_1 = 4$; $M_2 = 5-6$; $S_{HT1} = 6-10$ мВА; $S_{HT2} = 400$ кВА; $F_1 = 120$ мм²; $F_2 = 120$ мм²; $F_3 = 120$ мм².

Ключевые слова: напряжение, сечение, мощность, система электроснабжения, математическая модель, оптимизация, критериальный анализ, рациональный параметр.

In the article, on the basis of a general mathematical model of power supply systems for agricultural consumers, a comprehensive optimization of their parameters is carried out using the classical apparatus of the criterion analysis method. As a result of optimization of a set of parameters (step voltage, line cross-section, transformer power; number of transformer substations) of power supply systems, their economically viable (rational) values are determined for power supply systems of agricultural consumers at various boundary values of the main influencing factors (design power, length of lines of internal power supply, the number of outgoing lines from substations, the length of external power supply lines). At the same time, for the power supply systems of agricultural consumers, the rational values of the parameters are: $U_1=35\text{kV}$; $U_2=10\text{ kV}$; $M_1=4$; $M_2=5-6$; $S_{HT1}=6-10\text{ MVA}$; $S_{HT2}=400\text{kVA}$; $F_1=120\text{ mm}^2$; $F_2=120\text{ mm}^2$; $F_3=120\text{ mm}^2$.

Key words: voltage, cross section, power, power supply system, mathematical model, optimization, criterion analysis, rational parameter.

Развитие электропотребления сельскохозяйственных потребителей и систем их электроснабжения объясняет необходимость повышенного внимания к принципам оптимального построения этих сетей, влияние этих принципов на общий подход к построению систем электроснабжения (СЭС) сельскохозяйственных потребителей. Научно-обоснованный выбор основных параметров элементов систем электроснабжения СЭС сельскохозяйственных потребителей подразумевает оптимизацию комплексной технико-экономической модели участков СЭС [1].

В этих условиях особенно важным становится комплексный подход к планированию оптимального развития и проектированию СЭС, учитывающий требования комплексного и полного решения задач проектирования и выбора совокупности параметров СЭС. Такой подход к построению указанных сетей необходим еще потому, что современная СЭС сельскохозяйственных потребителей характеризуется разнообразными потребителями, большим числом взаимосвязанных элементов и большим количеством одновременно сооружаемых объектов.

На рис. 1 схематично изображена СЭС сельскохозяйственных потребителей (ГСП- главная снабжающая подстанция, ПТП-потребительская трансформаторная подстанция). На этой схеме U_1, U_2 – напряжения ступеней СЭС; F_1, F_2, F_3 – сечения линий СЭС; S_{HT1}, S_{HT2} – мощности трансформаторов; M_1, M_2 – количество трансформаторных подстанций.

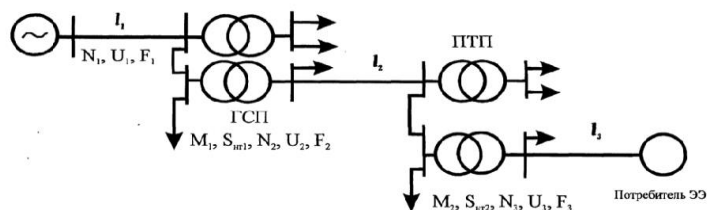


Рис. 1. Схема СЭС сельскохозяйственных потребителей (ГСП- главная снабжающая подстанция, ПТП-потребительская трансформаторная подстанция)

Необходимость комплексной оптимизации параметров СЭС сельскохозяйственных потребителей определяется тем, что все параметры функционально и технико-экономически взаимосвязаны между собой режимами передачи и распределения электроэнергии и технико-экономическая модель должна отразить данные связи. Анализ только одного параметра СЭС является односторонним и может представлять интерес лишь в специальных случаях.

Выбор комплекса взаимосвязанных параметров СЭС требует для решения поставленной задачи применения метода математического программирования и ЭВМ. Таким методом является метод критериального анализа или программирования [2], позволяющий решить комплекс задач оптимизации. При этом методе анализ параметров СЭС 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, устойчивость технико-экономической функции к параметрам, чувствительность 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 может быть использована программа оптимизации нелинейных функций с нелинейными ограничениями методом критериального программирования [3,4].

С учетом технико-экономических моделей суммарных капитальных затрат (стоимости линий, электромонтажных и строительных работ), затрат на эксплуатацию и потерь электроэнергии получена комплексная технико-экономическая модель затрат на СЭС сельскохозяйственных потребителей [5]:

$$\begin{aligned}
 Z = & A_1 U_1^{\alpha_{U1}} + A_2 F_1 + A_3 U_1^{-2} F_1^{-1} + A_4 U_1 S_{HT1}^{\alpha_{U1}} M_1 + A_5 S_{HT1}^{\alpha_{U1}} M_1 + A_6 S_{HT1} M_1 + \\
 & + A_7 S_{HT1}^{-1} M_1^{-1} + A_8 U_2^{\alpha_{U2}} + A_9 F_2 + A_{10} U_2^{-2} F_2^{-1} M_1^{-2} + A_{11} U_2 S_{HT2}^{\alpha_{S2}} M_1 M_2 + A_{12} S_{HT2}^{\alpha_{S2}} M_1 M_2 + \quad (1) \\
 & + A_{13} S_{HT2} M_1 M_2 + A_{14} S_{HT2}^{-1} M_1^{-1} M_2^{-1} + A_{15} F_3 + A_{16} F_3^{-1} M_1^{-2} M_2^{-2}
 \end{aligned}$$

где $A_1 - A_{16}$ - постоянные коэффициенты, $U_1 U_2 U_3$ – номинальные напряжения уровней СЭС, F_1, F_2, F_3 - сечения линий СЭС, S_{HT1}, S_{HT2} - номинальные мощности трансформаторов, $M_1 M_2$ -- количество трансформаторной подстанции, $\alpha_{U1}, \alpha_{U2}, \alpha_{S2}$ – показатели степени параметров СЭС.

При составлении технико-экономической модели электроснабжения предприятия принимаем следующие условия и допущения: электроснабжение осуществляется от энергосистемы по N_1 двухцепным воздушным линиям электропередачи (ЛЭП) напряжением U_1 и сечением F_1 ; M_1 - количество главных снабжающих подстанций (ГСП), подключенных к одной линии имеют равные как в геометрическом отношении, так и в отношении электрической нагрузки зоны обслуживания и имеют одинаковые номинальные мощности трансформаторов S_{HT1} ; N_2 - число воздушных ЛЭП, отходящих от одной ГСП, напряжением U_2 и сечением

F_2 , M_2 - количество потребительских трансформаторных подстанций (ТП), подключенных к одной линии из N_2 . ТП равномерно расположены по участкам обслуживания и имеют равные номинальные мощности трансформаторов $S_{нпр.2}$; потребители электроэнергии питаются от ТП по отдельным линиям напряжением U_3 и сечением F_3 .

Так как полученная модель является канонической, и матрица размерностей функции (1) имеет небольшой порядок, то решение основных задач технико-экономического анализа осуществляется с помощью классического аппарата метода критериального анализа [2].

Определение численных значений экономически целесообразных параметров производится в соответствии со следующим алгоритмом [6]:

1. Определяется численное значение двойственной функции, которое соответствует минимуму целевой функции:

$$D(\pi_0)_{\max} = Z(x_0)_{\min} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{\pi_i} \right)^{\pi_i}; \quad (2)$$

где π_i - критерии подобия экономических вариантов ; π_0 - критерии подобия относительно базисной точки экстремума функции L, определенные методом интегральных аналогов [2]; x_0 - оптимальное значение параметра, соответствующее $Z(x_0)_{\min}$; A_i - обобщенные константы, заключающие в себе исходную информацию об оптимизируемом объекте;

2. Исходя из полученных результатов расчета, в соответствии с [6], записывается система уравнений (число уравнений соответствует числу слагаемых целевой функции (1)):

$$\begin{array}{ll} 1. \pi_1 Z(x_0)_{\min} = A_1 U_1^{1,4}; & 9. \pi_9 Z(x_0)_{\min} = A_9 F_2; \\ 2. \pi_2 Z(x_0)_{\min} = A_2 F_1; & 10. \pi_{10} Z(x_0)_{\min} = A_{10} U_2^{-2} F_2^{-1} M_1^{-2}; \\ 3. \pi_3 Z(x_0)_{\min} = A_3 U_1^{-2} F_1^{-1}; & 11. \pi_{11} Z(x_0)_{\min} = A_{11} U_2 S_{HT2}^{0,61} M_1 M_2; \\ 4. \pi_4 Z(x_0)_{\min} = A_4 U_1 S_{HT1}^{0,46} M_1; & 12. \pi_{12} Z(x_0)_{\min} = A_{12} S_{HT2}^{0,61} M_1 M_2; \\ 5. \pi_5 Z(x_0)_{\min} = A_5 S_{HT1}^{0,46} M_1; & 13. \pi_{13} Z(x_0)_{\min} = A_{13} S_{HT2} M_1 M_2; \\ 6. \pi_6 Z(x_0)_{\min} = A_6 S_{HT1} M_1; & 14. \pi_{14} Z(x_0)_{\min} = A_{14} S_{HT2}^{-1} M_1^{-1} M_2^{-1}; \\ 7. \pi_7 Z(x_0)_{\min} = A_7 S_{HT1}^{-1} M_1^{-1}; & 15. \pi_{15} Z(x_0)_{\min} = A_{15} F_3; \\ 8. \pi_8 Z(x_0)_{\min} = A_8 U_1^{1,2}; & 16. \pi_{16} Z(x_0)_{\min} = A_{16} F_3^{-1} M_1^{-2} M_2^{-2}; \end{array}$$

3. Из полученной системы выделяется девять ($m = 9$, число оптимизируемых параметров) линейно-независимых уравнений, а именно: №№ 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 14 и 15. Преобразовав новую систему уравнений к виду [6] и решая, находим вектор решения относительно $\lg x_0$.

Технико-экономическая модель СЭС сельскохозяйственных потребителей (1) не учитывает технические ограничения, накладываемые на оптимизируемые

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

параметры СЭС. Этим не оспаривается вопрос о целесообразности учитывать при решении той или иной инженерной задачи ограничения, накладываемых на параметры СЭС техническими требованиями. По математическим представлениям параметры могут принимать любое значение: положительное, отрицательное, нулевое, комплексное. Однако при рассмотрении физического смысла параметров можно заключить, что их значения изменяются только в положительной области. В электроэнергетике область определения параметров еще более конкретизируется в силу того, что почти все параметры СЭС могут принимать только определенные дискретные значения, обусловленные действующими стандартами. Это такие параметры, как напряжения и сечения ЛЭП, номинальные мощности трансформаторов и т.д. Кроме того, на данные параметры могут быть наложены ограничения, обусловленные техническими требованиями (потери напряжения и мощности, термическая устойчивость проводников и т.п.).

Итак, в технико-экономическую модель СЭС сельскохозяйственных потребителей не были введены технические ограничения на отдельные параметры по следующим соображениям: поскольку с помощью данной модели производится одновременная оптимизация всей системы электроснабжения, то интересным представляется вопрос выявления общей тенденции изменения параметров в чисто экономическом плане. Отсутствие ограничений позволяет минимизировать целевую функцию в точке, которой соответствуют экономически целесообразные рациональные параметры всей СЭС. При этом численные значения этих параметров, если по техническим условиям не представляется возможным принять к реализации полученный параметр при расчете, будут ориентировать проектировщика на принятие правильного решения. Кроме того, такой подход вовсе не означает применять повторную оптимизацию с учетом ограничений.

Граничные значения основных влияющих факторов для СЭС сельскохозяйственных потребителей приведены в таб. 1.

Таблица 1

Граничные значения основных влияющих факторов

Факторы	Верхний уровень	Нижний уровень
Расчетная мощность S_p , мВА	32	6,3
Протяженность линий внутреннего электроснабжения, L_ϕ , км	10	6
Количество отходящих линий от ГПП, N_2 , шт.	6	2
Протяженность линий внешнего электроснабжения, l_1 , км	30	5

Численные значения рациональных параметров при граничных сочетаниях основных влияющих факторов по всем вариантам СЭС сельскохозяйственных потребителей приведены в табл. 2.

Из расчетов видно, что рациональные значения сечения (параметр F_2) проводников распределительных линий в большинстве случаев значительно превышают сечения, отвечающие техническим требованиям. Однако, если проанализировать экономическую устойчивость технико-экономической модели, то можно убедиться, что даже трехкратное уменьшение сечения данных линий относительно расчетного (экономически целесообразного), не вызывает превышения нормированного, 5%-ого увеличения затрат. Из этого можно сделать вывод, что завышение, в пределах разумного сечения проводников распределительных ЛЭП сельскохозяйственных потребителей, экономически обосновано.

Сечения (параметр F_3) в большинстве случаев оказывается заниженным. Это можно объяснить тем, что в расчетной модели средний срок ввода в эксплуатации линии принят равным одному году. В результате затраты, связанные с капитальными вложениями на линию, с увеличением сечения растут быстрее, чем затраты на компенсацию потерь электрической энергии в этой линии при уменьшении сечения. Основными причинами небольшого срока ввода эксплуатации линии (11-14 месяцев) являются механические повреждения, а не тепловое старение изоляции. Следовательно, для более эффективного использования линии целесообразно повышение их загрузки с тем, чтобы срок службы линии вследствие старения изоляции был соразмерен с его действительным сроком службы.

Таблица 2

Значения рациональных параметров для СЭС сельскохозяйственных потребителей при граничных сочетаниях основных влияющих факторов

№ опыта	Факторы				Рациональные параметры								
	S_p , кВА	L_Φ , км	N_2 , шт.	l_1 , км	U_1 , кВ	U_2 , кВ	M_1 , кВ	M_2 , шт.	S_{HT1} , кВА	S_{HT2} , кВА	F_1 , мм ²	F_2 , мм ²	F_3 , мм ²
1	32	10	6	30	65,4	7,4	2,8	4,9	8,32	425	167,2	93,4	77,2
2	6,3	10	6	30	40,2	4,2	4,2	4,1	6,45	235	92,7	77,3	59,5
3	32	6	6	30	60,4	7,1	3,1	4,2	10,41	516	152,3	85,7	75,4
4	6,3	6	6	30	42,4	5,4	3,8	3,8	9,75	295	85,7	68,2	56,4
5	32	10	2	30	50,5	8,4	3,4	5,4	7,54	546	138,4	80,1	73,6
6	6,3	10	2	30	39,5	6,0	3,6	5,8	5,75	301	84,8	61,4	50,4
7	32	6	2	30	45,7	9,1	2,4	4,8	6,35	485	120,9	97,7	70,4
8	6,3	6	2	30	32,3	6,9	3,2	6,0	5,24	285	90,1	55,4	54,8
9	32	10	6	5	38,4	9,8	4,8	5,1	6,47	409	146,4	94,8	71,6
10	6,3	10	6	5	30,1	9,4	2,9	4,8	5,75	201	90,9	47,7	49,7
11	32	6	6	5	36,2	10,4	4,6	2,9	7,41	564	138,7	88,7	68,9
12	6,3	6	6	5	28,4	9,9	3,1	5,5	4,8	209	87,5	42,2	50,1
13	32	10	2	5	34,1	11,6	3,6	3,2	7,05	425	120,8	80,5	66,4
14	6,3	10	2	5	25,6	10,4	3,7	4,7	5,67	315	89,6	51,5	47,5
15	32	6	2	5	30,4	12,0	3,4	5,9	5,95	397	119,2	69,7	60,5
16	6,3	6	2	5	22,7	10,2	3,0	5,1	3,84	217	87,4	49,8	46,8

Верхним пределом количества трансформаторных подстанций (параметр M_2) является число единиц технологического оборудования. Нижний предел определяется максимально допустимым числом оборудования, подключенного к одной ТП, а также найденной в результате расчета экономически целесообразной загрузкой трансформаторов. По проведенным расчетам общей тенденцией является разукрупнение ТП. Экономически целесообразным для СЭС сельскохозяйственных потребителей является увеличение числа ТП до верхнего предела, определяемого количеством оборудования.

Уровни напряжений внешнего и внутреннего электроснабжения (параметры U_1 и U_2) не требуют дополнительных ограничений, кроме округления полученных расчетным путем величин до ближайшего стандартного значения. Здесь уместно отметить, что в ряде случаев экономически целесообразным промежуточным напряжением (U_2) может быть величина порядка 20 кВ. Введение данного уровня напряжения в рамки стандарта и, соответственно, внедрение в область электроэнергетики позволило бы обеспечить высокую экономическую эффективность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Анализ табл. 2 показывает, что для систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей диапазон рациональных параметров составляет: $U_1 = 22,7-65,4$ кВ; $U_2 = 4,2-12$ кВ; $M_1 = 2,4-4,8$; $M_2 = 2,9-6,0$; $S_{HT1} = 4,8-10,41$ мВА; $S_{HT2} = 201-564$ кВА; $F_1 = 84,8-167,2$ мм²; $F_2 = 42,2-97,7$ мм²; $F_3 = 46,8-77,2$ мм².

Заключение. Определены экономически целесообразные рациональные параметры систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей для различных граничных значений основных влияющих факторов. При этом рациональные значения стандартных параметров систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей составляют: $U_1 = 35$ кВ; $U_2 = 10$ кВ; $M_1 = 4$; $M_2 = 5-6$; $S_{HT1} = 6-10$ мВА; $S_{HT2} = 400$ кВА; $F_1 = 120$ мм²; $F_2 = 120$ мм²; $F_3 = 120$ мм². Установлено, что в ряде случаев экономически целесообразным промежуточным напряжением может оказаться величина 20 кВ. Введение данного уровня напряжения и рациональных параметров в систему электроснабжения сельскохозяйственных потребителей обеспечивает экономическую эффективность (сокращение суммарных затрат и снижение потерь электроэнергии) электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Литература

1. Таслимов А.Д. Развитие теории и методов выбора параметров распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Т.: ТашГТУ, 2020. – 217 с.

2. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (Применительно к задачам электроэнергетики). – М.: Изд-во - «Либроком», 2014. – 440 с.

3. Черемисин Н.М., Черкашина В.В. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах: учебное пособие. - Харьков: Факт, 2004. - 88 с.

4. Солопов Р. В. Разработка метода критериального программирования для оптимизации режимов электроэнергетической системы: Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук. - М., 2013.

5. Таслимов А.Д., Юлдашев А.А. Разработка технико-экономических моделей элементов систем электроснабжения // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2022. - № 1. - С. 62-65.

6. Таслимов А.Д., Меликузиев М.В., Юлдашев А.А., Султонов А.Н. Применение метода критериального программирования для исследования технико-экономической модели системы электроснабжения // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент, 2022. – Специальный выпуск, № 1. - С. 62-65.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом, Каракалпакским государственным
университетом и Ферганским политехническим институтом*

УДК 620.9

СУВ ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИ УЧУН МОТОРНИНГ ҚУТЪЛАР СОНИ
ЎЗГАРУВЧАН ЧУЛГАМ СХЕМАСИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

М.К. Бобожанов, С.Д. Тўраев

Ушбу мақолада сув таъминоти корхонасида моторларнинг қутблар сони ўзгарувчан чулғамли моторларни қўллаш орқали электр энергияси ва сув ресурсларини тежаш масаласи кўриб чиқилган. Қутблар нисбати 4:6 бўлган чулғам схемасининг электромагнит хоссалари таҳлил қилинган ва насос электр юритмасида тадбиқ қилиши бўйича таклиф ва тавсиялар берилган.

Калит сўзлар: қутблар сони ўзгарувчан чулғам, электромагнит хоссалар, чулғам коэффициент, Гёргес диаграммаси, дифференциал ёйилиш коэффициент, ўзгарувчан юклама, юқори гармоника, магнит юритувчи кучлар, базавий схема.

В данной статье рассматривается задача экономии электроэнергии и водных ресурсов путем применения двигателей с полюсопереключаемыми обмотками. Проанализированы электромагнитные свойства схемы обмотки с соотношением полюсов 4:6 и даны предложения с рекомендациями по внедрению в электроприводах насосных установок.

Ключевые слова: полюсопереключаемая обмотка, электромагнитные свойства, обмоточный коэффициент, диаграмма Гёргеса, коэффициент дифференциального рассеяния, меняющаяся нагрузка, высшая гармоника, магнитодвижущая сила, базовая схема.

In this article discusses the problem of saving electrical energy and water resources by using motors with pole-changing windings. The electromagnetic properties of the winding schema with a pole ratio of 4:6 are analyzed and suggestions and recommendations for the implementation of pumping units in electric drives are given.

Key words: pole-change winding, electromagnetic properties, winding coefficient, Görges diagram, differential leakage factor, varying load, higher harmonic, magnetomotive force, basic schema.

Кириш. Сув таъминоти тизимида қўлланилаётган насос агрегатлари ўзгарувчан юклама билан ишлайди ва бу ўз навбатида айланиш тезлиги ростланувчан электр моторларни тадбиқ қилиш заруратини пайдо қилади. Тезликни ростлаш орқали сув ресурсларидан оқилонга фойдаланиш ва электр энергиясини тежаш имконига эга бўлиш мумкин.

Юқоридагиларни инобатга олиб, илмий тадқиқот Бухоро сув таъминоти корхонасининг насос агрегатлари мисолида олиб борилди. Изланишлар жараёнида корхонанинг насос қурилмаларига АББ ҚХР типли ротори қисқа тушташтирилган асинхрон моторлар қўлланилганлигини кўриш мумкин. Бу моторларнинг қувватлари

насос қурилмаларига мос ҳолда 4 та $P = 800 \text{ кВт}$, 2 та $P = 400 \text{ кВт}$ ва $P = 315 \text{ кВт}$ қувватга эга бўлган, кучланиши $U = 6 \text{ кВ}$ ва айланиш тезлиги $n = 1500$ айл/мин бўлган моторлар горизонтал ҳолатда ўрнатилган.

Корхонанинг насос агрегатлари ўзгарувчан юкламада ишлаган ҳолатида электр моторларнинг тезлигини ростлаш борасида ҳеч қандай назарий ва амалий ишлар амалга оширилмаган, бундай муаммони ечиш мақсадида сув истеъмоли ўзгариши билан қувурлардаги босимни нормал ҳолатда сақлаш ва сув сарфини камайтириш учун затворлар автоматик равишда бошқарилади бу эса электр моторларнинг номинал электр катталиклари ўзгаришига олиб келади. Айрим ҳолларда эса моторлар маълум вақт давомида тўла юкланишсиз паст ФИК билан яъни катта қувват исрофи билан ишлашига тўғри келмоқда.

Юқорида санаб ўтилган камчиликларни бартараф қилиш ва сув таъминоти корхонасининг самарадорлигини оширишда, қутблари сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқиш, хоссаларини таҳлил қилиш ва уни электр моторларга тадбиқ қилиш асосий ечимларидан бири ҳисобланади.

Икки тезликли моторларни ишлаб чиқиш ва қўллаш истиқболи. Икки тезликли электр моторлар конструктив жиҳатдан иккита алоҳида чулғамли ёки қутблари ўзгарувчан яқка чулғамли қилиб ишлаб чиқарилади. Бир чулғамлик икки тезликли моторлар фойдали қуввати юқорилиги ҳамда энергетик кўрсаткичлари яхшиланганлиги ҳамда технологик жиҳатдан чулғам миси ва изоляцион материаллар кам ишлатилиши туфайли қатор афзалликларга эга ҳисобланади. Шундан келиб чиқиб, ростланувчан электр юритмалар учун икки тезликли қутблар нисбати яқин чулғамларни ишлаб чиқиш бугунги куннинг долзарб васифаси ҳисобланади. Дунё олимлари бу борада қатор илмий изланишлар олиб бормоқдалар, хусусан Республикаимизнинг нуфузли олийгоҳи Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети “Электр таъминоти” кафедраси олимлари илмий изланишлар олиб боришган ва юқори натижаларга эришилган [1,2]. Ушбу тадқиқотлар натижалари сифатида яратилган қутблар сони ўзгарувчан чулғамли моторлар лифт қурилмалари электр юритмаларида, юк кўтариш транспортларида, кон металлургия соҳасининг электр юритмаларига қўлланилган. Натижада электр энергияси ва табиий ресурсларни тежалишига эришилган. Аммо сув таъминотининг насос агрегатлари учун бундай қутблари ўзгарувчан икки тезликли моторлар тадбиқ қилинмаган ва чулғам схемаси ишлаб чиқилмаган.

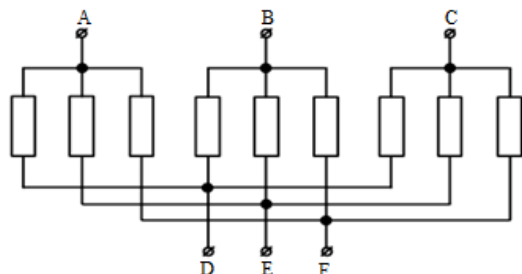
Қутблар нисбати 4/6 бўлган чулғам схемасини таҳлил қилиш. Қутблар сони ўзгарувчан чулғамни энг кўп тарқалган схемаларидан бири Даландер схемаси бўлиб, у ва шунга ўхшаш турли базавий схемалар асосида қутблар сони ўзгарувчан чулғамлар турли статор пазлар сонидан ҳамда қутблар нисбатлари учун ишлаб чиқилган [1-3]

Қутблари ўзгарувчан чулғам қуриш махсус базавий схемаларга (БС) асосланиб, улар иккита гуруҳ клеммаларга эга ва таъминлаш манбасини битта гуруҳ чиқишлардан бошқасига ўзгариши натижасида жуфт қутблар сони ҳам ўзгаради.

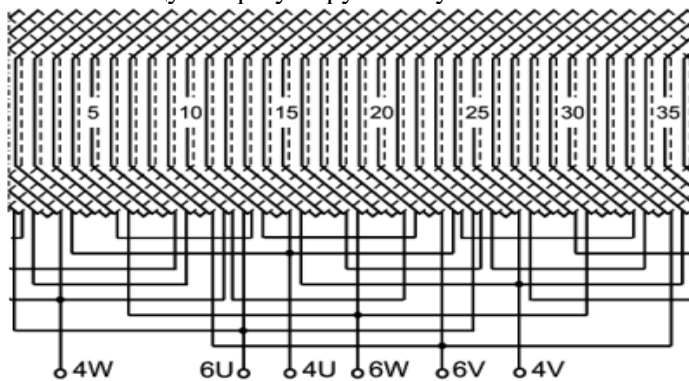
Насос қурилмалари учун статор пазлари сони 36 ва қутблар нисбати 4:6 бўлган чулғам схемаси ишлаб чиқилган [3]. Ушбу чулғам учта юлдуз/учта юлдуз базавий

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

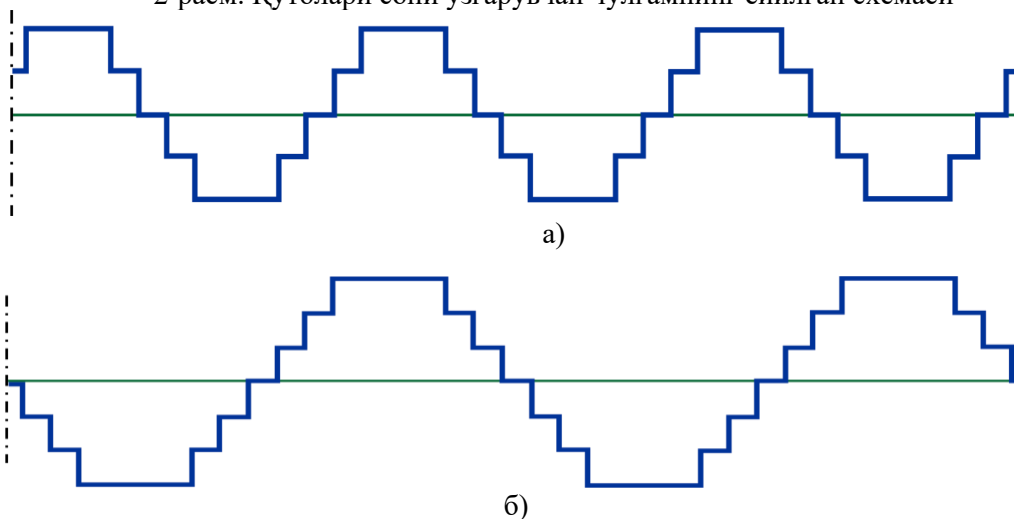
схемаси асосида ишлайди (1-расм). Конструктив жихатдан чулғам икки қатламли стандарт чулғам бўлиб, унинг таркибига кирувчи барча ғалтаклар ўрамлар сони бир хил ва ягона қадамга эга. Чулғамнинг ёйилган схемаси 2-расмда келтирилган ҳамда 3-расмда $p_1=2$ ва $p_2=3$ қутблар учун магнитловчи қуч чизиклари шакллари кўрсатилган [3].



1-расм. УУУ/УУУ қутблари ўзгарувчан чулғам базавий схемаси



2-расм. Қутблари сони ўзгарувчан чулғамнинг ёйилган схемаси



3-расм. Магнитловчи куч чизиклари шакли: а) $p_1=2$ учун; б) $p_2=3$ учун
 “Уч юлдуз-уч юлдуз” чулғам схемасининг шахобчалари бўйича ғалтакларнинг тақсимланиши 1 - ва 2- жадвалда берилган.

1-жадвал

$2p_1=4$ кутб учун чулғам схемасининг шахобчалари бўйича ғалтакларнинг

тақсимланиши

Шахобча номи	Ғалтак рақамлари	Шахобча номи	Ғалтак рақамлари	Шахобча номи	Ғалтак рақамлари
А-Д	1,2,3,-10	А-Е	-11, - 12, 19,20	А-Ф	21,-28,-29,-30
Б-Д	13,14,15,-22	Б-Е	-23,-24, 31,32	Б-Ф	33,-4,-5,-6
С-Д	25,26,27,-34	С-Е	-35,-36,7,8	С-Ф	9,-16,-17,-18

2-жадвал

$2p_2=6$ кутб учун чулғам схемасининг шахобчалари бўйича ғалтакларнинг

тақсимланиши

Шахобча номи	Ғалтак рақамлари	Шахобча номи	Ғалтак рақамлари	Шахобча номи	Ғалтак рақамлари
Д-А	10,-3,-2,-1	Д-Б	22,-15,-14,-13	Д-С	34,-27,-26,-25
Е-А	-20,-19,11,12	Е-Б	-32,-31,23,24	Е-С	-8,-7,35,36
Ф-А	28,28,30,-21	Ф-Б	4,5,6,-33	Ф-С	16,17,18,-9

3-жадвал

Мавжуд кутблар сони ўзгарувчан чулғам таҳлили натижалари

	ҲҲҲ/ҲҲҲ базавий схема шахобчаси $2p_1=4$ томон учун								
	А-Д	А-Е	А-Ф	Б-Д	Б-Е	Б-Ф	С-Д	С-Е	С-Ф
<i>A</i>	6,64	6,72	6,64	6,64	6,72	6,64	6,64	6,72	6,64
<i>K_{чул}</i>	0,83	0,84	0,83	0,83	0,84	0,83	0,83	0,84	0,83
<i>φ</i>	15,12	10	4,88	135,12	130	124,88	104,88	110	115,12
	ҲҲҲ/ҲҲҲ базавий схема шахобчаси $2p_2=6$ бўлган томон учун								
	Д-А	Д-Б	Д-С	Е-А	Е-Б	Е-С	Ф-А	Ф-Б	Ф-С
<i>A</i>	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
<i>K_{чул}</i>	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837
<i>φ</i>	135	15	105	135	15	105	135	15	105

Ҳар қандай электр машина учун дифференциал сочилиш коэффициенти унинг геометрик ўлчамларига ва пазларнинг қиялигига боғлиқ бўлмайди. Дифференциал сочилиш коэффициенти Гёргес диаграммаси орқали қуйидагича аниқланади.[4-7]:

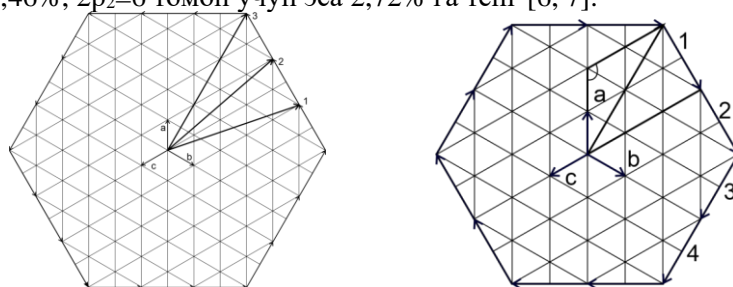
$$\sigma_0 = \left(\frac{R_g}{R_1} \right)^2 - 1.$$

Бу ерда, R_g -инерция радиуси, R_1 -асосий гармониканинг радиуси. Асосий гармониканинг радиуси қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$R_1 = \frac{Z_1 \cdot k_{chul}}{p \cdot \pi}.$$

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Агар дифференциал сочилиш коэффициентини қиймати кичик бўлса, юқори гармоникаларни таркиби кам ва чулғам параметрлари яхши бўлади. 4-расмда юқоридаги кутблар сони ўзгарувчан чулғамнинг Гёргес диаграммаси келтирилган ва ҳисоблаш натижасида дифференциал сочилиш коэффициентини қиймати $2p_1=4$ томон учун 1,46%, $2p_2=6$ томон учун эса 2,72% га тенг [6, 7].

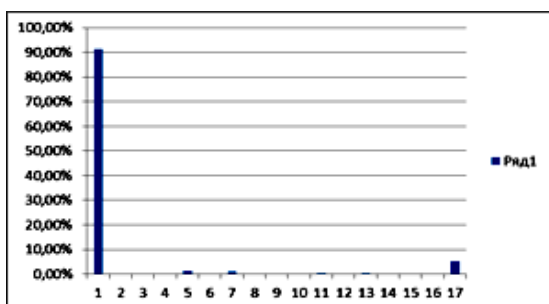


4-расм. Гёргес диаграммаси: а) $2p_1=4$ томон учун; б) $2p_2=6$ томон учун
Кутблар сони ўзгарувчан чулғамни гармоник таркиби таҳлил қилинди, яъни бир вақтнинг ўзида иккала кутб томони учун v -гармоникани гармоникалар йиғиндисига нисбати (F_{vm}/F_{Σ}) фоиз ҳисобида 7-жадвалда келтирилди [5-7].

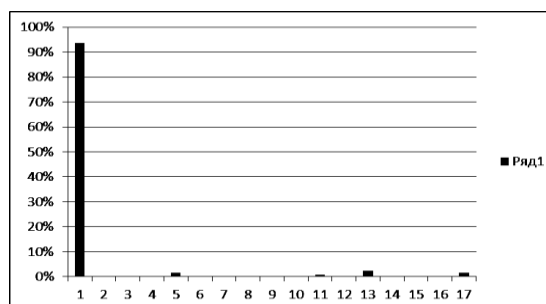
7-жадвал

Кутблар сони ўзгарувчан чулғам гармоник таркиби

		F_{vm}/F_{Σ} (%)																
v		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		91,45	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	5,38
2		93,59	0,00	0,00	0,00	1,66	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	2,38	0,00	0,00	0,00	1,48



5-расм. $2p_1=4$ бўлган томон учун чулғам МЮК гармоникалари



6-расм. $2p_1=6$ бўлган томон учун чулғам МЮК гармоникалари

Қутблар сони ўзгарувчан чулғам МЮК гармоник таркиби таҳлили шуни кўрсатдики, иккала қутб томонлар учун биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13-, 17-гармоникалар мавжуд [7].

Қутблар нисбати 4/6 бўлган ҲҲҲ/ҲҲҲ чулғам схемасини сув таъминотининг насос электр юритмаларига тадбиқ қилиш, қувурлардаги босимни назорат қилиш ва сутка давомида сув истеъмоли кам бўлганда кичик тезликда ишлаб кам қувват истеъмол қилиш, агрегатлар сонини камайтириш имкониятларини яратади. Сув таъминоти корхонасининг самарадорлигини оширишда қутблари ўзгарувчан икки тезликли асинхрон моторлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Адабиёт

1. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Методы построения обмоток для много-скоростных электрических машин. Монография, Издательство «Fan va technolo-giya», Ташкент, 2010.

2. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюспереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго - и ресурсосбережения. Монография, Издательство «Fan va technologiya», Ташкент, 2011.

3. Ванурин В.Н. Статорные обмотки многоскоростных электродвигателей. Издательство "Лань", Москва, 2022.

4. M.Bobojanov, D.Rismuxamedov, F.Tuychiev, K.Shamsutdinov, K.Magdiev, Pole-changing motor for lift installation. E3S Web of Conferences, 216, 01164, (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.

5. M.Bobojanov. Development and Research of Two Speed Motor with Pole-Changing Winding. AIP Conference Proceedings 2552, 050034, (2023), <https://doi.org/10.1063/5.0114077>.

6. D.Rismukhamedov, M.Bobojanov, F.Tuychiev, K.Shamsutdinov. Development and research of pole-changing winding for a close pole ratio. E3S Web of Conferences, 264, 03057, (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403057>.

7. Bobojanov, M., & Torayev, S. (2023). Saving electrical energy by using induction motors with pole changing windings in the water supply system. In E3S Web of Conferences (Vol. 384). EDP Sciences.

*Тошкент давлат техника университети ва
ТИҚХММИ МТУ Бухоро табиий ресурсларни
бошқариш институтлари томонидан тақдим этилган*

УДК 631.624

**ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧ – АСИНХРОН ДВИГАТЕЛ – НАСОС – БОСИМЛИ
ҚУВУР ТИЗИМИ ИШ РЕЖИМЛАРИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

И.А. Абдуллабеков, М.М. Мирсаидов

Мақолада «частота ўзгартиргич – асинхрон двигател – насос – босимли қувур» тизимини бошқарув объекти сифатида берилган талабларга мос технологик жараённинг энергия ва ресурстежамкорлигини таъминловчи режимлари ишлаб чиқилган. «Частота ўзгартиргич – асинхрон двигател – насос – босимли қувур» тизими таркибидаги ҳар бир элементларнинг механик тавсифлари алоҳида ва биргаликда ҳисобланган ва қурилган. Бу графиклардан фойдаланиб, суғориш ва сув таъминоти насос станцияларининг алоҳида ва умумий қувурларига ишловчи насос агрегатларини частотавий ишга туширишида ва ростлаида қўлланади. Сув етказиб бериш талабини бажариш учун, алоҳида ва умумий босим қувурларидаги қўшимча ҳосил бўладиган қаршиликларни электр юритма юкламасига таъсири аниқланиб, насос агрегатларини ростлаиш жараёнида оптимал иш режимлари аниқланди. Суғориш ва сув таъминоти насос станцияларининг алоҳида босим қувурига ишлаётган насос агрегатлари ҳосил қилаётган босим қувурдаги статик босимдан катта бўлганда сурилма клапанни очиб, майин ишга тушириш таъминланади.

Калит сўзлар: насос, асинхрон двигател, частота ўзгартиргич, босимли қувур, сурилма клапан, тескари клапан, механик тавсиф, гидро зарблар, сув сарфи, сув босими, статик момент, ишчи паррак, механик кўрсаткич, электр кўрсаткич, қувват исрофи.

В статье разработаны энергоэффективные режимы технологического процесса, соответствующие требованиям системы «преобразователь частоты - асинхронный двигатель - насос - напорный трубопровод» как объекта управления. Механические характеристики каждого элемента в системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель – насос – напорный трубопровод» рассчитываются и строятся отдельно и совместно. Использование графиков обеспечивает энергоэффективные рабочие режимы пуска и регулирования насосных агрегатов работающих отдельно и на обший трубопровод насосной станции орошения и водоснабжения. Для обеспечения потребности в водоснабжении определяли дополнительные сопротивления в отдельных и общих напорных трубопроводах, а также определяли оптимальной режимы работы системы «преобразователь частоты - асинхронный двигатель - насос - напорный трубопровод». Когда давление, создаваемое насосными агрегатами, работающими в отдельном напорном трубопроводе насосных станций орошения и водоснабжения, превышает статическое давление в трубопроводе, открывается задвижка и обеспечивается плавный пуск.

Ключевые слова: насос, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, напорный трубопровод, задвижка, обратный клапан, механические характеристики, гидроудар, расход воды, давление воды, статический момент, рабочие лопасти, механические показатели, электрические показатели, потеря мощности.

In the article, modes of energy and resource efficiency of the technological process corresponding to the requirements of the "frequency converter - asynchronous motor - pump - pressure pipe" system as a control object have been developed. The mechanical characteristics of each element in the "frequency converter - asynchronous motor - pump - pressure pipe" system are calculated and built separately and together. Using these graphs, it is used in the frequency start-up and adjustment of pumping units working on individual and common pipelines of irrigation and water supply pumping stations. In order to meet the demand for water supply, the effect of the additional resistances in individual and common pressure pipes on the electrical load was determined, and the optimal operating modes were determined during the adjustment of the pump units. When the pressure generated by the pumping units working in the separate pressure pipeline of the irrigation and water supply pumping stations is greater than the static pressure in the pipeline, the push valve is opened and soft start is ensured.

Key words: pump, asynchronous motor, frequency converter, pressure pipe, thrust valve, check valve, mechanical description, hydro hammer, water consumption, water pressure, static torque, working plate, mechanical indicator, electrical indicator, power consumption.

Кириш. Жаҳонда насос станцияларини талаб этилган сув сарфи ва қувурдаги босимни барқарорлигини оптимал бошқариш, насос агрегатидаги ишчи парракларнинг тезлигини ўзгартириш, аванкамерадаги сув сатҳи баландлигини ўзгариши билан марказдан қочма насосларнинг биргаликда параллел ишлашининг технологик схемалари ва усулларини такомиллаштириш ҳамда энергетик кўрсаткичларини аниқлашга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда [1]. Ушбу йўналишда, жумладан, кўп агрегатли насос станцияларда талаб этилган сув сарфини етказиб беришда насос агрегатларини параллел ишга тушириш схемаларини ишлаб чиқиш, умумий босим қувурига биргаликда ишловчи насос агрегатларини босим қувурига уланиш даврида босим барқарорлигини таъминлаб гидравлик зарбларни бартараф этиш ҳамда росталанадиган электр юритма асосида станциянинг самарадорлиги ва ишончилигини ошириш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга мавжуд сув таъминоти технологик тизимларини замонавий талабларга жавоб берадиган автоматлаштирилган электр юритмалари ва энергия тежайдиган режимларга эришиш учун мўлжалланган автоматик бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш ҳам долзарб вазифалардан ҳисобланади. Насос агрегатларини энергия тежамкор бошқариш усулининг энг самаралиси частота билан ростланадиган электр юритмаларни қўллашдир.

Асосий қисм. Маълумки [2] автоматлаштирилган электр юритмаларда асинхрон двигателнинг номинал айлантирувчи моменти куйидаги ифода билан аниқланади:

$$M_H = \frac{3 \cdot U_{1\text{н}\phi}^2 \cdot R'_{2\Sigma}}{\omega_0 \cdot S_H \left[\left(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{S_H} \right)^2 + x_k^2 \right]}; \quad (1)$$

бу ерда:

R_1 – саторнинг актив қаршилиги, Ом;

$R'_{2\Sigma}$ – статор чулғамига келтирилган ротор қаршилиги, Ом;

x_k – қисқа туташувли роторнинг фаза индуктив қаршилиги, Ом;

$U_{1\text{н}\phi}$ – тармоқ фаза кучланишининг таъсир қиймати, В;

ω_0 – синхрон бурчак тезлиги, рад/с;

S_H – роторнинг номинал сирпаниши.

Бу ифоданинг тахлилидан келиб чиқадики, $M=f(s)$ боғлиқлик максимум нуқталарига эга. Сирпаниш $s \rightarrow \pm \infty$ интилганда, момент $M \rightarrow 0$ интилади. Моментнинг максимал қийматлари критик момент M_k деб аталади. Унга мос келувчи сирпаниш критик сирпаниш s_k деб аталади. Функция экстремуми топиш қоидаларига кўра, критик сирпаниш s_k қийматларини топиш учун, $dM/ds = 0$ кўринишдаги тенгламага (1) қийматларини қўйиб ечиш керак. Ушбу тенгламанинг ечими куйидагича бўлади:

$$s_{\text{кр}} = \pm \frac{R'_{2\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}}. \quad (2)$$

Критик момент қийматини (2) ни (1) қўйиб ҳисоблаймиз:

$$M_k = \frac{3U_{1\text{н}\phi}^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})}. \quad (3)$$

Бунда $s > 0$ двигател режимига ёки тескари улаш режимига мос келади, $s < 0$ генератор режимига мос келади. Асинхрон двигател генератор режимда ишлаганда унинг критик моменти, двигател режимдаги критик моментидан катта бўлади.

Юқоридаги тенгламаларни соддалаштириб, асинхрон двигател механик тавсифини соддароқ шаклига ўтишимиз мумкин:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кр}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{кр}})}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{кр}}}; \quad (4)$$

бу ерда $a = R_1/R_{2\Sigma}$.

Катта қувватли машиналар учун R_1 қиймати катта эмас. Шунинг учун $R_1 \ll x_k$ ва $a \cdot s_k \ll 1$ тенгсизликдан фойдаланиш механик тавсифни куйидаги Клосс формуласининг соддалаштирилган шаклига ўтаемиз:

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + s}; \quad (5)$$

бу ерда

$$S_{кр} = \frac{R'_2 \Sigma}{x_k}; \quad (6)$$

$$M_{кр} = \frac{3 * U_{1нф}^2}{2 * \omega_0 * x_k}. \quad (7)$$

Механик тавсиф тенгламасини (1) га нисбатан (5) кўринишда содалаштирилган ёзилишининг асосий афзаллиги шундаки, (7) учун фақат одатда каталогларда кўрсатилган ёки каталог маълумотларидан топиш мумкин бўлган параметрларни билиш kifоя.

Насоснинг тавсифлари. Насос валидаги статитик момент куйидаги ифода билан аниқланади [3,4]:

$$M_c = M_n + (M_n - M_n) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2; \quad (8)$$

бу ерда:

M_c – насос валидаги статик момент;

M_n - асинхрон двигателнинг номинал momenti;

M_n – насос агрегатнинг ишқаланиш momenti; $M_n = (0,05 \div 0,1) M_n$

ω , ω_n – айланиш тезлигининг жорий ва номинал бурчак тезликлари.

Насослар ишга тушиш жараёнида сурилма клапаннинг ёпиқ ҳолатида ишга туширилади, яъни ишга тушириш вақтида сув сарфи $Q = 0$ бўлади. Бунда ишга тушириш тармоқ босимининг гидравлик зарбаларини сусайтириш учун қўлланилади. Сурилма клапаннинг ёпиқ ҳолатида насос валидаги айлантирувчи момент куйидаги кўринишга эга:

$$M_{c, \text{ёпиқ}} = M_n + M_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2; \quad (9)$$

бу ерда M_0 – сурилма клапан ёпиқ ҳолатдаги насоснинг салт юриш қаршилик momenti.

Насослар учун M_0 салт юриш қаршилик momenti қиймати номиналдан 40% ошмайди деб ҳисобга олиш мумкин. Насослар учун M_n ишқаланиш momentини номинал моментнинг 0,5% га тенг деб қабул қилиш мумкин [3].

Насос станцияси алоҳида босим кувурларига ишловчи насос агрегатлари сурилма клапаннинг очик ҳолатида ҳам ишга туширилиши мумкин. Бунда гидравлик зарбаларини сусайтириш учун асинхрон двигател майинлик билан каттароқ вақт давомида ишга туширилади. Сурилма клапаннинг очик ҳолатида насос валидаги айлантирувчи момент куйидаги кўринишга эга:

$$M_{c, \text{очик}} = \left(\frac{975 * \gamma * Q (H_{ст} + RQ^2) * \omega_n}{102 * \omega} - M_n \right) * \frac{1}{\eta_{нас}} + M_n. \quad (10)$$

Насос агрегатларини частотавий ростлаб бошқаришда асинхрон двигателнинг механик тавсифини частота ўзгаргандаги кучланиш қийматларини ўзгариш қонуниятларига биноан, частота ўзгариши натижасида индуктив қаршиликларни ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда аниқлаймиз:

$$x_1 = x_{1н} * f_1^*; \quad x'_2 = x'_{2н} * f_1^*; \quad x_k = x_{кн} f_1^*; \quad x_\mu = x_{\mu н} f_1^*. \quad (11)$$

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Частотанинг ўзгариши билан асинхрон двигателнинг статор ва ротор чўлғамларининг реактив параметрлари ҳам ўзгаради, шу билан бирга Клосс формуласи таркибидаги $X_{кр}$, $M_{кр}$, $S_{кр}$ қийматлари ҳам мос равишда ўзгаради [5]:

$$U_{1*} = \sqrt{\frac{f_{1*} \cdot \rho_{1k} + \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2)(f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}}{\rho_{1k} + \sqrt{(1 + \rho_{1k}^2)(1 + \rho_{1\mu}^2)}}} \cdot M_{c*}(f_{1*}) \quad ; \quad (12)$$

бу ерда $\rho_{1k} = \frac{R_1}{X_{кк}}$, $\rho_{1\mu} = \frac{R_1}{X_{\mu н}}$.

Кучланиш қийматини частота ўзгаришига мос равишда ўзгариши двигател айлантирувчи моментини ўзгаришига олиб келади [6,7]:

$$M_{кр} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_{1*}^2}{2 \cdot \omega_{оном} \cdot X_k \left[f_{1*} \cdot \rho_{1k} \pm \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2)(f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)} \right]} \quad (13)$$

Частота ўзгарганда асинхрон двигателнинг критик сирпаниши ҳам мос равишда ўзгаради.

$$s'_{кр} = \pm \frac{R'_2}{f_{1*} \cdot X_k} \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2}} \quad (14)$$

Д5000-32 насос агрегати ва уни харакатга келтирувчи А4 – 630 – 4У3 русумли асинхрон двигател тизимининг тавсифларини ҳисоблаш учун уларни каталогдаги маълумотлардан фойдаланамиз:

$$U_n = 6000 \text{ В}; \quad P_n = 630 \text{ кВт}; \quad n = 740 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}; \quad \eta = 94,5 \%; \quad \cos \varphi = 0,83;$$

$$\frac{M_{\max}}{M_n} = 1,9; \quad \frac{M_{\Pi}}{M_n} = 1; \quad \frac{I_{\text{шт}}}{I_n} = 4,8; \quad J_{\text{рот}} = 49 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad J_{\text{мех.доп.}} = 1500 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

ҳисоблашлар (5) формула бўйича бажарилди. Ҳисоблаш натижалари 1 -жадвалда келтирилган.

1 – жадвал

S	0,0001	0,014	0,02	0,03	0,035	0,04	0,06	1
ω [рад/с]	77,4	76,3	75,8	75,1	74,7	74,3	72,7	0
M [Нм]	6,3	8170	10822	13775	14630	15153	15154	8140

Д5000-32 (22НДн) насос техник паспорт маълумотлардан фойдаланиб, (9) формула ёрдамида қийматларини ҳисобланиб, натижаларини 2 – жадвалда келтирилган:

$$Q = 5000 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}; \quad H = 32 \text{ м}; \quad \eta = 0,88; \quad P_n = 500 \text{ кВт}.$$

2 – жадвал

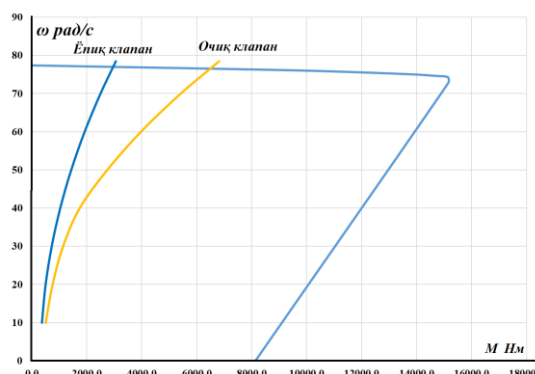
ω	0	10	20	30	40	50	60	70	76,4
$M_{с.эпик}$	340,0	368,7	502,1	724,3	1035,5	1435,5	1924,4	2502,2	3063,3

Д5000-32 (22НДн) насос сурилма клапанини очик ҳолатида ишга туширгандаги натижалар (10) тенглама ёрдамида қийматлари ҳисобланиб, 3 – жадвалда келтирамиз.

3 – жадвал

ω	0	10	20	30	40	50	60	70	76,4
$M_{с.ёпик}$	340,0	502,0	754,0	1135,0	1737,4	2739,5	3964,4	5411,9	6817,4

Насос агрегати босим қувуридаги сурилма клапанини очик (3 – жадвал) ҳамда ёпик (2 – жадвал) ҳолатларидаги механик тавсифи ва асинхрон двигателни механик тавсифини (1 – жадвал) биргаликда битта координаталар тизимида курамиз.



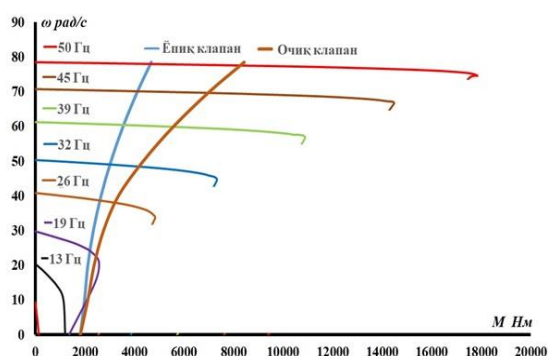
1- расм. А4 – 630 – 4У3 русумли асинхрон двигател ва Д5000-32 русумли насос босим қувуридаги сурилма клапанини ёпик ва очик ҳолатидаги механик тавсифлари

Асинхрон двигателнинг механик тавсифи Клосс формуласи (5) асосида курилади. (11), (12), (13) ва (14) лардан фойдаланиб, $X_{кр}$, $M_{кр}$, $S_{кр}$ қийматлари ҳисобланиб, натижалари 4 – жадвалда келтирилган. Жадвалда қабул қилинган частоталарнинг қийматлари Декарт координаталар тизимидаги механик тавсифларнинг моментларнинг қийматлари билан кесишиш нуқталарига мос келади.

4-жадвал

f	6	13	19	26	32	39	45	50
$f_{ном}$	0,12	0,26	0,38	0,52	0,64	0,78	0,9	1,0
$X_{кр}$	0,1	0,6	1,2	2,3	3,5	5,2	7,0	8,6
U	50,0	234,6	501,1	938,3	1421,3	2111,1	2810,7	3470
$M_{кр}$	257	1207	2578	4828	7314	10864	14464	17856
$S_{кр}$	3,395	0,723	0,339	0,181	0,119	0,080	0,060	0,049
M	2,120	46,712	212,858	743,217	1692,329	3673,607	6366,685	9450,963

4-жадвал қийматлар бўйича А4 – 630 – 4У3 русумли асинхрон двигател ва Д5000-32 русумли насоснинг механик тавсифларини битта координаталар тизимида курамиз.



2-расм. А4 – 630 – 4УЗ русумли асинхрон двигател ва Д5000-32 русумли насоснинг механик тавсифлари

1 – расмдаги графикдан кўриниб турибдики, асинхрон двигател ишга тушириш momenti насоснинг ишга тушириш моментидан бир неча баробар катта бўлади. Ростланмайдиган электр юритмаларда бундай салт ишлашдаги фарқини ишга тушиш давридаги насос ишчи парракларига динамик кескин зарба берилиши туфайли гидравлик зарба вужудга келиши мумкинлигидадир. Ростланадиган электр юритмаларда асинхрон двигател ишга тушириш моментини ростланиши хисобига двигател ва насосларнинг ишга тушириш моментларининг фарқи кам булганлиги хисобига динамик кескин зарба кичик бўлади [8, 9, 10].

Хулоса. Частота билан ростланаётган электр юритмали насос агрегати ҳосил қиладиган босим частотанинг 35 Гц кичик бўлган қийматларда талаб этилаётган босимни ҳосил қила олмайди, тармоқдан олаётган энергия шу тизимни ўзида сарф бўлади. Частота билан ростланадиган асинхрон двигателни ишга туширишда бошланғич частотани қийматини 35 Гц юқорига ўзгартириб ишга тушириш мақсадга мувофиқ. Суғориш ва сув таъминоти насос станциялар насос агрегатлари сурилма клапан ёпик ҳолатида ишга туширилади. Насос агрегати ҳосил қиладиган сув босими талаб этилган қийматларига етганда сурилма клапанлар очилади. 2 – расм таҳлили шунни кўрсатадики, частота билан ростланадиган электр юритмали насос агрегатини ишга тушириш жараёнида частотанинг қиймати 35 Гц ошганда сурилма клапанни очишга топшириқ берилади [11-12]. Асинхрон двигател ҳосил қилаётган айлантирувчи момент насос талаб этган қаршилик моментидан катта бўлади, тармоқдан олинаётган энергия фойдали иш учун сарфланади.

Адабиёт

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Т.: «Fan va texnologiya», 2009, 464 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод. – М.: РАСХН, 2003. – 320 с.
3. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения. Т.: Фан, 2014, 354 с.

4. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. — М.: Энергоатомиздат, 2006. - 360 с.
5. Хашимов А.А., Арипов Н.М. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод шелкомотания//Монография –Т.: ТашГТУ, 2000. -90 с.
6. Хашимов А.А., Мирисаев А.У, Кан Л.Т. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – Ташкент.: Фан ва технология, 2011. – 98 с.
7. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А. Система частотно – управляемого электропривода водоподъемных насосных станций как основа обеспечения их энерго – ресурсосберегающих режимов функционирования // Вестник Туринского политехнического университета в городе Ташкенте. Выпуск 4/2018. С. 24-27.
8. Абдуллабеков И.А., Рахматов Д.Д. Оптимизация режимов работы насосной установки по критерию минимума удельного расхода электроэнергии «Рамадан» // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2022 - № 41 спец. выпуск - С. 174-183.
9. Абдуллабеков И.А., Дусматов Р.К., Бокижонов А.А. Разработка энергоэффективной системы управления водоподъемными агрегатами насосной станции «Рамадан» // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент, 2021 - № 40 спец. Выпуск. - С. 389-396.
10. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А., Дусматов Р.К. Разработка системы автоматического управления насосной установки на основе частотно – регулируемого электропривода // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2019. – № 2. С. 68-75.
11. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А., Хамудханова Н.Б. Насос станциясини бошқариш қурилмаси. Ихтирога патент № IAP 06640, 12 (248) // Ўзбекистон республикаси адлия вазирлиги хузуридаги интеллектуал мулк агентлиги расмий ахборотнома – №12(248), – Ташкент, 2022.
12. Москаленко В.В. Электрический привод. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
13. Хамудханов М.М., Абдуллабеков И.А., Дўсматов Р.К., Хамудханова Н.Б. Насос станциясини бошқариш қурилмаси. Ихтирога патент № IAP 07007, 07 (255) // Ўзбекистон республикаси адлия вазирлиги хузуридаги интеллектуал мулк агентлиги расмий ахборотнома – №07(255), – Ташкент, 2022.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 338.45658.64

**ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА – ЭТО
ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ**

П.М. Матякубова, Б.А. Назарбаева, Ф.Ж. Назарбаева

Мазкур мақолада глобал энергетик муаммолар, жамиятда энерготежамкорлик ва қайта тикланадиган энергия манбаларининг роли ва ахамияти билан боғлиқ долзарб масалалар кўриб чиқилган. Энергоменежмент тизимини жорий қилиш зарурати кўпчилик корхоналарда муҳим ахамиятга эга бўлган ёки кўпчилик корхоналар ишлаб чиқариш харажатларини ташиқил қиладиган энергия ресурсларни тежаши муҳимлигини англашдан келиб чиқади, шунинг учун энергоменежмент тизимини жорий қилиш –бу инновацион ечимдир.

Калит сўзлар: *энергосамарадорлик, энергоменежмент тизими, Ўз ДСт ИСО 50001, инновацион ечим.*

В данной статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с глобальными энергетическими проблемами и важностью в обществе роли и значения энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. Необходимость внедрения системы энергоменеджмента вызвана пониманием того, насколько важно экономить энергоресурсы, которые составляют значительную часть во многих производствах или себестоимости продукции большинства предприятий, поэтому внедрение системы энергоменеджмента – это инновационное решение.

Ключевые слова: *энергоэффективность, система энергоменеджмента, О'з DSt ISO 50001, инновационное решение.*

This article discusses current issues related to global energy issues and the importance in society of the role and importance of energy efficiency and renewable energy sources. The need to introduce an energy management system is caused by an understanding of how important it is to save energy resources, which constitute a significant part in many industries or the cost of production of most enterprises, so the introduction of an energy management system is an innovative solution.

Keywords: *energy efficiency, energy management system, O'z DSt ISO 50001, innovative solution.*

На сегодняшний день спрос на энергию увеличился в среднем на 30-50%. Ограниченность энергоресурсов может в будущем привести к социальной и политической нестабильности, геополитическим конфликтам и непоправимому негативному воздействию на окружающую среду. Актуальность вопроса связано с глобальными энергетическими проблемами и важностью в обществе роли и значения энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. Таким образом, одной

из отраслей, к развитию которой в ближайшие десятилетия должно быть приковано особое внимание – это энергетика.

Если численность населения в условиях современной демографии удваивается за каждые 40-50 лет, то удвоение производства и потребления энергии происходит через каждые 12-15 лет. Учитывая, что энергетика одно из важных звеньев экономики нашей страны, нужно уделять особое внимание дальнейшему укреплению потенциала этой сферы, модернизации отраслевых предприятий, их обеспечению высокоэффективной техникой и технологиями, экономии энергоресурсов.

Следует отметить, что в Республике Узбекистан тоже ведутся широкомасштабные работы по обеспечению энергоэффективности, разработку и внедрению энергосберегающих технологий на законодательном техническом уровне, вводятся и внедряются проекты по поиску, обоснованию и использованию возобновляемых источников энергии. Узбекистан, как страна, богатая природными ресурсами, также заинтересована в развитии и широком внедрении энергосберегающих технологий, применении инновационных подходов к рациональному использованию энергетических ресурсов.

Принцип энергоэффективного использования ресурсов способен не только экономить энергетические запасы для будущего поколения страны, но и снизить себестоимость продукции, а также повысить конкурентоспособность отечественных предприятий на внутреннем и мировом рынке, что в свою очередь, способствует экономическому росту.

Для Республики Узбекистан актуально глубокое и широкое ведение работы по разработке и внедрения в промышленных предприятиях международных энергетических стандартов, подготовке высококвалифицированных молодых специалистов, разработке и организации проведению периодического обучения повышения квалификации по идентичному международному стандарту руководителей и специалистов по курсу серии стандартов O'zDStISO 50001 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководства по применению», O'zDStISO 50002 «Энергетические аудиты. Требования и руководства по применению», O'zDStISO 50003 «Система энергетического менеджмента. Требования к органам проводящим аудит и сертификацию системы энергетического менеджмента».

Международные стандарты вносят все большой вклад в энергетический сектор, помогая повышать безопасность и эффективность производства распределения и использования энергии всеми участниками, обеспечивая качество и надежность, осуществляя многофункциональный контроль, а также сокращение отходов и влияние на окружающую среду.

Идея разработки стандарта ISO 50001 возникла перед самым началом мирового экономического кризиса, причем со стороны наиболее экономически развитых стран (США, Китай, Великобритания). Необходимость его вызвана пониманием того, насколько важно экономить энергоресурсы, которые составляют значительную часть во многих производствах или себестоимости продукции большинства предприятий.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Таблица 1

Показатели энергоэффективности

Наименование группы	Представление в документах	Использование показателя
Нормируемые показатели энергетической эффективности продукции	Государственные стандарты, технические паспорта продукции, техническая и конструкторская документация	При сертификации продукции, энергетической экспертизе, энергетических обследованиях
Показатели энергетической эффективности производственных процессов	Стандарты и паспорта предприятий	Для осуществления государственного надзора за эффективным использованием ТЭР; при проведении энергетических обследований
Показатели реализации энергосбережения	Статистическая отчетность, нормативно-правовые и программно-методические документы	Для контроля структурами государственного управления и государственного надзора

Международный стандарт ISO 50001 устанавливает требования по внедрению, поддержанию и улучшению системы энергоменеджмента, которая позволит организациям применять системный подход к непрерывному повышению энергопараметров, энергоэффективности и энергосбережению, что неизбежно будет приводить к снижению финансовых затрат. Показатели энергоэффективности представляются в виде трех основных групп (табл.1).

Рассмотрим на примере вычисление энергетической эффективности для холодильников (табл.2): производителей: Artel, Roisonelektronics, Sino. Требования безопасности: TSh 64-14830863-05:2011, Ts 24195876-001:2013. Индекс энергоэффективности вычисляются по формуле:

$$I = \frac{E_{\text{факт}}}{E_{\text{стандарт}}} \cdot 100$$

где $E_{\text{факт}}$ – фактическое годовое потребление электроэнергии холодильником, кВт*ч;
 $E_{\text{стандарт}}$ – стандартное годовое потребление энергии для технического типа, кВт*ч.

Таблица 2

Класс энергетической эффективности	Индекс энергетической эффективности
A	$1 < 55$
B	$55 \leq I < 75$
C	$75 \leq I < 90$
D	$90 \leq I < 100$
E	$100 \leq I < 110$
F	$110 \leq I < 125$
G	$125 \leq I$

Для кондиционеров (табл. 3): Производители: Artel, Roisonelektronics. Требования безопасности: TS 15110059-04:2014, Ts 23425021-001:2014. Требования к энергетической эффективности:

а) Индекс энергоэффективности в режиме охлаждения вычисляют по формуле:

$$I_c = \frac{Q_c}{E_c} ;$$

где Q_c - холодопроизводительность изделия, kW; E_c – фактическое потребление электроэнергии кондиционера в режиме охлаждения, kW.

б) Индекс энергоэффективности в режиме обогрева вычисляют по формуле:

$$I_H = \frac{Q_H}{E_H} ;$$

где Q_H – холодопроизводительность изделия, kW; E_H – фактическое потребление мощности электроэнергии изделием в режиме нагрева, kW.

Таблица 3

Класс энергетической эффективности	Индекс энергетической эффективности (I_c), %	Индекс энергетической эффективности (I_H), %
A	$I_c < 3,20$	$I_H < 3,60$
B	$3,20 \leq I_c < 3,00$	$3,60 \leq I_H < 3,40$
C	$3,00 \leq I_c < 2,80$	$3,40 \leq I_H < 3,20$
D	$2,80 \leq I_c < 2,60$	$3,20 \leq I_H < 2,80$
E	$2,60 \leq I_c < 2,40$	$2,80 \leq I_H < 2,60$
F	$2,40 \leq I_c < 2,20$	$2,60 \leq I_H < 2,40$
G	$2,20 \leq I_c$	$2,40 \leq I_H$

Стандарт ISO 50001 применим любой организацией, которая ставит своими целями:

- гарантировать, что она соответствует своей энергополитике;
- демонстрировать такое соответствие другим заинтересованным сторонам, прежде всего, своим бизнес-партнерам;
- получить подтверждение соответствия своей системы энергоменеджмента со стороны внешнего органа по сертификации.

Стандарт применим лишь в отношении тех факторов, касающихся расхода энергии, которые могут проверяться (аудитироваться) и на которые организация может влиять воздействовать. После принятия решения о внедрении системы энергоменеджмента первым шагом в этом направлении может стать экспресс-обследование уже применяемой в организации системы энергоснабжения и энергопотребления или так называемый первичный (диагностический, оценочный) энергоаудит соответствия деятельности организации требованиям стандарта ISO 50001 и законодательству РУз в области энергосбережения и энергоэффективности.

Фундаментом для внедрения могут стать элементы других систем менеджмента (при их наличии в организации): качества (ISO 9001), экологии (ISO 14001), профессионального здоровья и безопасности (OHSAS 18001), а также уже

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

разработанная ранее документация (рабочие процедуры, операционные инструкции, стандарты, регламенты, положения, планы, программы). Учитывая, что отдельные элементы систем менеджмента совпадают, может случиться так, что не придётся разрабатывать новые документы, а будет достаточно откорректировать действующие.

Часть требований стандарта ISO 50001 является менеджерскими (обращёнными к управленческому персоналу, в том числе к высшему руководству организации), часть требований носит технический характер и адресована к техническому персоналу. К числу основных требований относятся:

- обязательства высшего руководства,
- описание организационной структуры, распределения ролей (функций), ответственности и обязанностей категорий персонала,
- документирование энергоцелей (energy objectives), энергополитики (energy policy), энергопоказателей (energy target), энергопараметров («энергоперформанс», energy performance) и разработка соответствующих им индикаторов (energy performance indicator),
- идентификация энергобазиса (energy baseline) организации,
- разработка (корректировка) документации, содержащей описание ключевых элементов системы энергоменеджмента и их взаимодействия между собой,
- разработка планов действий в области энергоменеджмента (energy management action plans), идентификация законодательных и других требований, следовать которым организация согласилась добровольно;
- решение вопросов закупок нового оборудования, проектирования и реконструкции зданий, сооружений, исходя из энергопараметров;
- надлежащее выполнение мониторинга, анализов и измерений, позволяющих отслеживать энергопоказатели и достижение энергоцелей;
- поддержание связей среди различных категорий персонала внутри организации, а также вне организации с ее внешними заинтересованными сторонами (органы власти, бизнес-партнеры, СМИ, общественность, население);
- документирование требований, предъявляемых к уровню компетентности (квалификации) различных категорий персонала, периодичности их обучения, исходя из возложенных функций и решаемых ими задач;
- документирование, выстраивание и/или упорядочение бизнес-процессов, а также проведение на периодичной основе внутренних энергоаудитов и анализа со стороны высшего руководства.

Представляется необходимой разработка так называемого «Энергоруководства» (Energy manual) как центрального документа (стандарта) системы энергоменеджмента. Его аналог в системе менеджмента качества (ISO 9001) – это «Руководство по качеству» (Quality manual).

Проведенные исследования показали, что стандарт ISO 50001 может снабдить любую организацию, независимо от ее размера, полноценной стратегией действий, как в менеджерской области, так и в технических аспектах, чтобы она смогла реально повысить свою энергоэффективность, увеличить использование возобновляемых

источников энергии и сократить эмиссию парниковых газов. Поэтому внедрение системы энергоменеджмента – это инновационное решение, которое связано с модернизацией существующего производства и управления на основе использования наилучшей мировой практики в области энергосбережения.

Литература

1. Терешкина Т.Р. Системы энергоменеджмента. Стандарт ISO50001. Учебное пособие. -Санкт-Петербург: СПГТУРП, 2013.
2. Безруких П.П., Стребков Д.С. Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии. –М.: Малая энергетика, 2015. -№1-2.
3. Энергоснабжение с курсом на “био”. Правда Востока, 2015. №246.
4. Руководство по энергетической статистике. — МЭА, ОЭСР, Евростат. 2007. -18 с.
5. Роль международных стандартов в повышении энергетической эффективности и продвижении возобновляемых источников энергии. — МЭА. 2007. - С. 1—6.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК 620.97

ҚУЁШ ҲАРАКАТИНИ КУЗАТИШ АСОСИДА ҚУЁШ
ПАНЕЛЛАРИНИ САМАРАЛИ ИШЛАШИНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШ

О.Х. Полвонов, Р.А. Ситдиқов

Мақолада қуёш нури энергиясини кузатиш тизимлари билан жихозланган фотоволтаик панелларини мониторинг қилиш ва самарадорлигини ошириш масалалари кўриб чиқилади, бир координатали ва икки координатали бошқариш тизимларининг самарадорлиги солиштирилади.

Калим сўзлар: қуёш панеллари, бошқарув, қуёш ҳаракати мойиллик бурчаги.

В статье рассматриваются вопросы контроля и повышения эффективности фотоволтаических панелей, оснащенных системами слежения за солнцем. сравнивается эффективность однокоординатных и двухкоординатных систем регулирования угла наклона.

Ключевые слова: солнечные панели, контроль, движение солнца, угол наклона.

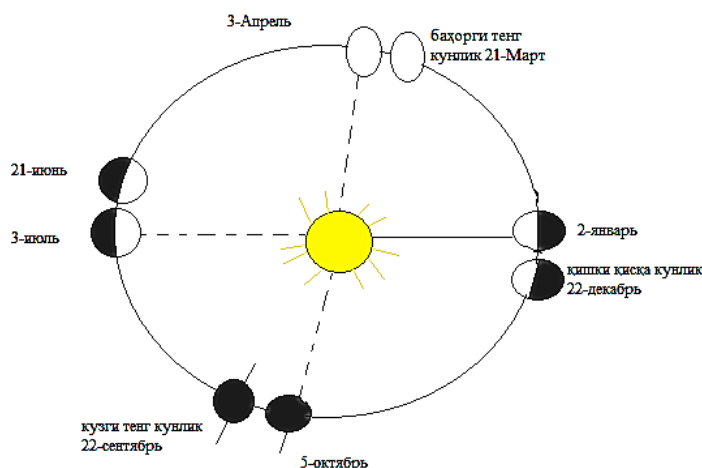
The article deals with the issues of monitoring and improving the efficiency of photovoltaic panels equipped with solar tracking systems. the efficiency of single-coordinate and two-coordinate tilt control systems is compared.

Key words: solar panels, control, sun movement, angle of inclination.

Қуёш панелларининг энг катта самарадорлиги учун, яъни қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириш учун қуёш нурлари модул юзасига перпендикуляр бўлиши керак. Бундай ҳолда, қуёш панеллари сиртининг ёритилиши максимал бўлади. Бунинг учун кун давомида максимал ёритишни назорат қилиш тизими вақти-вақти билан қуёш панелларининг ўрнини нурлар йўналиши ва унинг текислиги ўртасида тўғри бурчак остида ушлаб туриш учун ўзгартириши керак [1].

Қуёшнинг йил ва кун давомида осмон бўйлаб ҳаракати бошқарув тизими учун кириш характеристикаси ҳисобланади. Бошқариш тизими қуёш панелларини кун ва йил давомида Қуёшга йўналтириш учун масъулдир, шунинг учун Қуёш ва Ер ўртасидаги геометрик муносабатни кўриб чиқамиз. Йил давомида Ер Қуёш атрофида эллиптик йўлни кузатади (1-расм). Бу ҳаракат йил фасллари ва кундузи соатларнинг узунлиги ўзгаришига олиб келади. Кун давомида Ер ҳам ўз ўқи атрофида айланади, тўлиқ доирани тасвирлайди, бу ҳаракат қуёш чиқиши ва қуёш ботишининг сабабидир.

Атмосферанинг юқори чегарасидаги қуёш нурлари оқимининг зичлиги қуёш нурлари йўналишига перпендикуляр равишда жойлашган бўлиб, $E = 1,353 \text{ kVt/m}^2$ (қуёш доимийси) шаклига эга ва соатига етказиб бериладиган ўртача энергия миқдори бу сиртнинг 1 м^2 учун $H = 4,871 \text{ МЖ}/(\text{м}^2 \text{ соат})$.



1-расм. Йил давомида Ернинг куёш атрофида айланиши

Куёш нурланишининг атмосферадан ўтиши жараёнида ҳар хил турдаги ўзаро таъсирлар содир бўлади: акс эттириш, тарқоқлик (тўлқин узунлигига қараб тарқалиш йўналишининг ўзгариши), абсорбция (куёш нурланиш энергиясининг иссиқликка айланиши, сўнгра ёруғлик чиқиши). Куёш панелини қиялик юзасига етказиб бериладиган МЖ/(м²кун) умумий куёш энергиясининг ўртача ойлик миқдори қуйидаги шаклга эга:

$$E_N = RE, \quad (1)$$

бу эрда E - горизонтал юзага тушадиган умумий куёш нурланишининг ўртача кунлик миқдори, МЖ / (м² кун); R - қиялик ва горизонтал юзаларга кирувчи куёш нурланишининг ўртача ойлик миқдорининг нисбати.

Жанубга йўналтирилган қиялик юзалар учун:

$$R = \left(1 - \frac{E^r}{E}\right) R_{to'g'} + \frac{1 + \cos\beta}{2} \frac{E^r}{E} + \rho \frac{1 - \cos\beta}{2}, \quad (2)$$

бу эрда E^r - горизонтал юзага етказиб берилган куёш энергиясининг ўртача ойлик ўртача миқдори, МЖ / (м²кун);

$R_{to'g'}$ - тўғридан -тўғри нурланишнинг горизонталдан қия юзасига айланиш фактори; β - куёш панелининг уфққа эгилиш бурчаги, даража; - ернинг пастки юзаси учун акс эттириш коэффитсиенти. Одатда ёзда $\rho = 0,2$, қишда эса қор қоплами бўлса $\rho = 0,7$.

Бу тенгламанинг биринчи, иккинчи ва учинчи атамалари, ўз навбатида, тўғридан -тўғри нурланиш, осмондан тарқалган нурланиш ва ердан панел юзасига акс этувчи нурланиш касрларини ифодалайди. $R_{to'g'}$ коэффитсиентининг ўртача ойлик қиймати қуйидаги кўринишга эга:

$$R_{to'g'} = \{ \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin\omega'_3 + (\pi/180) \omega'_3 \sin(\varphi - \beta) \sin\delta \} / \{ \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_3 + \sin\varphi \sin\delta (\pi/180) \omega_3 \}, \quad (3)$$

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

бу ерда ϕ - ернинг кенглиги, даража; δ - Қуёшнинг бурилиши, даражалари; горизонтал ва қия сиртларда ω_3 ва ω'_3 - қуёш ботишининг бурчаги, градус.

Қуёшнинг маълум бир кунда бурилиш бурчаги n :

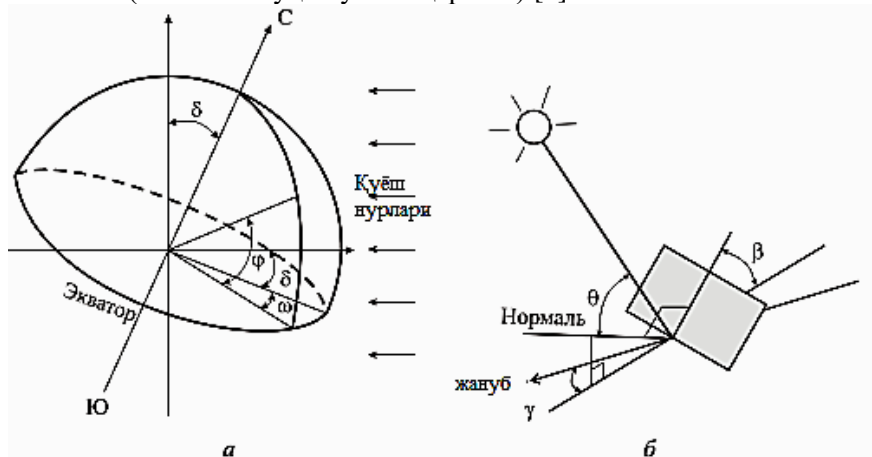
$$\delta = 23,45 \sin\{360(284+\pi)/365\}. \quad (4)$$

2-расмда юқоридаги формулаларда ишлатиладиган асосий бурчакларни кўрсатади.

Бир кунда ер ўз ўқи атрофида 360° га айланади, аммо қуёш панеллари фақат кундузги соатларда энергия ишлаб чиқаради. Куннинг узунлиги кенглик ва қуёш панеллари ўрнатилган жойга қараб ўзгаради. Қуёш баландлигини ўзгартириш учун иккита шартга риоя қилиш керак: кундузи ва фаслар давомида Қуёш баландлигини ўзгартириш шартлари.

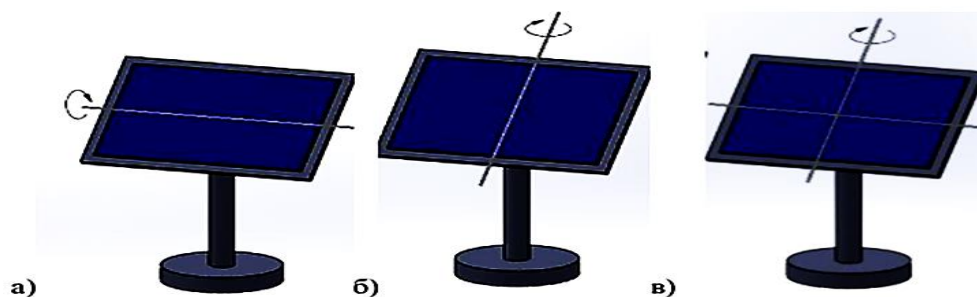
Қуёшнинг осмондаги ҳолатини иккита бурчак билан тасвирлаш мумкин: азимут ва зенит. Азимут - шимолнинг ҳақиқий йўналиши ва Қуёшнинг Ернинг горизонтал текислигидаги проексияси орасидаги бурчак.

Зенит бурчаги куннинг баландлигини тавсифлайди. Азимут кун давомида ернинг ўз ўқи бўйлаб айланиши (соат бурчаги деб ҳам аталади) туфайли қийматини ўзгартиради, зенит бурчаги эса Ер ўқининг пресессияси туфайли ўзгаради. Шунинг учун бошқарув тизимини лойиҳалашда Қуёшнинг иккита айланиш ҳаракатини ҳисобга олиш керак: кунлик ҳаракати (азимут ўқи бўйлаб ҳаракат) ва ер ўқининг йиллик пресессияси (эклиптика ўқи бўйлаб ҳаракат) [2].



2-расм. Ер юзасидаги нуқта ўрнини тавсифловчи бурчаклар (а) ва қуёш панелининг (б) юзаси қуёш нурларига нисбатан қиялик бурчаклари: ϕ - худуднинг кенглиги; ω - соат бурчаги; δ - Қуёшнинг бурилиши; θ - қуёш панелининг қиялик юзасига қуёш нурларининг тушиш бурчаги; γ - қиялик юзанинг азимути

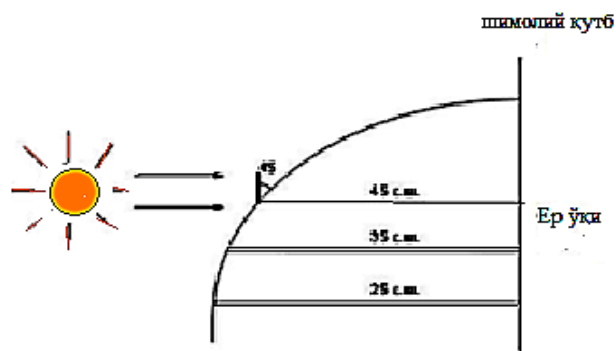
Қуёшнинг ҳолатини бошқаришнинг иккита усули мавжуд: битта ўқ ва иккита. Ўқлар сони бошқарув тизимининг механизмини аниқлайди: бир ўқли ва икки ўқли (3-расм).



3-расм. Бошқариш тизимлари: а - бир ўқли азимут, б - бир ўқли зенитҳал, с - икки ўқли

Ягона ўқли тизимлар қуёш панелларини фақат битта текисликда айлантириб, Қуёшнинг азимут ёки эклиптикадаги ҳаракатини бошқаради. Амалда, эклиптика ўқи бўйлаб бошқарув тизимлари қўлланилмайди, чунки Қуёшнинг кундузи азимут ўқи бўйлаб ҳаракати муҳимроқдир.

Эклиптика бўйлаб бир ўқли кузатишда катта самарадорликка эришиш учун иккинчи ўқ Ернинг ўқига параллел равишда ўрнатилади [3,4], яъни. жанубга худуднинг кенглигига мос келадиган уфққа бурчак остида (4-расм).



4-расм. ФМ нинг горизонтга нисбатан жойлашиши

Икки ўқли тизимлар Қуёшнинг икки текисликдаги ҳолатини (Қуёшнинг азимути ва эклиптикаси) назорат қилади, бу эса кун давомида қуёш ҳаракатини аниқ кузатишни таъминлайди. Икки ўқли тизимлар бир ўқли тизимларга қараганда самаралироқ, аммо уларнинг дизайни ва бошқарув блокнинг мураккаблиги тўғрисида уларнинг нархи анча юқори. Шунинг учун, бир назорат ўқи бўлган тизимлар тез-тез ишлатилади ва иккинчи ўқ, юқорида айтиб ўтилганидек, ернинг ўқига параллел равишда ўрнатилади ёки юқори самарадорликка эришиш учун йилига 3-4 марта энг самарали бурчакка қўлда ўрнатилади.

Адабиёт

1. Полвонов О.Х., Ситдиқов Р.А., Сиддиқов Х.З. Қуёш панелларининг йўналтириш тизимларидан фойдаланган ҳолда фотоэлектр станцияларининг самарадорлигини ошириш. /Муқобил ва қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиш тенденциялари: муаммолар ва ечимлар. 17-18-Май. 2021 йил.

2. Аржанов К.В. Двухкоординатная система наведения солнечных батарей на Солнце / К.В. Аржанов //Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 4. – С. 139-146.

3. Petrov Lyuboslav. Solar Tracking Strategies/ Thesis · January 2011/ DOI: 10.13140/RG.2.1.2413.9765. University of DUNDEE. 2010/2011. -79 p.

4. Капля Е.В. Автоматическая система ориентации солнечной батареи в условиях переменной освещенности // Известия ВолгГТУ. – Волгоград – 2009.– №8(56). – С.88.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 66.047

ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОР ГЕЛИОВИБРАЦИОН ҚУРИТИШ ҚУРИЛМАСИДА ХУРМО МЕВАСИНИ ҚУРИТИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ ВА ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**Г.Т. Дадаев, Ш.А. Султанова, Ж.Э. Сафаров**

Мақолада энергия тежамкор гелиовибрацион қуритиш қурилмасида хурмо мевасини қуритиш жараёнлари математик моделлаштирилган. Эмпирик моделлар экспериментал-статистик усуллар ёрдамида ишлаб чиқилган. Тажриба натижаларини қайта ишлашда регрессион ва корреляцион таҳлил қилиш усулларини қўлланилган. Қуриган масса намлигининг қуритиш қурилмасидаги қуритиш ҳароратига, амплитудага ва частотага боғлиқлик графиги қурилган. Оптималлаштиришнинг тажрибавий-статистика усулида оптималлик мезони танланган. Қуритишнинг оптимал ҳарорати 33°C, частота 3 бўлиши аниқланган.

Калим сўзлар: моделлаштириш, эмпирик, статистик текшириш, корреляцион таҳлил, актив эксперимент, частота, амплитуда, оптималлаштириш, регрессия.

В статье математически моделируются процессы сушки плодов хурмы на энергоэффективной гелиовибрационной сушильной установке. Эмпирические модели разработаны с использованием экспериментально-статистических методов. При обработке результатов эксперимента применялись методы регрессионного и корреляционного анализа. Построены графики зависимости влажности высушенной массы от температуры, амплитуды и частоты вибрации сушки в сушильном аппарате. В экспериментально-статистическом методе оптимизации выбирается критерий оптимальности. Установлено, что оптимальная температура сушки-33°C, частота – 3 Hz.

Ключевые слова: моделирование, эмпирическая, статистическая проверка, корреляционный анализ, активный эксперимент, частота, амплитуда, оптимизация, регрессия.

The article mathematically models the drying processes of persimmon fruits on an energy-efficient solar vibration drying plant. Empirical models are developed using experimental statistical methods. Regression and correlation analysis methods were used to process the experimental results. A graph of the dependence of the humidity of the dried mass on the temperature, amplitude and frequency of drying in the drying apparatus is constructed. In the experimental statistical optimization method, the optimality criterion is selected. It is established that the optimal drying temperature is 33°C, the frequency is 3.

Key words: modeling, empirical, statistical verification, correlation analysis, active experiment, frequency, amplitude, optimization, regression.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Технологик жараёнларни моделлаштиришда физик-кимёвий қонуниятларни ва моделларнинг мувофиқлигини текшириш учун экспериментал маълумотларга асосланган. Бунда эмпирик моделлар экспериментал-статистик усуллар ёрдамида ишлаб чиқилди ва объектда содир бўладиган жараёнлар билан тизимнинг кириш параметрларининг ўзгаришига таъсирининг боғлиқлиги ўрганилди.

Бундай ҳолатда объектнинг математик тавсифи статистик текшириш натижасида олинган эмпирик боғлиқликлар тизими ҳамда, объектнинг кириш ва чиқиш параметрлари ўртасидаги корреляция ёки регрессия муносабатлари кўринишига эга бўлди [1-3].

1. Регрессион ва корреляцион таҳлил. Тажриба натижаларини қайта ишлашда регрессион ва корреляцион таҳлил қилиш усулларини қўллаб, жараённинг математик моделини олиш мумкин:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k); \quad (1)$$

бу ерда, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ — факторлар (технологик параметрлар) тажриба натижасида олинган.

Регрессия тенгламасининг умумий кўриниши қуйидагича бўлади:

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum_{ij}^N b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ij} x_i^2 + \dots + \dots; \quad (2)$$

бу ерда, b_0 — эркин ҳад;

b_i — чизикли эффект коэффициентлари;

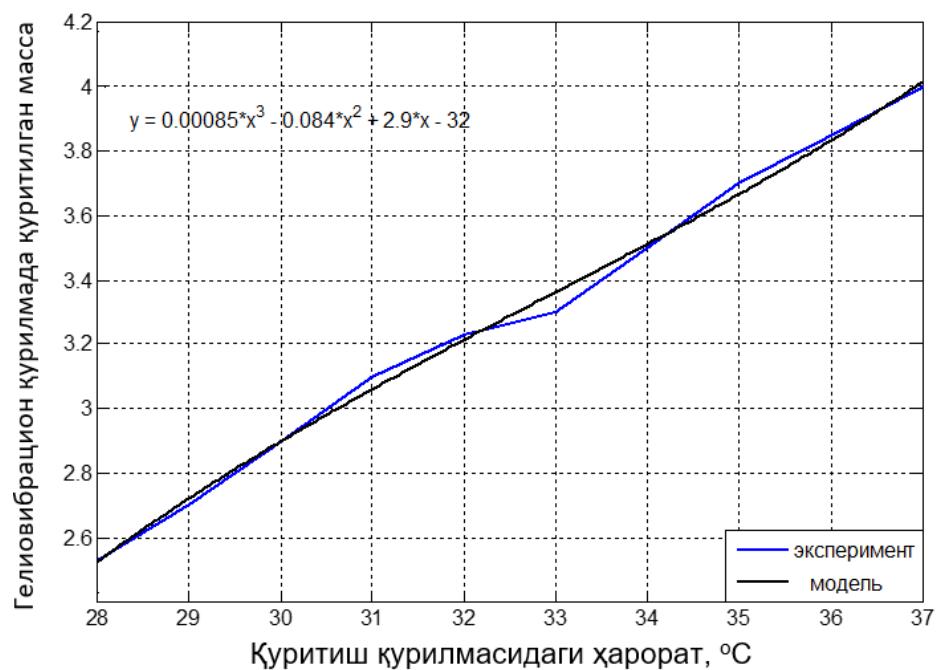
b_{ij} — ўзаро таъсир коэффициентлари.

Актив эксперимент - олдиндан тузилган дастур ёрдамида ишлаб турган қурилмада ўтказилди. Қурилмада ишлаб чиқариш жараёни кетаётгани учун, чиқиш қиймати кўрсаткичи технологик регламентда кўсатилган қийматдан 25% ортиқ бўлиши мумкин. Шу қиймат катталигидан келиб чиқиб бошқа кириш қийматларини ўзгариш чегарасини аниқлаймиз.

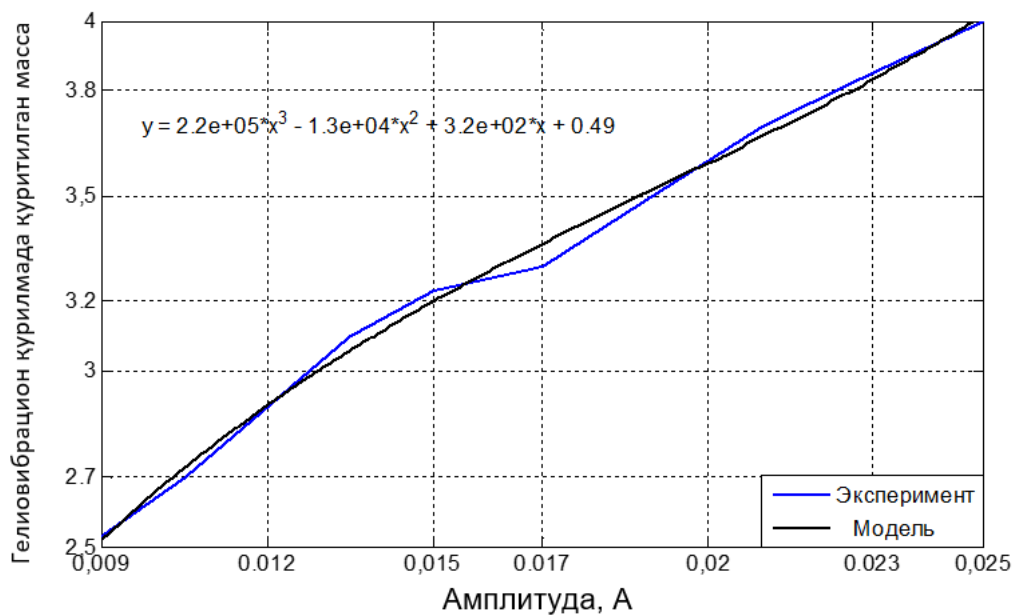
1- жадвал

Режалаштиришнинг характеристикалари

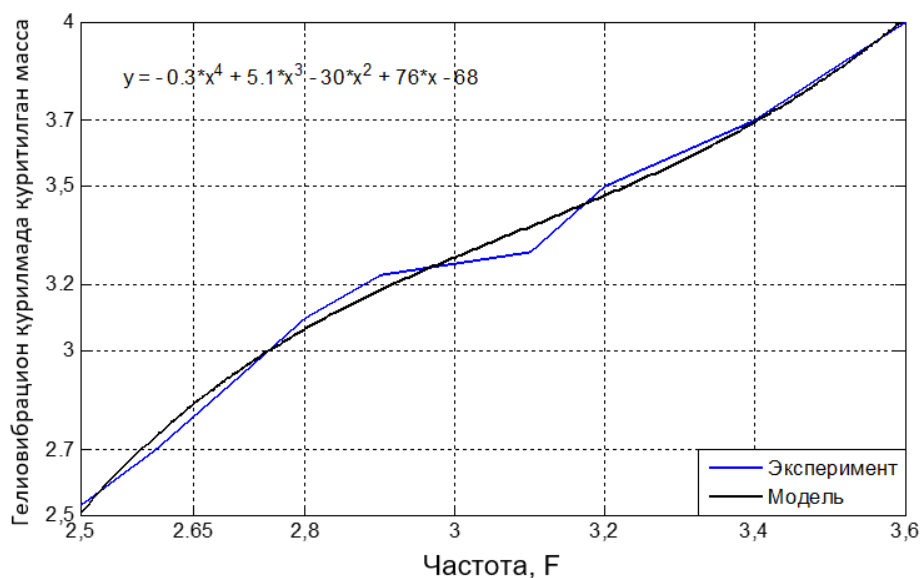
Омилларнинг номланиши	Ўлчов бирилиги	Белгила ниши	Омиллар даражаси		
			+1	-1	0
Қуриш қурилмасидаги ҳарорат, Т	°С	x_1	37	28	33
Амплитуда, А	М	x_2	0,025	0,009	0,014
Частота, F	Гц	x_3	3,6	2,5	3



1-расм. Қуриган масса намлигининг қуришиш қурилмасидаги қуришиш ҳароратиға боғлиқлик графиги

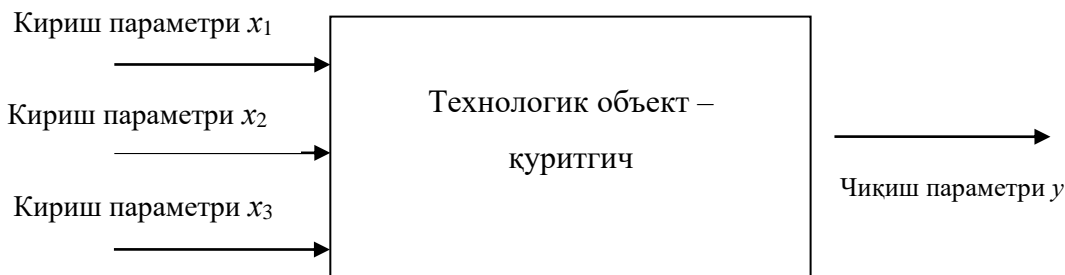


2-расм. Қуриган масса намлигининг қуришиш қурилмасидаги амплитудаға боғлиқлик графиги



3-расм. Қуриган масса намлигининг қурилуш қурилмасидаги частотага боғлиқлик графиги

Хурмо мевасини гелиовибрацион қурилуш қурилмасида қурилуш жараёнининг параметрик модели қуйидаги 4-расмда тасвирланган. Қўрилуётган объект учун жараёнининг кириш ва чиқиш параметрлари аниқланди. Ҳар бир факторнинг ўзгариш оралиғини қиймати, биринчи навбатда.



4-расм. Фаол тажрибага асосланган статистик моделлар

Қўрилуётган жараён учун режалаштириш матричасини тузамиз. Режалаштириш матричасидаги тажрибалар сони $N = 2^3 = 8$ га тенг.

2-жадвал

Режалаштириш матричаси

№	x_1	x_2	x_3	Y
1	28	0,009	2,5	Y_1
2	37	0,025	2,5	Y_2
3	28	0,009	2,5	Y_3

4	37	0,025	2,5	Y_4
5	28	0,009	3,6	Y_5
6	37	0,025	3,6	Y_6
7	28	0,009	3,6	Y_7
8	37	0,025	3,6	Y_8

Бу табиий масштаби режалаштириш матрицаси.

Экспериментни маълум бир режа бўйича ўтказиш, ҳар бир экспериментда чиқиш параметрининг қийматларини аниқлаш ва экспериментал маълумотлар асосида статистик моделни қуриш учун режалаштириш матрицаси тузилган.

Экспериментни режалаштиришда математик модел қуйидаги кўринишда олинади:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n. \quad (3)$$

Ўзгарувчиларни кодлаш

Ҳисоб-китобларнинг қулайлиги учун биз табиий координаталардан (табиий ўлчов бирликлари) ўлчамсизларга ўтамыз. Ўтиш (ёки кодлаш) формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$X_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i}; \quad (4)$$

бу ерда x_i – табиий ўзгарувчининг қийматлари (юқори ёки пастки даража); x_i^0 – натурал ўзгарувчининг асосий даражаси; Δx_i – табиий ўзгарувчанлик оралиғи; X_i – i -чи омилнинг кодланган қиймати (юқори ёки пастки даражада).

Натурал ўзгарувчилардан кодланган ўзгарувчиларга ўтамыз:

Ҳарорат учун:

$$X_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i} \quad (5)$$

Режалаштириш матрицасини кодланган бирликларда ифодалаймиз.

3-жадвал

№	x_0	x_1	x_2	x_3
1	+1	-1	-1	-1
2	+1	+1	-1	-1
3	+1	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	-1
5	+1	-1	-1	+1
6	+1	+1	-1	+1
7	+1	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1	+1

Бу ўлчовсиз масштабдаги режалаштириш матрицаси.

x_0 – кўпхаднинг эркин ҳадини ҳисоблаш учун зарур бўлган ўзгарувчи (+1).

2. Оптималлаштириш масаласининг қўйилиши. Оптималлаштирилаётган \bar{u} ўзгарувчини (оптималлаштириш ресурсини) рухсат этилган чегараларда (соҳада) $\bar{u}^{рух.эм.}$ оптималлик мезони R экстремумини (энг катта ёки энг кичик қийматини) таъминловчи қийматини топиш жараёнида оптималлаштириш масаласи қуйидаги кўринишга келтирилиши мумкин [5]:

$$\begin{aligned} opt R(\bar{y}) \\ \bar{u} \in \bar{u}^{рух} \end{aligned} \quad (6)$$

Ушбу ҳолатда моделлаштирилаётган объект ҳолатини аниқловчи кириш ўзгарувчиси \bar{x} икки гуруҳдаги ўзгарувчиларга ажратилади: \bar{u} - назорат қилиниши ва ростланиши мумкин бўлган, яъни оптималлаштириладиган ўзгарувчи ва \bar{x} - назорат қилинадиган, аммо ростланмайдиган (оптималлаштириш ресурслари каби) ўзгарувчи.

Амалиётда оптималлаштириш масалаларини ечишда чиқиш \bar{y} ўзгарувчилари тажриба маълумотлари (масалан, оптималлаштиришнинг тажрибавий-статистика усулида) ёки жараёнларнинг математик моделлари (оптималлаштиришнинг сонли усулида) ёрдамида аниқланади.

Бу пайтда математик моделлар қуйидаги функционал оператор кўринишида ифодаланиши мумкин [6,7]:

$$\bar{y} = F(\bar{u}, \bar{x}). \quad (7)$$

Оптималлик мезонини танлаш

Хурмо мевасини гелиовибрацион қурилмада қуриши жараёнини оптималлаштириш масаласини ечишда технологик параметрларнинг рационал чегараларини ёки қурилманинг берилган иш унумдорлигини таъминловчи минимал иссиқлик узатиш юзасини аниқлаш мақсадга мувофиқ бўлади [1].

Оптималлаштириладиган ўзгарувчилар жараённинг кириш ўзгарувчилари қаторидан олинди. Оптимал лойиҳалаш масаласини ҳал этишда оптималлаштирилаётган ўзгарувчилар қаторига жараённинг конструктив параметрлари (қонструкция типи, ўлчамлари ва ҳ.к.) киритилган, аксинча ҳолатларда, оптимал бошқарув масаласи ҳал этилди. Оптималлаштириладиган (бошқарилувчи) ўзгарувчиларнинг U оптимал қийматларини қидиришдан кўзланган асосий мақсад жараёни амалга оширишнинг энг яхши режим параметрларини аниқлашдир [4].

3. Бокс-Уилсон усулида аниқлаш. Хурмо мевасини гелиовибрацион қурилмада қуриши жараёнини оптимал чегараларини Бокс-Уилсон усулидан фойдаланиб аниқланди.

Мазкур усул оптимумни икки босқичда қидириш имконини беради:

- оптимум соҳасида кадамма-кадам тик кўтарилиш. Бу пайтда оптимумга функция градиенти бўйича яқинлашиб бориш мақсадида чиқиш параметрини тезкор кўтарилиш (ёки камайиш) йўналишида бир ёки бир неча серияда экспериментлар кўйилади;

- бевосита оптимум соҳасида изланишлар олиб бориш. Бунда экспериментлар ўтказишнинг 2 - тартибли режаси кўйилади.

Оптималк мезонининг факторлардан боғлиқлиги 1-даражали кўпхад:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (8)$$

орқали ифодаланади.

4-жадвал

Экспериментлар жадвали

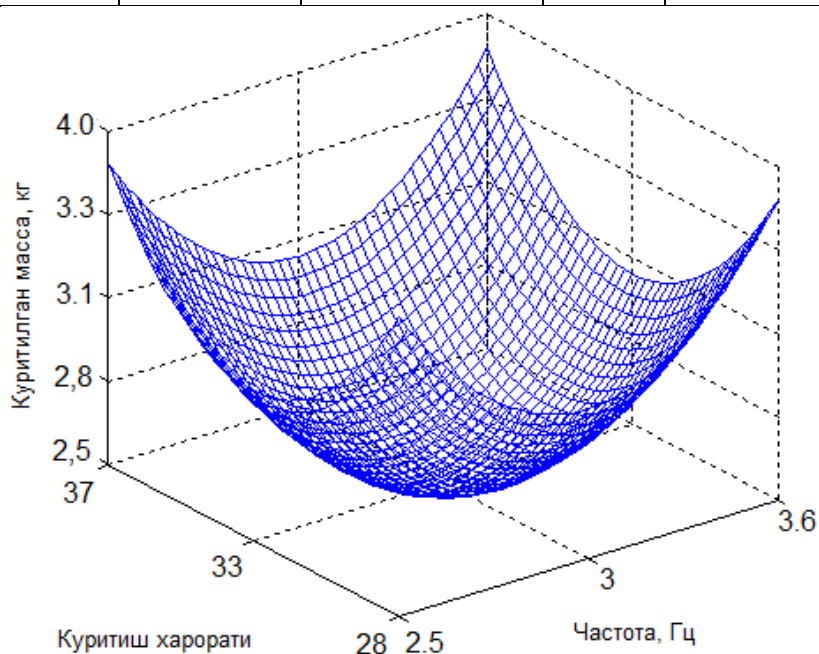
Модель: $\hat{y} = 3,41 + 0,222 x_1 + 0,38 x_3$								
		Факторлар			Натижалар			
Номланиши		Қуритиш харорати, °С	Ампли- туда, м/с	Частота, Гц	Чиқиш параметри			
Бошланғич нуқта		33	0,014	3				
Ишчи кадам		0,3	0,0005	0,005				
Қадам рақами	Экспе- римент тури				Модел бўйича	Экспери- ментлар		Ўртача -си
					\bar{y}	y_2	y_1	y
1	М	32,70	0,0135	2,995	2,530			
2	М	32,40	0,013	2,990	2,720			
3	М	32,10	0,0125	2,985	2,890			
4	Р	31,80	0,012	2,980		3,540	3,540	3,540
5	М	31,50	0,0115	2,975				
6	Р	31,20	0,011	2,970		3,770	3,770	3,770
7	М	30,90	0,0105	2,965				
8	Р	30,60	0,01	2,960		3,250	3,690	3,470
9	М	30,30	0,0095	2,955				
10	Р	30,00	0,009	2,950		2,530	3,860	3,200
11	Р	29,70	0,0085	2,945		3,240	2,547	2,890
12	Р	29,40	0,008	2,940		2,860	3,470	3,170
13	Р	29,10	0,0075	2,935		3,490	3,920	3,710
14	Р	28,80	0,007	2,930		3,720	3,340	3,530
15	Р	28,50	0,0065	2,925		4,000	4,210	4,110
16	Р	28,20	0,006	2,920		3,650	3,987	3,820
17	Р	27,90	0,0055	2,915		3,810	4,178	3,990
18	Р	27,60	0,005	2,910		3,560	3,590	3,200

Изох: М - моделдаги экспериментлар; Р - ҳисоблаш эксперименти.

Юқоридагиларга ўхшаб, факторларнинг ҳар бири учун ўзгаришлар оралиқларини танлаймиз ва эксперимент давомида факторлар қийматлари жадвалини тўлдираемиз. Сўнгра, эксперимент режасини тузамиз, уни амалга ошираемиз ва олинган натижаларни тажрибани амалга ошириш жадвалига (5-жадвал) жойлаштираемиз.

Модель коэффициентларини баҳолаш жадвали

Баҳолаш коэффициенти	Баҳолаш қиймати	t -статистика қиймати	$t_{кр}$	Фаразни текшириш натижаси
\bar{b}_0	3,5508	31,54449803	2,31	1
\bar{b}_1	0,1236	1,098271793	2,31	1
\bar{b}_2	0,1199	1,064957178	2,31	1
\bar{b}_3	0,3111	2,76400252	2,31	0
\bar{b}_{12}	0,0552	0,490835321	2,31	0
\bar{b}_{13}	0,0640	0,568569422	2,31	0
\bar{b}_{23}	-0,0755	0,67073424	2,31	0



4-расм. Куриган массанинг куригиш қурилмасидаги куригиш харорати ва частотага боғлиқлик графиги

Регрессия коэффициентларининг ўртача квадратик четлашуви 0,1125 га, қолган коэффициентлар сони эса 2 га тенг. Фаразни текшириш натижасига кўра $y=3,5508$.

Тажриба натижалари тадқиқот маркази соҳасида хусусий экстремумнинг мос координаталари фақат b_0 коэффициенти аҳамиятга эга бўлишини кўрсатади, унинг баҳолаш қиймати $b_0 = 3,5508$.

Таққослаш натижаларига $F_x \leq F_{ж}$ асосан $1,36 \leq 4,30$ га кўра қуриган масса, 3,5508 га тенг эканлигини кўрсатади.

Хулоса. Хурмо мевасини гелиовибрацион қурилмада қуритиш жараёнини оптималлаштириш масаласи шакллантирилди ва оптималлик мезони танланди. Бундан шундай хулоса қилиш мумкинки, қуритишнинг оптимал ҳарорати 33°C , частота 3 Гц бўлиши аниқланди.

Адабиёт

1. Дадаев Г.Т., Сафаров Ж.Э. Моделирование процесса сушки пищевых трав в естественных природно-климатических условиях// Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 4(97).

2. Dadaev G.T., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Mathematical modeling of the linear stationary process of drying with accuracy of evaporation and temperature relation on the surface of the layer in infrared heating. Agricultural Research & Technology: Open Access Journal. USA, 2017. Vol.9, Issue 5. – p.001-003. IF-1.19.

3. Дадаев Г., Сафаров Ж., Султанова Ш. Расчёт процесса сушки травянистых диетических материалов в гелиосушильных установках // Труды Международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения-19», посвященной 110-летию М. А. Гендельмана, Астана 2023, -С. 323-326.

4. Юсуфбеков Н.Р., Мухаммедов Б.Э., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари: техника ОЎЮ учун дарслик. - Тошкент: Ўқитувчи, 1997. - 704 б.

5. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.М. Математические методы планирования экспериментов. Учебное пособие. - М.: ДеЛи Принт, 2005. - 296 с.

6. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. Изд. третье, перераб. и доп. - М.: Химия, 1976. - 464 с.

7. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. Технологик жараёнларни моделлаштириш ва оптималлаштириш асослари. - Т.: Фан ва технология, 2015. - 440 б.

*Тошкент давлат техника университети
томонидан тақдим этилган*

УДК 658.26:621.31 (075.80)

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВАГОНОВ-ДОМОВ ПРИ РЕМОНТАХ СКВАЖИН

Н.Н. Махмудов, К.М. Сулитанофу, Л.Н. Насимхонов

Автоном гибрид энергия тизими - бу электр тармоғига уланмаганлик ҳолатларида, изоляция ҳолатидаги истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлайдиган ақлли электр станциясидир. Нефт ва газ саноатида автоном гибрид энергия тизимларини жорий этиши энергетик ва экологик хавфсизликни таъминловчи муқобил вариант сифатида қаралади. Қоида тариқасида, ҳаракатланиш қийин бўлган жойларда жойлашган конларда дизел йоқилгисидан фойдаланувчи генераторлар ёрдамида электр энергияси ишлаб чиқарилади. Ушбу мақолада капитал ва жорий таъмирлаш вақтида маиший тизимларнинг энергия самарадорлиги ва тежамкорлигини ошириш, шунингдек, электр энергияси манбаи сифатида автоном гибрид қурилмалардан фойдаланиш орқали атмосферага ифлослантирувчи моддалар чиқиндиларини камайтириш имкониятлари муҳокама қилинади.

Калит сўзлар: *Энергия тежамкорлик, энергия самарадорлиги, қайта тикланучи манбалар, бургулаш, барқарор ривожланиш, экология.*

Автономная гибридная энергетическая система представляют собой интеллектуальную энергоустановку, которая обеспечивают подачу электроэнергии изолированным потребителям без подключения к энергосистеме. Внедрение автономных гибридных энергосистем в нефтегазовую отрасль рассматривается как вариант повышения энергетической и экологической безопасности. Как правило, месторождения расположены в труднодоступных зонах, в связи с чем, выработка электроэнергии производится с помощью дизельных генераторов. В данной статье рассматривается возможность повышения энергоэффективности и экономичности бытовых систем при капитальном и текущем ремонте, а также снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу путем применения автономной гибридной установки как источника электроэнергии.

Ключевые слова: *Энергосбережение, энергоэффективность, возобновляемые источники, бурение, устойчивое развитие, экология, экологичность.*

An autonomous hybrid power system is an intelligent power installation that provides electricity to isolated consumers without being connected to the power grid. The introduction of autonomous hybrid power systems in the oil and gas industry is considered as an option to improve energy and environmental security. As a rule, oil and gas fields are located remotely and off the grid, and therefore electricity is generated using diesel generators. This article discusses the possibility of improving energy efficiency and efficiency of household systems during underground repairs, as well as reducing emissions

of pollutants into the atmosphere by using an autonomous hybrid installation as a source of electricity.

Keywords: *Energy saving, energy efficiency, renewable sources, drilling, sustainable development, ecology, environmental friendliness.*

Введение. Как упоминалось ранее, в большинстве случаев для производства электроэнергии на удаленных территориях используется оборудование, работающее на ископаемом топливе: дизеле, мазуте, угле и газе. Широкое применение ДЭС как в Узбекистане, так и в мире обусловлено следующими факторами:

1. Относительно низкие удельные капиталовложения.
2. Простота с точки зрения технической реализации.
3. Применяемость в любых условиях.

Однако, применение традиционных ресурсов в качестве основного и единственного способа выработки электроэнергии имеет и свои недостатки. Прежде всего, это высокая стоимость используемого топлива, что обуславливает высокую себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Следует также учитывать, что поставка закупаемого топлива до децентрализованной местности также создает дополнительные расходы.

Помимо этого, недостатками ДЭС являются:

1. Ограниченный диапазон регулирования нагрузки ДГУ.
2. Экологический ущерб, заключающийся в выбросах в атмосферу диоксида углерода (CO_2) и других загрязняющих веществ – окиси углерода (CO), оксидов азота (NO_x), углеводородов (C_xH_y), сажи (C), двуокиси серы (SO_2), формальдегидов (CH_2O), бензапирена ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$).
3. Ограничения по отпуску электроэнергии в установленные часы, что практикуется в связи с необходимостью оптимизации расходов на электроснабжение.
4. Зависимость от надёжности поставок топлива, перебои в поставках дизельного топлива.
5. Высокие риски возникновения нештатных ситуаций, связанных с транспортировкой и хранением ДТ (аварии, сопровождающиеся загрязнением почв, подземных и наземных вод и т.д.).

В свою очередь, применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволяет решить ряд проблем, связанных с эксплуатацией оборудования, осуществляющего выработку электроэнергии за счет применения ископаемого топлива [7].

Во-первых, применения ВИЭ в современных энергосистемах обусловлено также тем, чтобы удержать процесс глобального изменения климата. Узбекистан также подписал Парижское соглашение, целью которого является удержание роста средней температуры в пределах $2\text{ }^\circ\text{C}$, а при возможности – $1,5\text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, потребуется масштабная трансформации энергетического сектора путём увеличения доли ВИЭ [8].

Во-вторых, ограниченность запасов традиционного ископаемого топлива

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

требует развития и внедрения возобновляемых источников по всем направлениям, в том числе в нефтегазовом секторе [2]. До настоящего момента энергетический сектор делал упор на разработку месторождений газа в связи с их перспективными запасами, что объясняет относительно небольшую установленную мощность электростанций на базе ВИЭ. Ниже приведено сравнение ДЭС и АГЭУ (табл.1).

Таблица 1

ДЭС	АГЭУ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Низкая эффективность в связи с износом оборудования и неоптимальной нагрузки 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Бесперебойное автоматизированное электроснабжение 24 часа в сутки
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Средний удельный расход топлива ДГУ: 0,35-0,60 кг/кВт·ч 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Экономия топлива до 50% в год
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Высокая себестоимость топлива из-за транспортной труднодоступности 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Меньшая зависимость от топливных ресурсов
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ограничения на объем доставки топлива и, как следствие, выработки электроэнергии до нескольких часов в сутки 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Снижение износа дизель-генераторных установок за счет оптимальной работы других компонентов
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Экологический риск, загрязнение окружающей среды 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Забота об окружающей среде

Материалы и методы. Автономные гибридные энергоустановки (АГЭУ) – это система оборудования, предназначенная для выработки электроэнергии в условиях изолированных труднодоступных районов. На сегодняшний день в классический состав АГЭУ входят:

- фотоэлектрическая система (ФЭС) для преобразования солнечной энергии;
- дизельные генераторы;
- аккумуляторные батареи в качестве накопителей электроэнергии;
- инвертеры;
- интеллектуальная система управления.

Автономные гибридные установки в первую очередь классифицируются по мощности. В зависимости от требуемой мощности АГЭУ подбираются наиболее оптимальные модели с точки зрения состава и конфигурации системы.

Мини-АГЭУ – мобильные автономные установки малой мощности (1-10 кВт), которые могут быть транспортированы в кузове небольшого грузовика в разобранном виде. Они разработаны специально для работы в удаленных районах без доступа к электрической сети. Сборка мини-АГЭУ и ее подключение в общей сложности занимает 3-4 часа. В состав установки могут входить, как правило, накопители энергии, ДГУ и солнечные панели. Мини-АГЭУ применяют в одиночных бытовых конструкциях, таких как автономные дома, стоянки, радиорелейные станции и другое.



Рис. 1. Мини-АГЭУ

При разработке проекта современной энергоэффективной системы, выработку электроэнергии необходимо производить за счет использования наиболее преобладающих местных энергетических активов, таких как солнечная и ветровая энергия, биомасса и биогаз, геотермальная энергия и другое [10]. Технологии, отвечающие за производство энергетических ресурсов, комбинируются внутри так называемой «микросети» (от англ. microgrid) для удовлетворения требований конечных пользователей, которые могут варьироваться от базовой электрификации до более продвинутых или сложных структур (рис. 2).

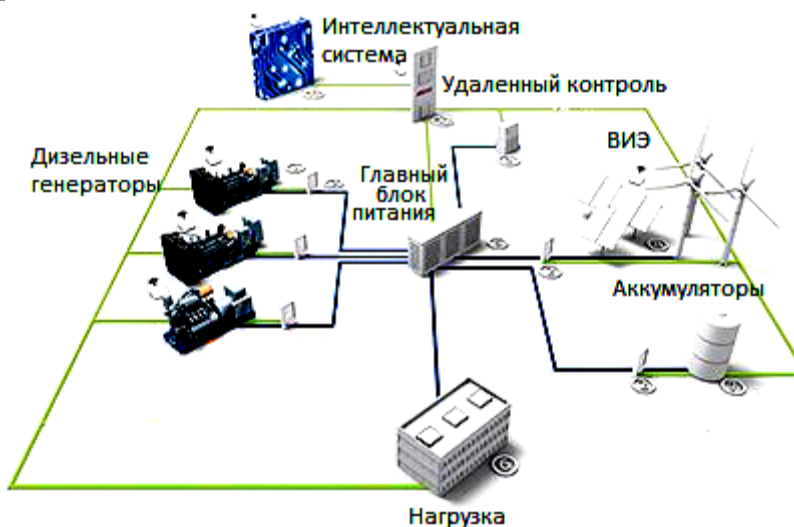


Рис. 2. Общая схема микросети

На сегодняшний день существуют некоторые методы выбора автономных электротехнических комплексов [4]. Их основная цель – это выбор эффективного состава компонентов АГЭУ и алгоритмов управления. Метод должен учитывать не только применяемые источники энергии, но и нагрузку от потребителей электроэнергии, которая имеет свой индивидуальный график и может меняться в зависимости от вида деятельности.

Методы оптимизации можно разделить на 2 направления:

1. Классические методы;
2. Эвристические методы.

В качестве примера классического метода оптимизации можно привести любой метод, основывающийся на применении задач математического программирования. Одним из подобных методов является метод Гаусса-Зейделя, который основан на несколько модифицированном процессе простой итерации.

Среди эвристических методов наиболее распространение получили программные комплексы HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) и iHOGA (improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms). В отличие от классических методов, эвристические программные продукты имеют

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

систематизированный интерфейс, который доступен большому количеству заинтересованных лиц. Тем не менее, для более детального анализа работы проектируемой автономной системы, следует учитывать, что математические модели, применяемые для оптимизации, изначально занесены в программный код и закрыты для изменений со стороны пользователя. Программа руководствуется универсальными предопределёнными алгоритмами управления источниками и накопителями электроэнергии.

Результаты и обсуждение. В данной работе рассматривается проектирование АГЭУ на территории месторождений, относящихся к Бухаро-Хивинскому нефтегазоносному району и размещающиеся в Мубарекском районе Кашкадарьинской области: Южный Мубарек, Северный Мубарек и Шумак. Месторождения относятся к Мубарекскому НГДУ.

В географическом отношении исследуемая территория располагается в юго-восточной части пустыни Кызылкум.

Климат района резко-континентальный, характеризующийся короткой холодной зимой и продолжительным засушливым жарким летом.

Высокие показатели температуры воздуха летом, а также низкая относительная влажность воздуха и частые ветры, повышают испаряемость влаги с почвогрунтовой толщи. Низкие температуры зимой вызывают промерзание верхнего слоя почвы.

Солнечные ресурсы импортируются HOMER непосредственно из базы данных NASA по наземной метеорологии и солнечной энергии путем ввода координат GPS.

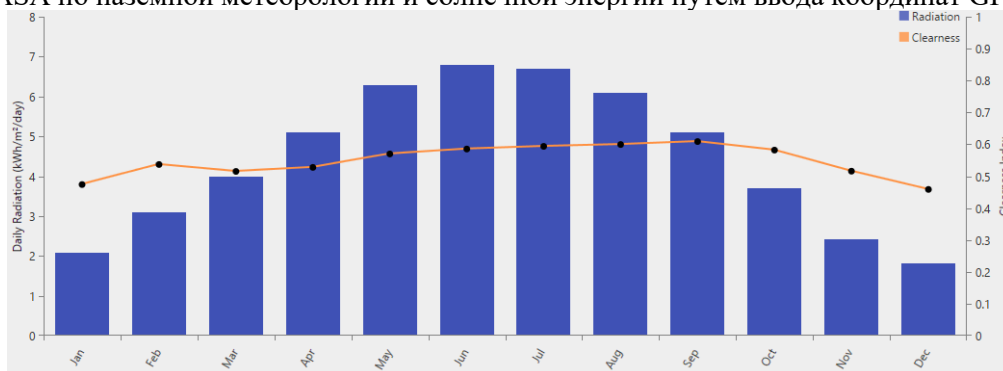


Рис.3. Среднемесячные данные солнечной радиации

Месторождения Мубарекского НГДУ расположены на местности с большим потенциалом в области возобновляемых источников энергии, в частности солнечной энергии. На рис.3 приведены среднемесячные показатели солнечной радиации за год на площадке месторождения.

Для построения первой оптимизационной модели системы электроснабжения в программном обеспечении «Homer Pro» были получены и обработаны данные энергетических нагрузок от вагон-домов, в которых проживают специалисты на период осуществления подземного ремонта скважин.

Далее программа осуществила расчет множества компоновок оборудования с участием ВИЭ и без них для определения оптимального варианта энергоснабжения площадки, в частности, с учетом экономических и экологических эффектов.

RESULTS																					
Summary		Tables		Graphs		Sensitivity Cases															
Export...		Export All...		Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.														Compare Economics		Column Choices...	
Sensitivity		Architecture				Cost				System				Gen				PV			
Gen	Minimum Load Ratio (%)	PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren. Frac. (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	Capital Cost (\$)	Pro (k)		
20.0	0.0176	0.790	1	0.0129	CC	\$5,700	\$0.484	\$1,173	\$742.83	0.662	863	4,745	2,768	863	112	1,035	43.9	25.1			
25.0	0.0176	0.790	1	0.0129	CC	\$5,700	\$0.484	\$1,173	\$742.83	0.662	863	4,745	2,768	863	112	1,035	43.9	25.1			

Optimization Results																				
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.																				
Export...		Architecture				Cost				System				Gen				PV		
Gen	Minimum Load Ratio (%)	PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren. Frac. (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	Capital Cost (\$)	Pro (k)	
0.0176	0.790	1	0.0129	CC	\$5,700	\$0.484	\$1,173	\$742.83	0.662	863	4,745	2,768	863	112	1,035	43.9	25.0	1.89		
0.790	1	0.0104	CC	\$5,718	\$0.486	\$1,188	\$698.13	0	870	4,745	2,798	870	112	1,044					1.89	
0.458	0.790	0.115	CC	\$6,616	\$0.562	\$1,193	\$1,575	0	947	5,924	2,903	947	140	1,136	1,146	652				
0.790			CC	\$7,948	\$0.675	\$1,787	\$395.00	0	1,186	8,760	3,388	1,186	208	1,424						
7.49			CC	\$18,850	\$1.60	-\$3,438	\$33,377	100	0									18,719	10,653	88.7

Рис. 4. Результаты расчета первой оптимизационной модели для энергоснабжения вагон-домов

По результатам полученных результатов был выбран оптимальный вариант комплексной схемы энергоснабжения, применимой для рассматриваемых объектов. В состав системы в качестве источников постоянного тока применены поликристаллические солнечные панели суммарной мощностью 1 кВт (4 шт.) дизельный генератор 790 Вт, свинцово-кислотный аккумулятор емкостью 1 кВт и сетевой инвертор.

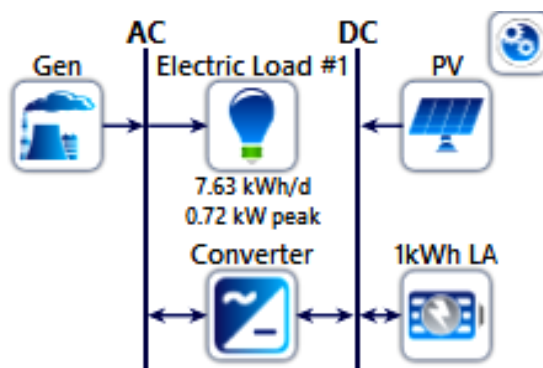


Рис.5. Структурная схема спроектированной АГЭУ

Следует отметить, что аккумулирование энергии от ВЭУ способствует решению проблем непостоянства поступления энергии, а также повышает эффективность использования энергии солнца и увеличивает суммарную выработку PV. Потребителю электроэнергии необходим источник переменного тока, поэтому в схему был внедрен инвертор (преобразователь энергии). Полностью исключить

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

традиционные источники энергии на данном этапе невозможно. В нашем случае для энергобезопасности система позволяет уменьшить нагрузку на дизельный генератор, и тем самым также сократить потребление дизельного топлива. При расчете применяются реальные климатические данные выбранного местоположения, загруженные из базы данных NASA.

Выбранная компоновка оборудования АГЭУ показала себя довольно устойчивой в условиях эксплуатации объекта и климатических особенностей местности. По результатам расчета, АГЭУ для вагон-домов будет стабильно снабжать их электроэнергией спросом в 2786 кВт/год, при этом избыток электроэнергии составит 0,541 кВт/год. Уровень замещения выработки электроэнергии от традиционных источников энергии на возобновляемые составляет 0,7 %.

Рассматривая базовый (дизельный генератор, 1 рабочий, 1 резервный) и проектный вариант (спроектированная АГЭУ), разница в NPC (чистой приведенной стоимости) за 5-летний период эксплуатации составляет \$ 2 248, что фактически является сэкономленной суммой в случае эксплуатации АГЭУ, учитывая все затраты, которые система несет в течение своего срока службы, включая капитальные затраты, затраты на замену, затраты на ввод в эксплуатацию и затраченные ресурсы. Также наблюдается снижение нормированной стоимости электроэнергии (LCOE) за кВт·ч с \$ 0,675 до \$ 0,484, что на 28% дешевле, чем получение электроэнергии только от дизельных генераторов (базовый вариант).

За счет того, что операционные расходы, образующиеся при транспортировке топлива и плате за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, в проектном варианте величина этих затрат может снизиться в 1,5 раза, а выбросы преобладающего загрязняющего компонента – диоксида углерода – на 847 кг/год [3]. Экономические показатели эксплуатации АГЭУ приведены в табл.2.

Cost Summary

	Base Case	Lowest Cost System
NPC ⓘ	\$7,948	\$5,700
Initial Capital	\$395.00	\$742.83
O&M ⓘ	\$1,787/yr	\$1,173/yr
LCOE ⓘ	\$0.675/kWh	\$0.484/kWh

На рис.6 изображен график, который демонстрирует, как проектный вариант компоновки с участием ВЭУ сокращает денежные расходы в течение 5 лет.

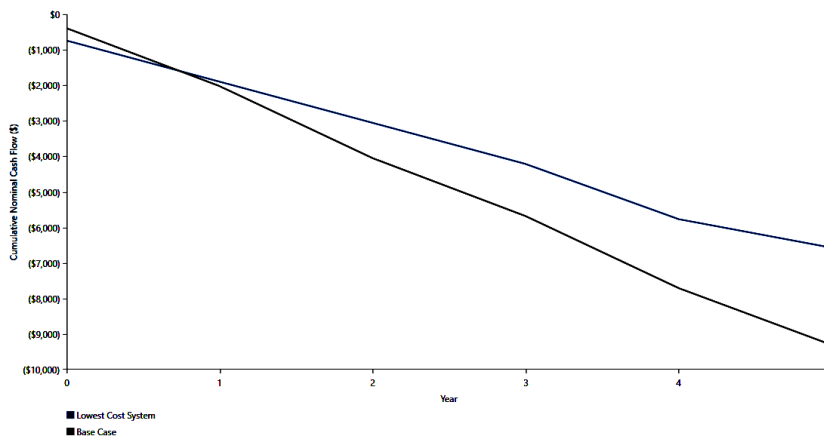


Рис.6. Совокупный номинальный денежный поток за 5 лет

Заключение. На сегодняшний день существует множество успешных проектов АГЭУ, применяемых на удаленных базах, в населенных пунктах и на изолированных участках, так как дает возможность адаптировать деятельность к промышленному процессу с учетом известных потребностей в энергии и доступных энергоресурсов. Интеллектуальный подход к управлению энергосистемой позволяет улучшить экологическую обстановку на площадках месторождений, обеспечивает надежное электроснабжение и оптимизирует работу с меньшими затратами.

Литература

1. Энергетика и проблемы устойчивого развития. Обзор. ПРООН, Департамент ООН по экономике и социальным проблемам, Всемирный энергетический совет. США, 2000.
2. Обзорные исследования по разработке национальной стратегии развития возобновляемой энергетики в Узбекистане. ПРООН. – Ташкент, 2005.
3. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 541 от 07.09.2020 года «О дальнейшем совершенствовании механизма оценки воздействия на окружающую среду».
4. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. /Под общей редакцией академика Салимова А.У. «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi» – Ташкент, 2021. -С.249-271.
5. NGH 39.0-140:2012 «Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий». АО «O'ZLITINEFTGAZ». 2012.
6. СанПиН РУз № 0293-11 «Гигиенические нормативы перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест на территории Республики Узбекистан». Ташкент, 2011.
7. Куликова И.Ю., Держинская И.С. Защита окружающей среды в

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

нефтегазовом комплексе. — 2008. — Журнал. Вып. 5. — С. 24–29.

8. Матчанов Н. Развитие возобновляемой энергетики в Узбекистане: современное состояние, проблемы и пути их решения. 2019. -С. 9-10.

9. Отчет о научно-исследовательской работе АО «Узтрансгаз». Обзор и анализ результативности экологической деятельности объектов АО «Узтрансгаз» за 2017-2019 гг. Инвентаризация и оценка выбросов парниковых газов. Меры по сокращению выбросов парниковых газов. 2019. -С.14-16.

10. Halabi M., Al-Qattan A., Al-Otaibi A. "Applications of Solar Energy in the Oil Industry-Current Status and Future Prospects." Renewable and Sustainable Energy. 2015. Pages 43: 296-314.

11. Karras, Greg. "Combustion Emissions from Refining Lower Quality Oil: What is the Global Warming Potential." Environmental Science. 2010. Pages 94-96.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*

УДК: 620.92

КОБАЛЬТИТ БАРИЯ-СТРОНЦИЯ $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$, МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**М.С. Пайзуллаханов, Ж.З. Шерматов, С.К. Шогучкаров, О.Т. Ражаматов,
Ф.Н. Эрназаров, Н.Х. Каршиева, С. Зохидов, А.Ф. Сагдуллаев**

$Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$ таркибига асосланган анион танқислиги тузилмалари 100-200 Вт/см² зичликда концентрланган қуёш нурлари оқимида қуёш печида эритмадан синтез қилинган. Тегишли металлнинг карбонатлари ва оксидларининг стехиометрик аралашмасига асосланган таблеткалар шаклидаги брикетлар ($SrCO_3 + BaCO_3 + Co_1O_3 + Fe_2O_3$) катта қуёш печининг фокал доғида эритилди. Эритма томчилари сувга оқиб, 10³ град/с тезликда совийди. Тўқималар 63 мкм қалинликгача майдаланди, 400°С да қуритилди, планшетлар (намуналар) шаклида шаклантирилди (диаметри 20 мм ва баландлиги 10 мм). Материал намуналари 1050 – 1250 °С ҳарорат оралиғида синтезланган. Намуналар карбонат ангидрид муҳитининг тузилиши, сувнинг сингиши ва деградациясини ўрганади. Материалнинг кристалл панжараси $a = 4,04\text{Å}$ бирлик элементар катак параметрига эга бўлган перовскит тузилишига эга эди. Материал намуналари синтезлаш ҳароратининг ошиши билан сувнинг сўрилишини кучайтирди. Шунингдек, материал тузилишининг карбонат ангидрид ва сув буғлари таъсирига чидамлилиги синтерлаш ҳароратига боғлиқлиги кузатилди. Структуравий параметрларнинг кузатилган қийматлари $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$ перовскит тузилмаларига асосланган материал метанни окислаш ва реформа қилиш орқали водород ва синтез газини ишлаб чиқаришда катализатор сифатида ишлатилиши мумкинлигини кўрсатади. $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{2,78}$ таркибли перовскит материалининг электр ўтказувчанлик механизми поларонларнинг сакраши билан боғлиқлиги аниқланди. Ҳароратнинг ошиши билан муваффақиятли сакраш тезлиги ошади, бу эса ўз навбатида ўтказувчанликнинг ошишига олиб келади. Ҳароратнинг кўтарилиши, шунингдек, сакраш бўшашиш модели бўйича ўтказувчанликни ошириш учун тўғридан-тўғри масъул бўлган бўш ўринлар сонининг кўпайишини рағбатлантириши кўрсатилган. Материал метанни ислоҳ қилиш ва оксидлаш орқали водород ва синтез газини олишда катализатор сифатида ишлатилиши мумкинлиги аниқланди. Бундан ташқари, бундай материаллар микротўлқинли бошқариладиган асбобларни яратиш учун ишлатилиши мумкин.

Калит сўзлар: эритма синтези, концентрланган оқим, водород ишлаб чиқариш, газ синтези, перовскит каталитик тузилмалари.

Исследованы анион-дефицитные структуры на основе состава $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{1-x}Fe_xO_{3-z}$ синтезированные из расплава на солнечной печи в потоке концентрированного солнечного излучения плотностью 100 – 200 Вт/см². Брикеты в форме таблеток на базе стехиометрической смеси карбонатов и оксидов соответствующих металлов ($SrCO_3 + BaCO_3 + Co_1O_3 + Fe_2O_3$) расплавились на

фокальном пятне Большой Солнечной Печи. Капли расплава стекали в воду, охлаждаясь со скоростью 10^3 град/с. Отливки подвергали измельчению до тонины 63 мкм, сушили при 400°C , формовали в виде таблеток диаметром 20 мм и высотой 10 мм). Образцы материала спекали в интервале температур $1050 - 1250^\circ\text{C}$. На образцах изучены структура, водопоглощение и деградация в среде углекислого газа. Кристаллическая решетка материала имела перовскитовое строение с параметром элементарной ячейки $a = 4,04 \text{ \AA}$. Образцы материала проявили возрастающее водопоглощение с увеличением температуры спекания. Также наблюдается зависимость стойкости структуры материала к воздействию углекислого газа и водяных паров от температуры спекания. Наблюдаемые значения структурных параметров свидетельствует о том, что материал, на основе перовскитовых структур $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$ может быть использован как катализатор при получении водорода и синтез-газа посредством риформинга и окисления метана. Установлено, что механизм электрической проводимости перовскитового материала $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{2,78}$ состава связан с прыжками поляронов. Показано, что с увеличением температуры скорость успешных прыжков увеличивается, что в свою очередь приводит к увеличению проводимости. Показано, что повышение температуры также стимулирует увеличение количества вакансий, которые априори ответственны за увеличение проводимости по модели скачкообразной релаксации. Выявлено, что материал может быть использован как катализатор при получении водорода и синтез-газа посредством риформинга и окисления метана. Кроме того, такие материалы могут быть использованы для создания СВЧ управляемых приборов.

Ключевые слова: синтез из расплава, концентрированный поток, получение водорода, синтез газ, перовскитовые каталитические структуры.

Anion-deficient structures based on the composition $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$ synthesized from a melt in a solar furnace in a stream of concentrated solar radiation with a density of 100-200 W/cm² have been studied. Tablet-shaped briquettes based on a stoichiometric mixture of carbonates and oxides of the corresponding metals ($\text{SrCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{Co}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) were melted on the focal spot of a Large Solar Furnace. The melt droplets flowed into the water, cooling at a speed of 103g/s. The castings were crushed to a thickness of 63 mcm, dried at 400°C , molded in the form of tablets (samples) (diameter 20mm and height 10mm). Samples of the material were sintered in the temperature range of $1050 - 1250^\circ\text{C}$. The structure, water absorption and degradation in the carbon dioxide environment were studied on the samples. The crystal lattice of the material had a perovskite structure with the unit cell parameter $a = 4.04 \text{ \AA}$. The samples of the material showed increasing water absorption with increasing sintering temperature. There is also a dependence of the resistance of the material structure to the effects of carbon dioxide and water vapor on the sintering temperature. The observed values of the structural parameters indicate that the material based on the perovskite structures $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$ can be used as a catalyst in the production of hydrogen and synthesis gas by reforming and oxidation of methane. It is established that the mechanism of electrical conductivity of the

perovskite material $Sr_{0.5}Ba_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{2.78}$ composition is associated with polaron jumps. It is shown that with increasing temperature, the rate of successful jumps increases, which in turn leads to an increase in conductivity. It is shown that an increase in temperature also stimulates an increase in the number of vacancies, which are a priori responsible for an increase in conductivity according to the model of abrupt relaxation. It is revealed that the material can be used as a catalyst in the production of hydrogen and synthesis gas by reforming and oxidation of methane. In addition, such materials can be used to create microwave-controlled devices.

Keywords: *synthesis from melt, concentrated flow, hydrogen production, synthesis gas, perovskite catalytic structures.*

Введение. В принципиальной триаде «состав-структура-свойства» можно проследить проявление уникальных свойств (высокотемпературная сверхпроводимость, магнитосопротивление, сегнетоэлектричество, каталитическая активность) материалами со структурой перовскита ABO_3 [1-5]. Из-за этого такие материалы широко применяются в различных перспективных областях [6-8]. Например, в получении синтез-газа [9-10].

Из класса перовскитов можно выделить анион-дефицитные структуры $ABO_{3-\delta}$ с переходными металлами в В позициях (Mn, Fe, Co, Ni, Cu). Особенностью таких структур, например, $SrBaCo_{1-x}Fe_xO_{3-z}$ является смешанная кислород-электронная проводимость, что позволяет использовать их в качестве обратимых по кислороду ($ABO_{3-\delta} + 1/2\delta O_2 \leftrightarrow ABO_3$) электродных материалов, заменяющих дорогостоящую платину в твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ), кислород-проницаемых мембран снижая затрат производства синтез-газа и сорбентов, обладающих 100% селективностью по кислороду [11-15]. Однако такой материал хорошо взаимодействует с углекислым газом и разлагается на карбонаты и оксиды, что ограничивает его применимости [16].

Методология экспериментов. Из смесей оксидов железа и кобальта с карбонатами бария и стронция $BaCO_3 + SrCO_3 + Fe_2O_3 + Co_2O_3$. в стехиометрическом соотношении после измельчения (63 мкм) и формования полусухим прессованием (100 МПа) изготавливались образцы в виде цилиндра $\varnothing 20$ мм, высотой 20 мм, которые устанавливались на водоохлаждаемый плавильный агрегат, находящийся на фокальной плоскости солнечной печи [1]. На образец направлялся концентрированный поток солнечного излучения плотностью порядка $Q=150$ Вт/см². Такое значение плотности потока по закону, Стефана Больцмана:

$$T = \sqrt[4]{\frac{Q}{\varepsilon\sigma}}; \quad (1)$$

где, Q - плотность потока концентрированного потока солнечного излучения, 250 Вт/см², ε -степень черноты, $\sigma=5,67 \times 10^{-8}$ Вт/м² К – постоянная Стефана Больцмана, соответствует температуре нагретого тела 2200 К. При такой температуре протекает плавление образца и капли расплава падают в воду и охлаждаются со скоростью 10³ град/с. Такие условия охлаждения позволили зафиксировать высокотемпературные структурные состояния материала.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Капли расплава загрузаясь в воду растрескивались на мелкие стеклоподобные частицы произвольной формы. Закаленный в воду расплав измельчали до тонины 60 мкм, формовали в цилиндрики диаметром 8 и высотой 2 мм. Образцы цилиндрики спекали при различных температурах.

Рентгенофазовый анализ образцов полученных материалов выполнен на дифрактометре Panalytical Empyrean с программным обеспечением в геометрии отражения Брэгга-Брентано с CuK_α - излучения ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$). Данные были получены между 10° и 64° с шагом $0,5^\circ$.

Для оценки размера кристаллитов использовали формула Шерера:

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta}; \quad (2)$$

где k – константа, значение которой равно 0,9, λ - длина волны рентгеновского излучения. источника ($1,54 \text{ \AA}$), β — полная ширина на полувысоте (FWHM), а θ — угол Брэгга.

Электрические свойства образцов материала в виде таблеток диаметром 8мм и толщиной 2 мм изучены на постоянном токе. Электропроводность образцов в температурном диапазоне от 100 до 500°C рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \frac{L}{RA}; \quad (3)$$

где A – площадь поверхности и L – толщина образца, R – электрическое сопротивление.

Исследования морфологии и микроструктурных особенностей образцов материалов использовали проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Термогравиметрические (ТГ) кривые были получены на приборе TG50, работающем либо в воздушном потоке со скоростью нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ с использованием около 50 мг пробы.

Температурный коэффициент термического расширения измеряли на катетометре в интервале температур $300\text{-}1250\text{K}$. Электрическое сопротивление измеряли четыре контактным методом в интервале температур $300 - 1300 \text{ K}$.

Относительную плотность образцов определяли как отношение плотности образца материала $\rho_{\text{мат}}$ к плотности дистиллированной воды $\rho_{\text{дис.вод}} = 0,98 \text{ г}/\text{см}^3$ при нормальных условиях

$$\rho_{\text{эф}} = \frac{\rho_{\text{мат}}}{\rho_{\text{дис.вод}}}. \quad (4)$$

Значения относительной плотности составило $4.87 \text{ г}/\text{см}^3$.

Результаты и их обсуждение. Нами изучены перовскитовые структуры $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$, синтезированные из расплава на солнечной печи [17].

На рис.1 приведена рентгенограмма, полученный на Panalytical Empyrean дифрактометре с Cu-K_α излучением, спеченного образца при 1100°C .

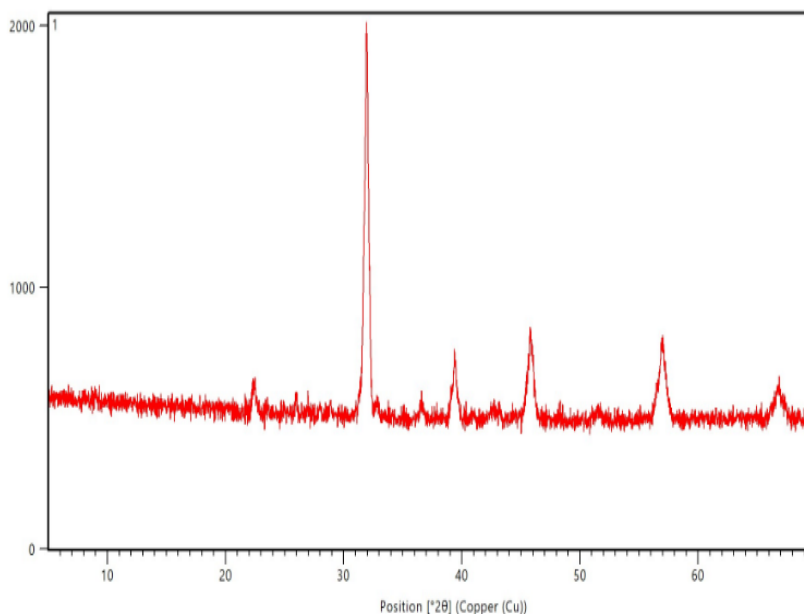


Рис.1. Рентгенограмма образца материала, полученного синтезом из расплава на солнечной печи состава $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{2,78}$

Анализ рентгенограмм показал, что полученные оксиды имеют кубическую перовскитоподобную структуру с параметром решетки $a = 4,04\text{\AA}$ пространственной группы $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$. Также выявлено, что для таких структур характерна значительная нестехиометрия по кислороду. Оцененная область гомогенности полученных сложных составов $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$ лежит в интервале от $x = 0.0$ до $x = 0.7$. Средний размер кристаллитов полученных материалов составляет 25 – 35 мкм.

На рис.2 приведена зависимость усадки от температуры спекания и на рис.3 - зависимость плотности от температуры спекания.

Как видно из рисунков 2 и 3 при повышении температуры спекания керамики наблюдается увеличение усадки и плотности. В то время как при этом наблюдается уменьшение пористости материала.

На рис.4 приведена зависимость электрического сопротивления от температуры спекания образцов материала. Как видно на рис.4 с ростом температуры наблюдается возрастание электрического сопротивления, т.е. образцы материала демонстрируют металлический характер проводимости.

На рис.5 приведена зависимость водопоглощения образца материала от температуры спекания. Как видно из рис.5 повышение температуры спекания керамики до $1200\text{ }^\circ\text{C}$ вызывает уменьшение водопоглощения.

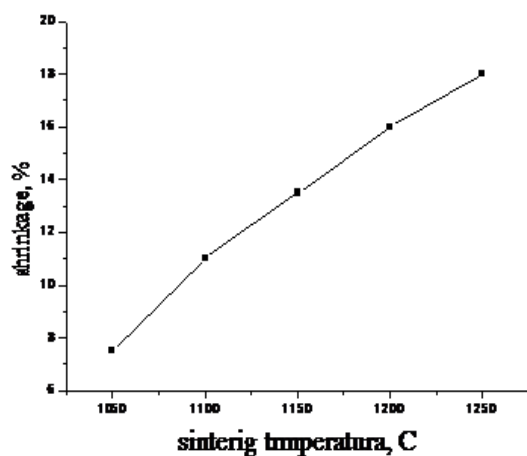


Рис.2. Зависимость усадки от температуры спекания

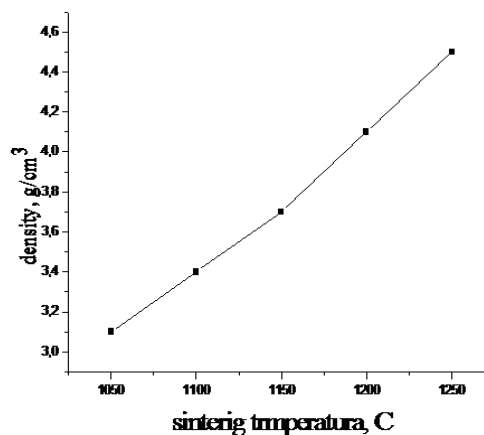


Рис.3. Зависимость плотности от температуры спекания

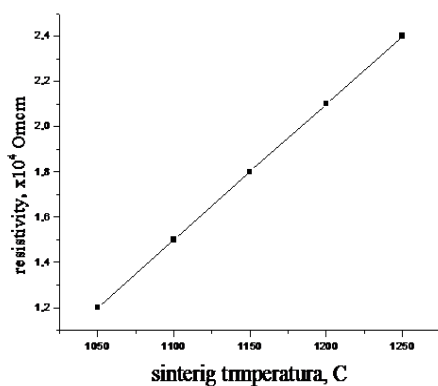


Рис.4. Зависимость электрического сопротивления от температуры спекания

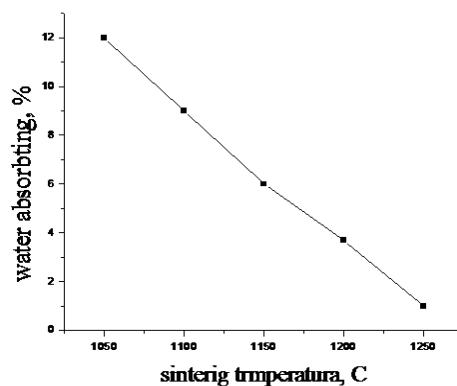


Рис.5. Зависимость водопоглощения от температуры спекания

На рис.6 приведена микроструктура образца материала, спеченных при 1100 и 1250°C.

Из рис.6 видно, что средний размер кристаллитов зерен составляет 30 - 40мкм. При чем зерна имеют форму преимущественно сферолитов и искривленных цилиндров.

На рис.7 приведена температурная зависимость электрической проводимости образца материала, спеченного при 1250°C.

Как видно из рис.7 проводимость по постоянному току увеличивается с повышением температуры. Можно предположить, что механизм электрической проводимости связан с прыжками поляронов. По-видимому, при достаточно большой тепловой энергии, электроны пересекают барьер и участвуют в прыжках. С увеличением температуры скорость успешных прыжков увеличивается, что в свою очередь приводит к увеличению проводимости [18].

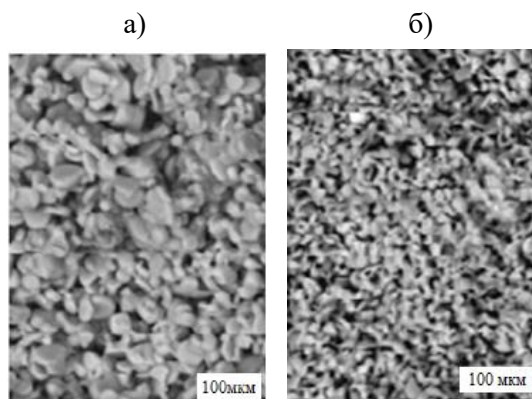


Рис.6. Микроструктура образца материала, спеченного при 1100 (а) и 1250°C (б)

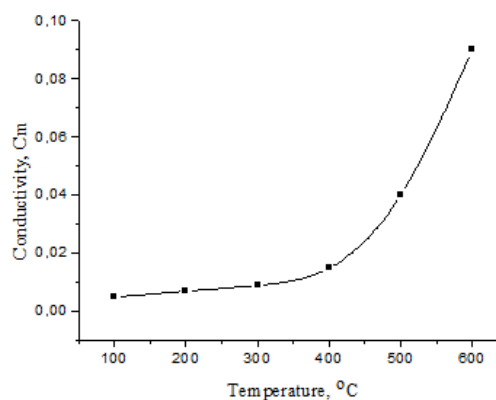


Рис.7. Температурная зависимость электрической проводимости, материала спеченного при 1250°C

С другой стороны, повышение температуры также стимулирует увеличение количества вакансий, которые априори ответственны за увеличение проводимости по модели скачкообразной релаксации [19].

Таким образом, методом синтеза из расплава на солнечной печи можно получать стойкий к воздействию углекислого газа и водяных паров материал, с низким водопоглощением.

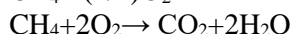
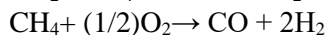
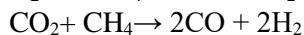
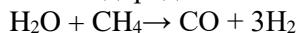
Как показывает анализ добавка водорода в топливные смеси способна существенно повысить КПД двигателей внутреннего сгорания, снизить химический недожог и уменьшить содержание вредных примесей в отходящих газах [20]. В этом отношении перспективной технологией, позволяющей получать водородсодержащее топливо с высокой концентрацией водорода без примесей оксидов углерода, является каталитический пиролиз углеводородов: $\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$.

Пиролиз проводят с использованием проточной каталитической установки Autoclave Engineers BTRS-Jn в трубчатом металлическом реакторе при температуре процесса 675 °C и давлениях 1 и 5 Атм.

Из вышеприведенной реакции видно, что помимо водорода в ходе данного процесса образуется также углерод. По всей видимости получаемый при этом

углерод представляет собой нановолокнистый продукт с уникальными физикохимическими свойствами [21].

Таким образом, можно сделать вывод, что материал на основе перовскитовых структур $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{2,78}$ может быть использован как катализатор при получении водорода и синтез-газа посредством риформинга и окислении метана:



Однако реализация таких подходов требует разработки и создания специального оборудования, позволяющего контролировать потоки газов и воды в реакционную камеру, облучаемой концентрированным потоком солнечного излучения высокой плотности.

Заключение. Показано, что методом синтеза из расплава на солнечной печи в потоке концентрированного солнечного излучения плотностью 100 – 200 Вт/см² могут быть получены перовскитов структуры $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$.

Установлено, что полученный таким образом материал имеет кубическую структуру с параметром элементарной ячейки $a = 4,04\text{\AA}$ и проявляет стойкость к воздействию углекислого газа и водяных паров и низкое водопоглощение.

Установлено, что механизм электрической проводимости перовскитового материала $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_{2,78}$ состава связан с прыжками поляронов. По-видимому, при достаточно большой тепловой энергии, электроны пересекают барьер и участвуют в прыжках.

Показано, что с увеличением температуры скорость успешных прыжков увеличивается, что в свою очередь приводит к увеличению проводимости.

Показано, что повышение температуры также стимулирует увеличение количества вакансий, которые априори ответственны за увеличение проводимости по модели скачкообразной релаксации.

Выявлено, что материал может быть использован как катализатор при получении водорода и синтез-газа посредством риформинга и окислении метана.

Литература

1. Galasso F. Structure, properties and preparation of perovskite-type oxides F. Galasso, Pergamon Press, 1968. Goodenough J. B. Electronic and ionic transport properties and other physical aspects of perovskites // Reports on Progress in Physics. 2004. – V. 67. P. 1915-1993. Pena M.A., Fierro J.L.G. Chemical structures and performances of perovskite oxides // Chem. Rev. 2001. (101). - С. 1981–2017.

2. Смоликов Ю.И., Шепелев Ю.Ф., Левин А.А. Особенности строения высокотемпературных сверхпроводников // Журн. неорг. хим. – 1989. – Т. 34. № 10. С. 2451-2468.

3. Yang J.B., Kim J., Woo Y.S., Kim C.S., Lee B.W. Magnetoresistance in double perovskites $Ba_{2-x}La_xFeMoO_6$ // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2007. – V. 310. – P. 664-665.
4. Burns G., Dacol F. Glassy polarization behavior in ferroelectric compounds $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ and $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ // *Solid State Commun.* – 1983. – V. 48. – P. 853-856.
5. Kharton V.V., Patrakeev M.V., Waerenborgh J.C., Sobyenin V.A., Veniaminov S.A., Yaremchenko A.A., Gaczynski P., Belyaev V.D., Semin G.L., Frade J.R. Methane oxidation over perovskite-related ferrites: Effects of oxygen nonstoichiometry // *Solid State Sciences*. – 2005. – V. 7. – P. 1344-1352.
6. Sharma S., Tomar M., Kumar A., Puri N. K., Gupta V. Photovoltaic effect in $BiFeO_3/BaTiO_3$ multilayer structure fabricated by chemical solution deposition technique // *Journal of Physics and Chemistry*. – 2016. – V. 93. – P. 63-67.
7. Zhang J., Gao X., Deng Y., Zha Y., Yuan C. Comparison of life cycle environmental impacts of different perovskite solar cell systems // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2017. – V. 166. – P. 9-17.
8. Vassilakopoulou A., Papadatos D., Koutselas I. Light emitting diodes based on blends of quasi-2D lead halide perovskites stabilized within mesoporous silica matrix // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2017. – V. 249. – P. 165-175
9. Арутюнов В.С. Окислительная конверсия природного газа // М.: КРАСАНД. – 2011. – 636 с.
10. Махлин В.А., Цецерук Я.Р. Современные технологии получения синтез-газа из природного и попутного газа // *Химическая промышленность сегодня*. – 2010. – № 3. – С. 6-17.
11. Bouwmeester H.J.M., Burggraf A.J. Dense ceramic membranes for oxygen separation // In: Gellings P.J., Bouwmeester H.J.M. (Eds.), *The CRC Handbook of Solid State Electrochem.* CRC Press. – 1997. – P. 481-553.
12. Tang M., Xu L., Fan M. Progress in oxygen carrier development of methane-based chemical looping reforming: a review // *Applied Energy*. – 2015. – V. 151. – P. 143-156.
13. Teraoka Y., Zhang H., Furukawa S., Yamazoe N. Oxygen permeation through perovskitetype oxides // *Chem. Lett.* – 1985. – V.14. – P. 1743-1749.
14. Shao Z., Yang W., Cong Y., Dong H., Tong J., Xiong G. Investigation of the permeation behavior and stability of a $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_3$ – oxygen membrane // *J. Membrane Sci.* 2000. – V. 172. – P. 177-188.
15. Chang X. F., Zhang C., He Y. J., Dong X. L., Jin W.Q., Xu N. P. A comparative study of the performance of symmetric and asymmetric mixed - conducting membranes // *Chin. J. Chem. Eng.* – 2009. – V. 17. – P. 562-70.
16. Zeng Q., Zuo Y., Fan C., Chen C. CO₂-tolerant oxygen separation membranes targeting CO₂ capture application // *J. Membr. Sci.* – 2009. – V. 335. – P. 140-144.
17. M.S. Paizullakhanov, Zh.Z. Shermatov, E.Z. Nodirmatov, O.T. Rajamatov, F.N. Ernazarov, M.T. Sulaimanov, Sh. Nurmatov, & N.N. Cherenda. Synthesis of materials by

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

concentrated solar radiation. // High Temperature Material Processes. 2021. v. 25. Issue 2. pp. 17-29.

18. P.R. Das, B. Pati, B.C. Sutar and R.N.P Choudhury, Study of structural and electrical properties of a new type of complex tungsten bronze electro ceramics $\text{Li}_2\text{Pb}_2\text{Y}_2\text{W}_2\text{Ti}_4\text{V}_4\text{O}_{30}$. Int. J. Mod. Phys., 3 (2012) 870-879.

19. K. Funke, Jump relaxation model and coupling model-a comparison, J. Non - Cryst. Solids, 1994. 172. - С. 1215-1221.

20. Кувшинов Г.Г., Попов М.В., Соловьев Е.А., Арзуманян А.И., Пешков Г.А. Нетрадиционный процесс получения водородосодержащих топливных смесей для двигателей внутреннего сгорания // Европейский исследователь. 2012. Вып. (36), № 12-1. - С. 2102-2112.

21. Баннов А.Г., Кувшинов Г.Г. Изучение электропроводности и диэлектрической проницаемости эпоксидных композиционных материалов с добавлением углеродных нановолокон // Материаловедение. 2011. № 10. - С. 47-51.

*Представлено Институтом материаловедения
Академии наук Республики Узбекистана и Ташкентским
государственным техническим университетом*

УДК 620.92

ҚУЁШ-ҲАВО КОЛЛЕКТОРЛИ ҚУРИТИШ ҚУРИЛМАЛАРИДА ҚИЁСИЙ САМАРАДОРЛИКНИ АНИҚЛАШ**Д.Н. Мухторов, Р.Х. Рахимов**

Ушбу мақолада қуёш қуритиш қурилмаларининг мабил билвосита ва аралаш конструкциялари ишлаб чиқилган бўлиб, уларда шаффоф девор сифатида функционал керамика асосида ишлаб чиқилган композит плёнкадан фойдаланиш таклиф этилган. Қуритиш қурилмаларида мева ва сабзавотларни қуритиш бўйича тажриба тадқиқотлари олиб борилган. Ҳар бир қурилмаларда маҳсулотларни қуритиш тезлиги ва қурилмаларнинг энергия самарадорлиги кўриб чиқилган. Олиб борилган тадқиқотлар асосида таклиф, тафсиялар ва хулосалар келтирилган.

Калим сўзлар: композит-1 плёнка, ананавий плёнка, билвосита, аралаш, энергия самарадорлик, тезлик, юза, мевалар, сабзавотлар.

В данной работе разработаны мобильные непрямые и смешанные конструкции устройств солнечной сушки, в которых предлагается использование композитной пленки на основе функциональной керамики в качестве прозрачной стенки. Экспериментальные исследования по сушке фруктов и овощей проводились в сушильных установках. В каждом устройстве учитывалась скорость сушки продуктов и энергоэффективность устройств. Предложения, пояснения и выводы представлены на основе проведенного исследования.

Ключевые слова: пленка композит-1, традиционная пленка, непрямая, смешанная, энергоэффективность, скорость, поверхность, фрукты, овощи.

In this work, mobile indirect and mixed designs of solar drying devices are developed, in which it is proposed to use a composite film based on functional ceramics as a transparent wall. Experimental studies on drying fruits and vegetables were carried out in dryers. In each device, the drying speed of the products and the energy efficiency of the devices were taken into account. Suggestions, explanations and conclusions are presented on the basis of the study.

Keywords: film composite-1, traditional film, indirect, mixed, energy efficiency, speed, surface, fruits, vegetables.

Қириш. Қуритиш – бу қуритиладиган маҳсулотдаги намликни хавфсиз бўлган чегарагача олиб ташлаш орқали қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари ва турли саноат материалларини узоқ вақт сифатли сақлаш ёки хизмат кўрсатиши учун ишлатиладиган қайта ишлаш усули ҳисобланади [1]. Тақидлаш керакки ҳозирги кунда озик-овқат ва бошқа турдаги маҳсулотларни сақлаш учун фойдаланиладиган қуритиш усули тўғри ташкил этилмаганлиги, ёки жараёнларнинг етишмаслиги аксарят маҳсулотларнинг нобут ва исроф бўлишига сабаб бўлади [2]. Маҳсулотларнинг очик майданларда

қуритиш усули қишлоқ хўжалиги, озиқ-овқат, саноат ишлаб чиқаришларда ва бошқа кўплаб маҳсулотларни қуритиш ва сақлаш учун кенг тарқалган, самарали ва иқтисодий усул ҳисобланади. Аммо ушбу қуритиш усули ташқи қуритиш параметрлари намлик, намлик таркиби, ҳарорат, қуритиш тезлиги ва бошқа шамол, ёмғир, ҳашаротлар, зарарли микроорганизмлар, ҳайвонлар каби омилларга боғлиқ муаммоларни келтириб чиқаради [3].

Юқоридаги муаммоларни бартараф этиш мақсадида турли иш режимига эга қуёш қуритиш қурилмалари ишлаб чиқилган.

Билвосита турдаги қуёш қуритгичлари ёрдамида юқори сифатли маҳсулотлар олиш имкони мавжуд, қуритиш муддатини қисқартириш, ва катта ҳажмдаги маҳсулотлар қуритиш каби бир қатор афзалликларга эга. Бундай тизимнинг ишлаши қуёш ҳаво коллекторининг қуёш нуруни ютувчи сиртини яхшилаш ва қуритиш камерасини оптималлаштириш орқали эришилади [4-7].

Аралаш режимдаги қуёш қуритгичлари билвосита ва тўғридан-тўғри турдаги қуёш қуритгичларининг асосий хусусиятларини бирлаштиради [8]. Яъни маҳсулотни қуритиш учун зарур бўлган иссиқлик энергияси қуёш коллекторидан олинади ва маҳсулотга тўғридан-тўғри қуёш нурланиши шаффоф қоплама орқали таъсир этади [9].

Мавжуд адабиётларда қуёш ҳаво коллекторларининг термал ишлаши бўйича тадқиқот усуллари кенг кўламда ўрганилган, улар асосан аънанавий термодинамик таҳлил ва турли ҳисоб-китобларни башорат қилиш усулларини ўз ичига олади [10].

Қуйида таклиф этилган қуёш қуритиш қурилмалари билвосита ва аралаш турдаги қуёш қуритиш қурилмалари бўлиб, шамоллатиш табиий конвекцияга асосланган.

Назарий қисм. Эркин конвекцияга асосланган қуёш ҳаво-коллектор ва қуритиш қурилмаларининг самарадорлигини аниқлашда қуйидаги ифодалар келтирилган [11-14].

Энергия баланси тенгламасига асосланган ҳолда қуйидаги ифода орқали қуритиш қурилмасидаги коллекторнинг фойдали иссиқлик энергияси аниқланди:

$$Q_{\text{кол.фой}} = m_{\text{кол.х}} \cdot C_x \cdot (t_2 - t_1); \quad (1)$$

$m_{\text{кол.х}}$ – ҳаво массаси (қуруқ ва нам ҳаво аралашмаси) (кг), C_x – ҳавога хос иссиқлик, нормал атмосфера босимида, 1006 кЖ / (кг К), t_2 – коллектор чиқишидаги ҳаво ҳарорати (°С) t_1 – коллекторга киришидаги ҳаво ҳарорати (°С).

Қуёш-ҳаво коллектордан қуритиш камерасига берилган қизиган ҳаво сарфи:

$$m_{\text{кол.х}} = S_{\text{кол.х.ч}} \cdot \rho_{x(t)} \cdot V_{\text{кол.х}}; \quad (2)$$

(кг/с) қуйидаги формула орқали аниқланди.

$S_{\text{кол.х.ч}}$ – коллектордан ҳаво чиқиш жойининг юзаси (м^2), $\rho_{x(t)}$ – чиқиш ҳароратдаги ҳавонинг зичлиги ($\text{кг}/\text{м}^3$), $V_{\text{кол.х}}$ – ҳавонинг тезлиги (м/с).

Қуёш-ҳаво коллекториининг фойдали иш коэффициенти қуйидаги формула орқали аниқланди:

$$\eta_{\text{кол}} = \frac{Q_{\text{кол.фой}}}{I_{\text{қ}} \cdot S_{\text{кол}}}; \quad (3)$$

$Q_{\text{фой}}$ – коллекторнинг фойдали энергияси (Ж), $I_{\text{к}}$ – куёш нурланиш оқим зичлиги (Ж/м² с), $S_{\text{к}}$ – коллекторнинг нурланиш қабул қилувчи юзаси (м²).

Юқоридаги маълумотлар асосида қуритиш камерасининг самарадорлиги қуйидаги формула орқали аниқланди.

Қуритиш қурилмасининг маҳсулотдан ажралиб чиқадиган буғланишни атмосферага чиқаришдаги бўғланиш сарфи қуйидаги формула орқали аниқланади.

$S_{\text{кам.б.ч}}$ – қуритиш камерасидан буғни атмосферага чиқиш жойининг кундаланг кесим юзаси (м²), $\rho_{\text{x}(t)}$ – камерадан чиқиш ҳароратдаги ҳавонинг зичлиги (кг/м³), $V_{\text{кам.б}}$ – ҳавонинг тезлиги (м/с):

$$m_{\text{кам.х}} = S_{\text{кам.б.ч}} \cdot \rho_{\text{x}(t)} \cdot V_{\text{кам.б}}$$

Эркин конвекцияга асосланган куёш қуритгичининг умумий самарадорлиги қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\eta_{\text{к,к}} = \frac{M_{\text{б}} \cdot L_{\text{б}}}{I_{\text{к}} \cdot S_{\text{кол}}}; \quad (5)$$

$M_{\text{б}}$ – маҳсулотдан буғланган намлик массаси, (кг), $L_{\text{б}}$ – сув буғланишининг ўзига хос яширин иссиқлиги (кЖ/кг).

Қуритиш камерасида, изоляциясининг мукамал қилиниши энергия йўқотишларининг камайишига олиб келади ва уларни этиборсиз қолдириш мумкинлигини англатади. $M_{\text{б}}$ ва $L_{\text{б}}$ ларга тенг бўлган маҳсулотдан ажраб чиқадиган сув бўғининг яширин энергияси қуритгич орқали оқиб ўтадиган ҳаводан йўқотилган иссиқлик энергиясига тенг бўлади.

Энергия баланси тенгламасига асосланиб, маҳсулот намлигини буғлантириш учун зарур бўлган энергия қуйидаги ифода орқали аниқланди:

$$Q_{\text{кам.фой}} = M_{\text{б}} \cdot L_{\text{б}} = m_{\text{кам.х}} \cdot C_{\text{x}} \cdot (t_2 - t_3); \quad (6)$$

$M_{\text{б}}$ – маҳсулотнинг буғланган намлик массаси, (кг), $L_{\text{б}}$ – сув буғланишининг ўзига хос яширин иссиқлиги (кЖ/кг), $m_{\text{кам.х}}$ – қуритиш қурилмасининг маҳсулотдан ажралиб чиқадиган сувнинг атмосферага чиқаришдаги бўғланиш сарфи (кг/с) t_3 – қуритиш камерасининг атмосферага берган бўғланиш ҳарорати (С).

Қуритиш камерасининг фойдали иш коэффициенти қуйидаги формула орқали аниқланди:

$$\eta_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{кам.фой}}}{Q_{\text{кол.фой}}}; \quad (7)$$

$Q_{\text{кам.фой}}$ – камерадаги бўғланиш учун сарфланган энергия (Ж), $Q_{\text{кол.фой}}$ – коллекторнинг фойдали энергияси (Ж)

Эркин конвекцияга эга куёш қуритгичининг умумий самарадорлиги қуйидаги ифода орқали аниқланди.

$$\eta_{\text{к,к}} = \frac{M_{\text{б}} \cdot L_{\text{б}}}{I_{\text{к}} \cdot S_{\text{кол}}} = \frac{Q_{\text{кам.фой}}}{I_{\text{к}} \cdot S_{\text{кол}}}; \quad (8)$$

Юқоридаги (8) формула асосида $L_{\text{б}}$ – сув буғланишининг ўзига хос яширин иссиқлиги кун давомида энергиянинг ўзгаришини этиборга олиб, ушбу катталик

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Ўрнида $\lambda_{сби}$ – сувнинг солиштирма бўғланиш иссиқлигининг ўртача қийматидан фойдаланишимиз мумкин. Яъни:

Куйида (9) ифода ёрдамида мева ва сабзавотларни қуритишдан олинган натижалардан фойдаланиб қурилмаларнинг энергия самарадорлиги аниқланган.

$$\eta_{к,к} = \frac{M_6 \cdot \lambda_{сби}}{I_{к} \cdot S_{кол}} \quad (9)$$

Сувнинг ўртача солиштирма бўғланиш иссиқлигини танлаб олишда, қуритиш камерасининг ички ҳарорати 20 °C дан 70 °C гача бўлиши этиборга олиниб шу хароратлардаги сувнинг солиштирма бўғланиш иссиқлигининг ўртача қиймати олинган.

Асосий қисм. Қурилмаларнинг қиёсий самарадорлигини батафсил таҳлил қилиш учун мевалардан олманинг кунлик ва умумий қуритиш натижалари қуйидаги 1 – жадвалда келтирилган.

1 – жадвал

Тажриба ўтказилган саналар	Олмани коллекторли қурилмаларда қуритишдан олинган дастлабки қийматга нисбатан улуши		
	Композит-1 +коллектор	Ананавий+коллектор	Билвосита
07.06.2022	100%		
	56%	56%	65%
08.06.2022	28%	29%	38%
09.06.2022	16%	18%	22%
10.06.2022	16%	16%	18%
11.06.2022	16%	16%	16%

Самарадорлик қуритиш тезлиги ва таъсир этувчи энергия истемоли бўйича аниқланган. Маҳсулотларни қуритиш тезлиги бўйича дастлабки тадқиқотлар [15] да олиб борилган.

Куйидаги (10) ифодага асосан қурилмаларнинг қуритиш тезлиги бўйича қиёсий самарадорлик аниқланган:

$$\eta = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} - 1 \right) \cdot 100\%; \quad (10)$$

бу ерда:

τ_1 – қуритиш қурилмасида якуний қуритишгача сарфланган вақт, (соат, сутка);

τ_2 – самарали қуритиш қурилмасида якуний қуритишгача сарфланган вақт, (соат, сутка).

Юқоридаги 1- жадвалда келтирилган маълумотлар асосида қуритиш тезлиги бўйича қиёсий самарадорлик (10) ифода ёрдамида аниқланди.

Қурилмаларда олмани қуритиш учун якуний қолдиқ масса дастлабки қуйилган маҳсулотнинг 16% ни ташкил қилди. Шу қийматга Ананавий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмаси 1-жадвалга асосан 10.06.2022 вақтда эришган. Яъни қуритиш учун 4 сутка вақт сарфлаган, Композит-1 плёнкадан

фойдаланилган қуритиш қурилмаси эса 09.06.2022 муддатда яъни 3 сутка вақт сарфлаган. Ушбу икки қурилмалар ўртасидаги қуритиш тезлиги буйича аниқланган фарқ (10) ифодага асосан 33% ни ташкил этди. Натижада диаметри ўртача 3 см ли олмани 4 га бўлиб қуритилганда якуний хафсиз намликка эришиш учун композит-1 дан фойдаланилган қуритиш қурилмаси ананавий плёнкадан фойдаланилган қуритиш қурилмасига нисбатан 33% тезроқ қуритишга эришилган.

Композит-1 дан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда композитли қурилманинг самарали ишлаши 67% ни ташкил қилган.

Ананавий плёнкадан фойдаланилган қурилма эса билвосита қуритиш қурилмасига нисбатан 25% самарали яни тезроқ қуритишга эришилган.

Қуйида 2-жадвалда коллекторли қуритиш қурилмаларида мевалардан гилос маҳсулотини қуритиш буйича олинган натижалар келтирилган.

2-жадвал

Тажриба ўтказилган саналар	Гилосни коллекторли қурилмаларда қуритшдан олинган дастлабки қийматга нисбатан улуши		
	Композит-1 +коллектор	Ананавий+коллектор	Билвосита
21.05.2022	100%		
31.05.2022	30%	28%	43%
01.06.2022	26%	24%	37%
02.06.2022	24%	23%	32%
03.06.2022	23%	22%	29%
04.06.2022	22%	22%	27%
05.06.2022	22%	22%	24%
06.06.2022	22%	22%	22%

Юқоридаги 2- жадвалда келтирилган маълумотлар асосида қуритиш тезлиги буйича қиёсий самарадорлик аниқланди.

Қурилмаларда гилосни қуритиш учун якуний қолдиқ масса дастлабки қуйилган маҳсулотнинг 22% ни ташкил қилган. Шу қийматга Ананавий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмаси 2-жадвалга асосан 03.06.2022 вақтда эришган. Яъни қуритиш учун 14 сутка вақт сарфлаган, Композит-1 плёнкадан фойдаланилган қуритиш қурилмаси эса 04.06.2022 муддатда яъни 15 сутка вақт сарфлаган. Ушбу икки қурилмалар ўртасидаги қуритиш тезлиги буйича аниқланган фарқ (10) ифодага асосан 7% ни ташкил этди. Натижада гилосни қуритилганда якуний хафсиз намликка эришиш учун ананавий плёнкадан фойдаланилган қуритиш қурилмаси композит-1 плёнкадан фойдаланилган қуритиш қурилмасига нисбатан 7% тезроқ қуритишга эришилган.

Композит-1 дан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда композитли қурилманинг самарали ишлаши 13% ни ташкил қилган.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Ананавий плёнкадан фойдаланилган қурилма эса билвосита қуритиш қурилмасига нисбатан 21% самарали яни тезроқ қуритишга эришилган.

Қуйидаги 3-жадвалда сабзи маҳсулотни қуритиш бўйича ўткатилган [16-18] тадқиқот натижалари келтирилган.

3-жадвал

Тажриба ўтказилган саналар	Сабзини коллекторли қурилмаларда қуритишдан олинган дастлабки қийматга нисбатан улуши		
	Композит-1 +коллектор	Ананавий+коллектор	Билвосита
13.04.2022		100%	
	55%	57%	69%
14.04.2022	13%	14%	31%
15.04.2022	10%	10%	12%
16.04.2022	10%	10%	10%

Юқоридаги 3-жадвалда келтирилган маълумотлар асосида қуритиш тезлиги бўйича қиёсий самарадорлик аниқланди.

Қурилмаларда сабзинини қуритиш учун якуний қолдиқ масса дастлабки қуйилган маҳсулотнинг 10% ни ташкил қилди. Шу қийматга Композит-1 ва Ананавий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмаси 3-жадвалга асосан 15.04.2022 вақтда эришган. Яъни қуритиш учун 3 сутка вақт сарфлаган, Ушбу икки қурилмалар ўртасидаги қуритиш тезлиги бўйича аниқланган фарқ сезиларли кўзатилмаган.

Композит-1 ва Ананавий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда қурилмаларнинг самарали ишлаши 33% ни ташкил қилган.



1-расм. Тажриба жараёни:

а) гилосни қуритиш тасвирланган, б) олмани қуритиш тасвирланган, в) сабзини қуритиш тасвирланган

Ўтказилган тажрибалардан фойдаланиб, юқоридаги юритилган млоҳазалар қуритиш тезлиги бўйича аниқланган қиёсий самарадорлик ҳисобланиб, қуйида шу

тадқиқотлар бўйича энергия самарадорлиги ҳар бир қурилмаларда аниқланган. Ишлаб чиқилган қурилмалар бир хил ўлчовга эга бўлсада энергияни қабул қилувчи юзалар турлича(аралаш ва билвосита) бўлганлиги сабабли энергия самарадорлиги (9) ифодага асосан турли қийматга эга бўлиши кўзатирилган.

Қуйидаги 4–жадвалда олма ҳамда гилосни қуритишда, қуёш-ҳаво коллекторли қуритиш қурилмаларининг қуритиш самарадорлиги келтирилган.

4–жадвал

Қурилма тури	Юза (м ²)	Олма		Гилос	
		дастлабки	яқуний	дастлабки	яқуний
η (%)					
Композит – 1	0.18	21%	14%	10%	4%
Ананавий		21%	11%	11%	4%
Билвосита	0.1	30%	15%	10%	7%

Ҳар қандай қуёш қуритиш қурилмасида, янги қуйилган маҳсулот қуритиш жараёнида қуритишнинг дастлабки босқичида юқори самарадорликга эришади. Қуритишнинг сўнги босқичларида эса энергия самарадорлиги кескин камайиб бориши кўзатилади, ушбу ҳолат албатта қуритиш вақтининг қисқа ёки узоқлиги билан боғлиқ жараён ҳисобланади. Юқоридаги 4-жадвалда келтирилган дастлабки (биринчи кундаги) ва яқуний (қурилма учун умумий) энергия самарадорлиги бўйича муҳокама қилинди. Дастлаб олмани қуритиш бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики Комозит-1 ва Ананвий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмалари дастлабки кундаги энергия самарадорлигида сезиларли фарқ кўзатилмади, лекин қуритишнинг яқуний босқичида Композит-1 плёнкали қурилма Ананавий плёнкали қурилмага нисбатан 3 % сезиларли энергия самарадорликга эришилгани кўзатирилган.

Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси эса плёнкали қуёш қуритиш қурилмаларига нисбатан 9% энергия самарадорликка эрилганини кўзатиш мумкин.

Яқуний қуритишда эса Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси Кампозит-1 плёнкали қуёш қуритиш қурилмасидан 1% Ананавий плёнкали қуёш қуритиш қурилмасидан 4% га сезиларли энергия самарадорлигига эришилган.

Гилосни қуритиш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидагилар аниқланди.

Ананавий плёнкали қуёш қуритиш қурилмаси дастлабки кунда Композит-1 плёнкали ва Билвосита қуёш қурилмасига нисбатан 1% сезиларли энергия самарадорликга эришган.

Яқуний энергия самарадорлик бўйича Билвосита қуёш қурилмаси плёнкали қуёш қуритиш қурилмаларига нисбатан 3% сезиларли натижа эришган.

Қуйидаги 5–жадвалда сабзини қуритишда, қуёш-ҳаво коллекторли қуритиш қурилмаларининг қуритиш самарадорлиги келтирилган.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

5–жадвал

Қурилма тури	Юза (м ²)	Сабзи	
		дастлабки	яқуний
		η (%)	
Композит – 1	0,19	26%	17%
Ананавий		24%	17%
Коллекторли	0,1	33%	24%

Юқоридаги 5-жадвал ёрдамида сабзини қуришида ўтказилган тадқиқот натижалари муҳокама қилинди.

Дастлабги кунда Билвосита қуёш қуриши қурилмаси Анаанавий плёнкали қуёш қуриши қурилмасига нисбатан 9%, Композит-1 плёнкали қуёш қуриши қурилмасига нисбатан эса 7% сезиларли энергия самарадорлигига эришган.

Қуришининг яқуни бўйича, Билвосита қуёш қуриши қурилмаси плёнкали қуёш қуриши қурилмаларига нисбатан 7% сезиларли энергия самарадорлигига эришган.

Энергия самарадорлиги тўғридан-тўғри қуёш нурланиши тасир этувчи юзанинг қийматига боғлиқ бўлганлиги сабабли солиштириш учун асосан бир хил юзага эга қурилмалар танланади. Бу тадқиқот ишларида қурилмаларнинг солиштирилиши тасир этувчи юзаларнинг бир хиллиги эмас, балки ҳар учала қурилма бир хил геометрик ўлчовларга эга эканлиги сабаб қилиб олинган. Яъни бир хил майдонга тушадиган қуёш нурланиш энергиясидан самарали фойдаланишга қаратилган.

Албатта юқорида қелтирилган натижалар асосида Билвосита қуёш қуриши қурилмаси аралаш(плёнкали) турдаги қуёш қуриши қурилмаларидан энергия тасир этувчи юзанинг кичиклиги ҳисобига энергия самарадорлигида ва қурилган маҳсулотнинг кўриниши, ҳиди ва тамида сезиларли ижобий натижаларни кўрсата олди.

Шуни тақидлаш керакки 4 ва 5- жадвалларда келтирилган энергия тасир этувчи юзанинг қиймати Фарғона вилояти мисолида қуёшнинг ўртача оғиш бўрчаги ёрдамида ҳисобланган. Бу албатта қурилманинг ҳар бир ойда қуёш нурланишининг таъсир этувчи юзасининг қиймати турли ҳудудлар учун турлича бўлишини аңлатади.

Ушбу тадқиқот ишидан келиб чиқиб қуйидаги тавсияларни келтирилган.

Билвосита қуёш қуриши қурилмаларидан маҳсулотларни қуриши эҳтиёжи мавжуд хусусий ҳонадонлар ёки кичик фермер хужалиқларида самарали фойдаланиш мумкин;

Қишлоқ хужалиги ва йирик ишлаб чиқаришларда аралаш турдаги қуёш қуриши қурилмаларини фойдаланиш маҳсулотларни тез ва осон қуриши олиш имконини беради. Албатта бундай турдаги қурилмалардан самарали фойдаланиш мумкин.

Қуёш қуриши қурилмаларида фойдаланиш учун таклиф қилинаётган композит плёнка бўйича афзалликлари ва тафсияларни қуйидагича келтиришимиз мумкин.

Қуриши қурилмаларида Композит плёнка остидаги маҳсулот Анаанавий плёнка остидаги маҳсулотга нисбатан қуришиладиган маҳсулотнинг ортиқча қизишдан

сақлайди. Яъни қуёш нурланиш энергиясини генерация қилиш ёрдамида фақат маҳсулот таркибидаги сувнинг бўғланишига мос спектрга келтирилади.

Композит плёкали қуритиш қурилмаларида қуритилган маҳсулот Ананавий плёнкали қуритиш қурилмаларида қуритилган маҳсулотларга нисбатан органолептик (кўриниши, хиди, тами ва ўзини қайта тиклаш) хусусиятлари сезиларли даражада юқори бўлиб, бундай қурилмаларни юқори сифатли қуритилган маҳсулотлар олишда фойдаланиш мумкин. Шунини ҳам такидлаш керакки қуритилган маҳсулотларнинг сақлаш муддатида ҳам сезиларли ижобий фарқ кўзатилади.

Ишлаш муддати бўйича ҳам ижобий натижаларга эришилган. Яъни, Композит-1 плёнканинг қуёш қуритиш қурилмасида ишлаш даври Ананавий плёнкага нисбатан 3-4 марта узоқ муддат ишлаши тажрибалар асосида аниқланган.

Композит-1 плёнкали қуёш қуритиш қурилмаларини қуритиш тезлиги юқори қурилмалар сифатида фойдаланиш мумкин.

Хулоса. Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси ишлаб чиқилди;

Композит-1 плёнкадан фойдаланиб (Аралаш) қуёшли қуритиш қурилмаси ишлаб чиқилди;

Композит-1 плёнканинг қуёш қуритиш қурилмасида ишлаш даври Ананавий плёнкага нисбатан 3-4 марта кўпроқ муддат ишлаши тажрибалар асосида аниқланган.

Қуритиш тезлиги бўйича чиқарилган хулосалар:

Олмани қуритишда Композит-1 дан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмаси Ананавий плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасига нисбатан 33% самарали қуритишга эришилгани аниқланган;

Олмани қуритишда Композит-1 дан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини Билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда Композитли қурилманинг самарали ишлаши 67% бўлиши аниқланган;

Гилосни қуритишда Композит-1 дан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини Билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда композитли қурилманинг самарали ишлаши 13% ни ташкил этиши аниқланган;

Сабзини қуритишда Композит-1 плёнкадан фойдаланилган коллекторли қуритиш қурилмасини Билвосита қуритиш қурилмаси билан қуритиш тезлигини қиёсий солиштирилганда қурилмаларнинг самарали ишлаши 33% ни ташкил этиши аниқланган;

Қуритишда энергия самарадорлиги бўйича чиқарилган хулосалар:

Олмани қуритишда қуритишнинг якуний босқичида Композит-1 плёнкали қурилма Ананавий плёнкали қурилмага нисбатан 3% сезиларли энергия самарадорлигига эришилганлиги аниқланган;

Олмани қуритишда Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси эса плёнкали қуёш қуритиш қурилмаларига нисбатан дастлабки қуритиш қунида 9% энергия самарадорлигига эришилганлиги аниқланган;

Олмани якуний(умумий) қуритишда, Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси Кампозит-1 плёнкали қуёш қуритиш қурилмасидан 1% Ананавий плёнкали қуёш

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

қуритиш қурилмасидан 4% га сезиларли энергия самарадорлигига эришилгани аниқланган;

Гилосни қуритишда якуний энергия самарадорлик бўйича Билвосита қуёш қурилмаси плёнкали қуёш қуритиш қурилмаларига нисбатан 3% сезиларли ижобий натижа кўрсатганлиги аниқланган;

Сабзини қуритишда Даствлабки кунда Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси Анаанавий плёнкали қуёш қуритиш қурилмасига нисбатан 9%, Композит-1 плёнкали қуёш қуритиш қурилмасига нисбатан эса 7% сезиларли энергия самарадорлигига эришилгани аниқланган.

Сабзини қуритишнинг якуни бўйича, Билвосита қуёш қуритиш қурилмаси плёнкали(аралаш) қуёш қуритиш қурилмаларига нисбатан 7% ли сезиларли энергия самарадорлигига эришилгани аниқланган.

Адабиёт

1. Husham Abdulmalek S, Khalaji Assadi M, Al-Kayiem HH, Gitan AA (2018) A comparative analysis on the uniformity enhancement methods of solar thermal drying. *Energy* 148:1103–1115.
2. Kumar M, Sansaniwal SK, Khatak P (2016) Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renew Sust Energ Rev* 55:346–360.
3. Adnan Midilli. Determination of pistachio drying behaviour and conditions in a solar drying system *International Journal Of Energy Research Int. J. Energy Res.* 2001; 25:715-725.
4. Yadav S, Chandramohan VP, Lingayat AB et al (2018) Numerical analysis on thermal energy storage device with finned copper tube for an indirect type solar drying system. *J Sol Energy Eng* 140:1–13.
5. Patel SS, Lanjewar A (2019) Performance study of solar air heater duct with gap in V-rib with symmetrical gap and staggered ribs. *Heat Mass Transf* 1–16.
6. Arunachalam U, Edwin M (2017) Experimental investigations on thermal performance of solar air heater with different absorber plates. *Heat Mass Transf* 35:393–397.
7. Darici S, Kilic A (2020) Comparative study on the performances of solar air collectors with trapezoidal corrugated and flat absorber plates. *Heat Mass Transf* 56:1833–1843.
8. Hii, C.L., Jangam, S.V., Ong, S.P. and Mujumdar, A. S. (Ed.). *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*. Transport Phenomena Group, Singapore, 2012, ISBN 978-981-07-3336-0. p 150.
9. El-Sebaei, A. A. and Shalaby, S. M. (2012). Solar drying of agricultural products: A Review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1): 37–43.
10. S.A. Kalogirou, S. Karellas, K. Braimakis, C. Stanciu, V. Badescu, Exergy analysis of solar thermal collectors and processes, *Prog. Energy Combust. Sci.* 56 (2016) 106–137.
11. Duffie, J. A., and W. A. Beckman. 1991. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, NY.

12. Soheili Mehdizadeh, A., A. Keyhani., K. Abbaspoursani., and A. Akram. 2006. Design of a forced convection solar dryer for leafy vegetables and evaluation of the solar energy collector performance. *Journal of Agricultural Engineering and Research*, 7 (27):147-163.
13. Al-Neama and Farkas / EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings (2016), Modelling of a Modular Indirect Natural Convection Solar Dryer, 1-10.
14. Augustus Leon, M., S. Kumar, and S. C. Bhattacharya. 2002. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Journal of Renewable Sustainable Energy*, 6 (4): 367-393.
15. R. Kh. Rakhimov, D. N. Mukhtorov, “Application of solar dryers for drying agricultural products and optimization of drying time”, *Comp. nanotechnol.*, 2020, no. 4, 21–24.
16. Р.Х. Рахимов, А.А. Қўқоров Д.Н. Мухторов Замонавий қуёш-хаво коллекторли қуритгичда сабзи маҳсулотини қуритишнинг амалий таҳлили, Қарши 2022 йил. 301-303 бет.
17. Р. Х. Рахимов, Д.Н.Мухторов Билвосита ва аралаш қуёшли қуритгичларни текшириш Фарғона 2022 йил 21-22 июн 440-442 бет.
18. R.Kh. Rakhimov, D.N. Mukhtorov, Practical testing of indirect and mixed solar dryers in optional climatic conditions, *Scientific and Technical Journal of NamIET* Vol. 7, Issue 3, 257-267 p

*Фарғона политехника институти
томонидан тақдим этилган*

УДК: 621.472.383.56

ЎТА ҚУРУҚ ХУДУДЛАРДА ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАРДАН
САМАРАЛИ ФОЙДАЛАНИШ

М.Н. Турсунов, Х.Сабилов, Р.Б. Аликулов

Республикамизнинг ўта қуруқ ҳудудларида фотоэлектрик батареялар (ФЭБ)дан самарали фойдаланиш мақсадида янги типдаги кичик қувватли кўчма фотоиссиқлик қурилма (ФИК) яратилди. Бу қурилма 60 в лик ФЭБ да амалга оширилди. Бу тадқиқот ишида иссиқ иқлим шароитида ФЭБнинг орқа юзасига йигиладиган иссиқликни камайтириш орқали электр самарадорлигини ошириш имкони ўрганилмоқда. Аввалги илмий ишларда ФЭБ ни совутиш учун суюқликни тўғридан-тўғри оқизиб қуйилар эди. Бу қурилмада эса иссиқлик коллекторидаги суюқликни қурилмага уланган радиатор орқали совутиб, сув йўқ регионларда қурилмани самарали ишлатиш учун сувни тежаши мақсад қилиб олинган.

Калит сўзлар: фотоэлектрик батарея, фото иссиқлик батарея, фото иссиқлик қурилмаси, иссиқлик коллектори, вентилятор, қуруқ иқлим.

В целях эффективного использования фотоэлектрических батарей (ФЭБ) в экстремально засушливых районах республики была создана маломощная портативная фототепловая батарея (ФТП) нового типа. Это устройство было реализовано на ФЭБ мощностью 60 Вт. В данной работе исследуется возможность повышения электрического КПД за счет снижения тепла, аккумулируемого на задней поверхности ФЭБ в условиях жаркого климата. В предыдущей научной работе для охлаждения ФЭВ использовалась непосредственно вода. В данном устройстве жидкость в теплооборнике охлаждается радиатором, подключенным к устройству, и результатом является экономия воды для эффективного использования в регионах, где нет воды.

Ключевые слова: фотоэлектрическая батарея, фототепловая батарея, фототепловая установка, тепловой коллектор, вентилятор, сухой климат.

In order to effectively use photoelectric batteries (PEB) in extremely dry regions of our republic, a new type of small-power portable photothermal device (PTD) was created. This device was implemented on a FEB of 60 w. This research paper investigates the possibility of increasing electrical efficiency by reducing the heat accumulated on the back surface of PEB in hot climates. In previous scientific work, the liquid directly flowed to cool the PEB. In this device, the liquid in the heat collector is cooled through a radiator connected to the device, and the goal is to save water for efficient use of the device in regions where there is a lack of water.

Key words: photoelectric battery, photothermal battery, photothermal device, heat collector, ventilator, dry climate.

Кириш. Инсоният олдида турган долзарб муаммолардан бири – бу, энергия ресурсларининг етишмаслигидир. Бу муаммонинг ечими сифатида, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни ривожлантириш масаласи қўйилган. Хусусан, қайта тикланувчи энергия манбалари қаторига кирадиган қуёш энергетикасига алоҳида катта аҳамият бериш лозимлиги таъкидланмоқда. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантириб берувчи кремний асосли қуёш элементларидан (КЭ) тузилган қуёш батареяларининг самарадорлиги ҳарорат ортиши билан камайиб кетиш ҳодисасини ўрганиш, атмосфера муҳит ҳарорати 50°C дан ошганда, фотоэлектрик батареялар ФИК 40% гача тушиб кетиши жараёнини таҳлил қилиб, бу ҳодисани олдини олиш имкониятларини ўрганиш мақсадга мувофиқдир. Физика-техника институтида ходимлари томонидан бу ҳодиса 15-20 йил давомида ўрганилган ва ФЭБ ларнинг самарадорлигини ошириш учун уларни ҳаво ёки сув ёрдамида совутиш қурилмалари тақлиф қилинган. Натижада иссиқ иқлим шароитида хорижий давлатларда чиқарилаётган ФЭБ ларга қараганда самарадорлиги 20-30 % га кўпроқ бўлган янги конструкциялар яратилган. Юқорида зикр қилинган муаммони фото иссиқлик батареяларни (ФИБ) ишлатиб ечиш мақсадга мувофиқдир. Биз тақлиф этаётган янги типдаги кичик қувватли кўчма фотоиссиқлик қурилма (ФИК) ФЭБ лардаги энергия йўқотишларини камайитиришга ёрдам беради.

ФЭБлардан иқлим шароитлари ҳисобга олинмасдан фойдаланиш уларнинг самарадорлигига катта таъсир қилиши кўп ишларда қайд қилинган [1-2] Айниқса атмосфера юқори ҳароратга эга бўлган шароитларда ФЭБнинг самарадорлиги тез пасаяди [3].

ФЭБ нинг иш самарадорлигини ошириш мақсадида унинг орқа сиртига бириктириладиган иссиқлик коллекторининг тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилди. Тайёрланган ФИБ асосида Физика-техника институти Гелиополигонидида тажриба синов натижалари олиб борилмоқда [4]. Бу турдаги ФИБ нинг фойдали томони ФЭБ нинг электр хусусиятларини ошириш билан бирга кундалик эҳтиёжлар учун иссиқ сув олишга ҳам ёрдам беради. Ҳозир тақлиф қилинаётган янги ФИКда эса йил давомида сув танқислиги бўладиган регионларда электр ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишга қаратилган. Янги турдаги ФИБнинг ишлаш принципи коллектордаги бир марта қўйилган сувни қайта совутиб яна коллекторга қайтаришдан иборат. Яни ФЭБни совутиш учун бир марта қўйилган сув етарли бўлади. Бу турдаги қурилмалардан ўта қуруқ ҳудудларда ҳам ФЭБларнинг яхши кўрсаткичларга эришиш мумкин бўлади.

Бу тадқиқот ишида ФЭБнинг орқа юзасига йиғиладиган иссиқликни камайитириш орқали электр самарадорлигини оширишга эришилади. Бундан ташқари ФЭБ нинг орқа юзасини совутиш ҳисобига олинган иссиқликдан фойдаланиш имконияти кўрилади. Совутишнинг фаол методи асосида ФЭБ нингтехник параметрлари ва тафсилотлари ўрганилади. Амалдаги ФЭБ ларнингэлектр самарадорлиги стандарт синов (паспорт маълумотлари 1000 Вт/м², 25 0С) шартлари бўйича 19,89 % га тенг.Қолган қисмини эса орқа юзасида иссиқлик сифатида сақлайди. Натижада электр самарадорлиги пасайиб кетади [5].

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Янги турдаги ФИБ совутиш системаси ички ёнув двигателларининг совутиш системасига оид принцинга асосланган бўлиб, совутишни радиатори орқали сувнинг айланиши таъминлайди. Совутиш радиатори - бу двигател тизимини совутиш ва нормал ҳарорат шароитларини таъминлаш учун мўлжалланган қурилмадир. Автомобил совутиш радиатории ядро, юқори ва пастки танклардан иборат. Бундай содда, мураккаб бўлмаган восита двигателнинг узоқ муддатли ва ишончли ишлашининг калитидир[6]

ФЭБнинг орқа юзасига йиғиладиган иссиқликни коллектордаги сувга ўтказиб, қизиган сувни насос ёрдамида совутиш радиаторига узатилади. Ва совутиш радиаторидан ўтган суюқлик яна, коллекторга қайтарилади. Совутиш радиаторидан ўтган суюқлик яхшироқ совуши учун унга вентилятор ўрнатилган. Бу қурилманинг совутиш системасидаги насос ва вентилятор кам қувватли бўлиб, ФЭБ нинг ишлаб чиқарган энергиясига салбий таъсир кўрсатмайди, ва тўғридан –тўғри контроллерга уланади. Аккумуляторга йиғиладиган энергиядан фойдаланмайди. Бундан ташқари совутиш радиатори орқали суюқликни узлуксиз равишда совутиш шарт эмас. ФЭБ нинг қувватига қараб, ҳар соатда суюқликни совутиш радиатори орқали айлантириш, совутиш мақсадга мувофиқ. Бу янги типдаги совутиш системаси биринчи марта қуввати 60 W қуёш ФЭБда қўлланилди



1-расм ФИБ ли қурилманинг олд томондан кўриниши, 2.б) расм ФИБ ли қурилманинг орқа томондан кўриниши. 1-б қуёш панели, 2-б аккумулятор, 3-б инвертор, 4-б контроллер

1-расмда кўрсатилган ФЭБ 60 W қувватга эга. Қурилма ФЭБни қуёш нурланиш оқимиغا йўналтирилган ҳолда ҳаракатлантириш имконини беради. ФЭБни ҳар хил шароитда ишлатиш қулай бўлиши учун аравачага ўрнатилган бўлиб, аравача устига ўрнатилган ФЭБ қуёш нурланишига йўналтирилган равишда ҳаракат қилади. Бундан

мақсад куёш нурланишидан ҳар доим максимал фойдаланишдир. Аравачанинг бўш турган қисмига 12В кучланишли 26 А /соат сиғимли гел аккумулятор, 12 В, 10 А ли контроллер, қуввати 1000 Вт бўлган, 220 В ли инвертор ўрнатилган. Қурилма тўлиқ йиғилгандан сўнг ўта қуруқ иқлимга эга бўлган худудларда ФЭБ нинг ишлаб чиқарадиган энергиясидан фойдаланишимиз мумкин бўлади. Асосий эътибор қишлоқ аҳолисини дала ва фермаларда ишлашларида мобил телефонларини зарядлашда, ноутбуклар, портатив телевизорлар, замонавий ёруғлик диодили лампалар асосидаги ёритиш тизимлари қўллашларида қулайлик яратиш заруриятига қаратилган. [7].

1-жадвал

ФЭБ нинг совитиш системасининг техник кўрсаткичлари

№	Номланиши	Параметрлари
1	Совутиш радиатори	Ҳажми 1литр
2	Насос	12 ватт
3	Вентилятор	12 ватт
4	Радиатор патрубккалари	Диаметри 32 мм
5	Коллектор	Ҳажми 4 литр

ФЭБ нинг янги типдаги совутиш системасини самарадорлигини янада ошириш учун совутиш суюқлиги сифатида сувдан бошқа турдаги суюқликларга алмаштириш мақсадга мувофиқ. Яъни совуқ кунларда автомобилларнинг радиаторига куйиладиган антифриз(-20⁰ С гача музламайдиган) суюқлигидан фойдаланилса, қиш кунларида кечкурун музлаб қолмайди ва ФИБ га зарар йетказмайди. совутиш тизими бўлмаган варианты билан бир вақтда синов дан ўтказишни макул топдик.



2-Расм. Қўчма фотоиссиқлик ва фотоэлектрик қурилмаларнинг кўриниши.

1-ФЭБ ларни параметрларини ўлчаш учун мулжалланган асбоблар

2-Радиаторли қурилманинг олд томондан кўриниши,

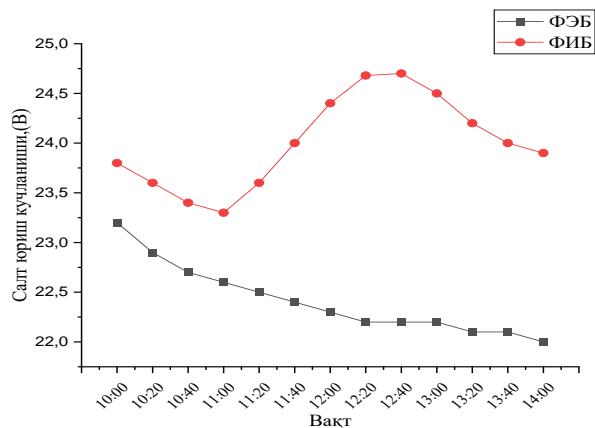
3-оддий ФЭБ ли қурилманинг олд томондан кўриниши

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Қурилмалар параметрларини ўлчаш ва натижа муҳокамаси. ФЭБ ва ФИБ параметрларини ўлчашлар Тошкент шаҳридаги Физика-техника институти Гелиомайдонида олиб борилди. Янги қурилманинг кўрсаткичларини солиштириш мақсадида кўчма кичик қувватли фотоэлектрик батареялари қуввати тенг ва совитиш тизими бўлмаган қурилма варианты билан бир вақтда

синов дан ўтказишни мақул топдик.

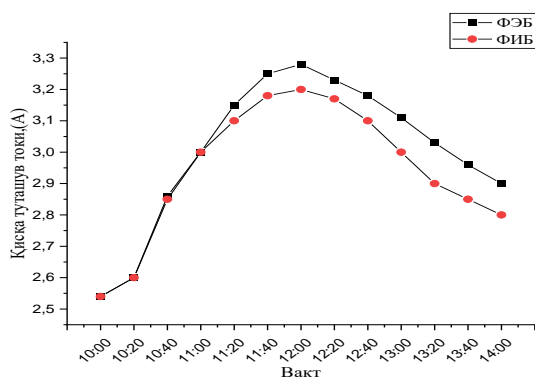
синов дан ўтказишни мақул топдик. Расм 2.да келтирилган қурилмаларнинг турли томондан кўриниши кўрсатилган. Қурилмалар ФЭБларининг қуввати 60 Вт, фойдали иш коэффициентлари ва ўлчамлари бир хил бўлган монокристалл кремнийдан тайёрланган. Синов тажрибалари очик ҳавода олиб борилди ва ўлчаш жараёнида атмосферанинг қуйидаги кўрсаткичлари қайд этилди, ҳаво ҳарорати 13-18⁰С, шамол тезлиги 8м/с, атмосфера босими 755 мм.сим.уст ва нисбий намлик 30-50 % ни ташкил этди. Ўлчашлар кетма-кетлиги қуйидагича, ФЭБ ва ФИБ нинг аввал салт юриш кучланиши, кейин қисқа туташув токи, охирида қуёш нурлиниши интенсивлиги эталон қуёш элементи токени ўлчаш билан аниқланди. ФЭБларнинг электр параметрлари асосида ишлаб чиқилган электр қуввати аниқланди. Қисқа туташув токи ($I_{кт}$), салт юриш кучланиши ($U_{сЮ}$), қуёш нурланиши интенсивлиги (P), қуввати (Π) каби параметрларн 2023 йил 23 феврал соат 10⁰⁰ – 14⁰⁰ га қадар 20 минут вақт оралиғи билан тажриба синов натижалари олиб борилди. 3-расмда ФЭБ ва ФИБ нинг салт юриш кучланиши қийматлари вақт билан ўзгариши келтирилган.



3-Расм. Салт юриш кучланиши қийматларинг вақт бўйича ўзгариши

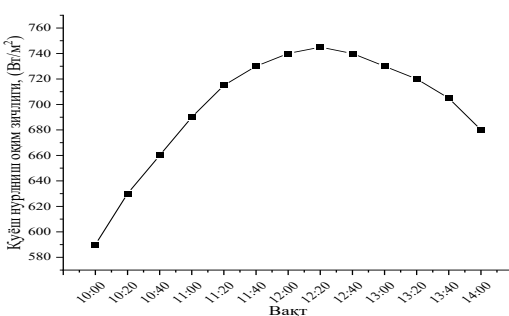
Соат 10⁰⁰ ФИБ нинг салт юриш кучланиши 23.8 В ни, ФЭБ нинг салт юриш кучланиши 23.2 В ни кўрсатган. Бунга сабаб ФИБ нинг коллектив қисмида сув бор. Яъни ФИБ нинг орқа қисми ФЭБ орқа қисмидан температураси паст бўлган. Кейинги ўлчашларда иккала батареянинг салт юриш кучланишлари камайиб борганини кўришимиз мумкин. Чунки ҳаво ҳароратининг кўтарилишини белгилувчи қуёш нурланиши оқими интенсивлигининг ошиб бориши салт юриш кучланишини камайишига олиб келади. Соат 11⁰⁰ дан бошлаб, ФИБ нинг совутиш системаси

ишлатила бошланди. Расм 3дан кўришимиз мумкинки, ФИБ нинг салт юриш кучланиши қиймати кўтарила бошлаган. ФЭБ нинг салт юриш кучланиш қиймати эса яна камайишда давом этган. 12⁴⁰ бошлаб ФИБ нинг салт юриш кучланиш қиймати камайиши бошланган. ФИБ қурилмасида салт юриш кучланишининг бундай ўзгаришига сабаб куёш нурланиши интенсивлигининг вақт бўйича ўзгаришига ва соат 12⁴⁰ бошлаб камайишига боғлиқдир (Расм 5).



4-Расм. ФЭБ ва ФИБ қурилмалар қисқа туташув токининг вақтга боғлиқлиги

Расм 4 да ФЭБ ва ФИБ асосидаги қурилмаларнинг қисқа туташув токининг вақтга боғлиқлиги келтирилган. Расм 4дан кўринадикки иккала қурилманинг қисқа туташув токи қийматлари соат 10⁰⁰ дан соат 11⁰⁰ гача бир хил қийматга эга. Кейин эса ФЭБ нинг қисқа туташув токи ФИБ нинг қисқа туташув токи қийматидан кўпроқ ошган. Асосий сабаб ФЭБ нинг орқа қисмида совутиш системаси йўқлиги натижасида кремний асосидаги куёш элементларининг қизиши ва натижада қисқа туташув токининг ҳароратга боғлиқлигидир. Аксинча ФИБ нинг орқа қисмидаги совутиш системаси борлиги туфайли у ва қисқа туташув токи ҳам ўзгармайди. Соат 12⁴⁰ бошлаб ФЭБ ва ФИБнинг қисқа туташув токи камайганлигини кўришиб турибди (4-расм). Бунга ҳам сабаб куёш нурланиши интенсивлигининг камайиши ва натижада қисқа туташув токини ҳам камайишга олиб келади (5-расм).

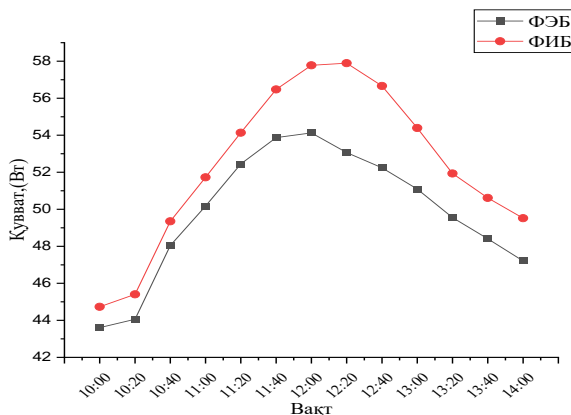


5- расм. Куёш нурланиши интенсивлигининг вақтга боғлиқлиги

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Расм 5 да қуёш нурланиши интенсивлигининг кун давомидаги ўзгариши келтирилган. Қуёш нурланиши интенсивлиги соат 10 дан 12²⁰ гача ортиб борган, сўнгра камайган. Қуёш нурланиши интенсивлиги соат 12²⁰ дан кейин камая бошлаган, бунинг сабаби, узоқ вақт сурункали ёғингарчиликдан кейинги кунларда қуёш нурланиши интенсивлигининг ортиши туфайли тушга яқин ҳароратнинг кўтарилиши ва Ер сиртидан буғланишнинг ошиши туфайли атмосферада қуёш нурланишининг ютилишининг ортиши натижасидир. Ҳаво ҳарорати кўтарилган сари ердаги намлик атмосферани эгаллаб, қуёш нурланиши интенсивлигининг камайишига олиб келади.

Расм 6 да ФИБ ва ФЭБ лар ишлаб чиқарган электр қувватининг вақтга нисбатан ўзгариши кўрсатилган. Электр қувватини $P = G_{\text{ТК}} I_{\text{КТ}} U_{\text{СЮ}}$, бу ерда, $I_{\text{КТ}}$ - қисқа туташув токи, $U_{\text{СЮ}}$ - салт юриш кучланиши, $G_{\text{ТК}}$ – ФЭБ вольт-ампер характеристикасининг тўлдириш коэффициенти, бизнинг ҳол учун ФЭБ паспортига кўра 0,73 га тенг.



6-Расм. ФИБ ва ФЭБ ларнинг электр қувватининг вақтга нисбатан ўзгариши

Расм 6 келтирилган натижаларга кўра, ФИБ ишлаб чиқаётган қувват ФЭБ қувватидан каттароқдир ва айниқса қиём вақтига яқин ФИБ қуввати ФЭБдан сезиларли даражада катта, деярли 5 Вт, яъни 8% дан ортиқроқ. Бу изланиш албатта биринчиси, яъни ФЭБдан иссиқликни бу усул билан олиб, ҳароратини пасайтириб самарадорлигини оширишни принципиал имконияти борлиги кўрсатилди. Кейинги изланишлар ФИБнинг иссиқлик коллекторида ҳарорат тақсимотини ўрганиш ва иссиқлик узатилиш механизмини (радиаторнинг энергия сарфлашига нисбатан) ўрганиш ва натижада коллектор самарадорлигини оширишдан иборат бўлади, ҳамда қурилмани сувсиз регионларда тажриба – синовдан ўтказиш лозим.

Хулоса. Республикамизнинг ўта қуруқ ҳудудларида қайта тикланувчи энергия манбалардан фойдаланишда бир қанча омилларга эътибор бериш керак. Шу жумладан, ҳаво ҳароратининг ўта юқорилиги. Бундай юқори ҳароратларда (сояда 40⁰ ва ундан ҳам юқори) ФЭБ ларнинг самарадорлиги пасаяди, бизга керак бўлган энергиянинг бир қисми йўқотилади. Бундай энергия йўқотишларини олдини олиш ва

камайтириш учун Физика-техника институтида илмий изланишлар олиб борилмоқда. Шулардан бири янги ФИБ учун ишлаб чиқилган янги совутиш тизимидир. Бу тизим орқали ўта қуруқ ҳудудларда сув кам бўлган тақдирда ҳам ФЭБ самарадорлигининг ҳароратдан камайиши олдини олиш мумкин ва ФЭБ бериши керак бўлган энергиядан самарали фойдаланиш мумкин. Бу янги типдаги қурилмалардан республикамизнинг кўплаб ҳудудларида қўлланилиши назарда тутилмоқда.

Адабиёт

1. M. Salem Ahmed, A. S. A. Mohamed, Hussein M. Maghrabie. Performance Evaluation of Combined Photovoltaic Thermal Water Cooling System for Hot Climate Regions, Journal of Solar Energy Engineering February 2019.

2. Фундаментальные и прикладные вопросы физики, Труды Международной конференции, Ташкент, сентябрь 22-23, 2020г. Исследование эффективности использования автономных фотоэлектрических станций в условиях жаркого климата, Турсунов М.Н., Сабилов Х., Юлдошев И.А., Холов У.Р., - С.25-29.

3. Фундаментальные и прикладные вопросы физики, Труды Международной конференции, Ташкент, сентябрь 22-23, 2020г. Исследование влияния температуры окружающей среды на параметры фото тепловой батареи с коллектором из сотового поликарбоната, Муминов Р.А.1, Турсунов М.Н.1, Сабилов Х.1, Юлдошев Б.А.2, Абилфайзиёв Ш.Н., - С.20-24.

4. Ali Saleh Aziz, Mohammad Faridun Naim bin Tajuddin, Mohd. Rafi bin Adzman, Makbul A. M.Ramli. Feasibility Analysis of PV/Diesel/Battery Hybrid Energy System Using Multi-year Module. International journal of renewable energy research. Vol.8, No.4, December, 2018.

5. <https://glotr.uz/uz/sovutish radiatorini-yoqish-damas-labo-p331852>.

6. Tursunov M. N., Sabirov X., Xolov U. R., and Eshmatov M., “Investigation of the Parameters of a Photovoltaic Thermal Battery in Extreme Natural Conditions” Applied Solar Energy, Vol. 57, No. 4, pp. 272–277, 2021.

7. Сабилов Х., Холов У.Р., Умарханов С., Исмоилов Н., Аликулов Р. “Переносной фотоэлектрический источник питания малой мощности”, Xalqaro ilmiy-texnik anjuman: “Muqobil va qayta tiklanuvchi energetikaning rivojlanish tendensiyalari: Muommlari va yechimlari” 17-18 may 2021-yil, 418-bet.

8. www.power-technology.com.

*ЎзР ФА Физика-техника институти
томонидан тақдим этилган*

УДК 536.24:66.045.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ АМИНОВОГО РАСТВОРА В АППАРАТЕ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Б.А. Абсадиқов, Ш.К. Ағзамов

Маълумки, сув билан совутиши турли хил технологик муҳитларни совутиши учун жуда самарали. Шу билан бирга, кимёвий тозаланган сув ва айланма сувни тайёрлашнинг юқори харажати, юқори шўрланиши туфайли иссиқлик алмашинадиган юзаларининг интенсив қопланиши ва ҳаво ва сувни совутиши режимида ўтиши учун ёрдамчи ускуналарнинг юқори харажатлари ҳаво ва ҳаво-сув-бувланишли совутишига ўтишига мажбур қилади. Мақолада 20% амин эритмасининг ҳаво билан совутиши аппаратида совутиши пайтида унинг иссиқлик узатилишини экспериментал ўрганиши натижалари келтирилган.

***Калит сўзлари:** ҳаво билан совутиши аппарати, экспериментал тадқиқот, иссиқлик беришни жадаллаштириши, форсунка, намлаш тизими, амин эритмаси.*

Общезвестно, что водяное охлаждение весьма эффективно для охлаждения различных технологических сред. Однако, достаточно высокая стоимость подготовки химически очищенной и оборотной воды, интенсивная инкрустация теплообменных поверхностей вследствие высокой минерализованности и больших эксплуатационных расходов на вспомогательное оборудование вынуждает перейти на воздушное и воздушно-водоиспарительное охлаждение. В работе приведены результаты экспериментального исследования теплоотдачи 20% аминового раствора при его охлаждении в аппарате воздушного охлаждения.

***Ключевые слова:** аппарат воздушного охлаждения, экспериментальное исследование, интенсификация теплоотдачи, форсунка, система увлажнения, аминовый раствор.*

It is well known that water cooling is very effective for cooling various technological environments. However, the rather high cost of preparing chemically purified water and recycled water, the intensive inlay of heat-exchange surfaces due to high salinity and high operating costs for auxiliary equipment forces to switch to air and air-water cooling. The article presents the results of an experimental study of the heat transfer of 20% an amine solution when it is cooled in an air-cooling apparatus.

***Key words:** air cooler, experimental research, intensification of heat transfer, nozzle, humidification system, amine solution.*

1. Введение. В условиях глобализации мировой экономики, сокращения прироста не возобновляемых энергетических ресурсов, усиления конкуренции на мировых рынках жидких углеводородов и твердых видов топлива для обеспечения устойчивого экономического развития все большее значение приобретает

модернизация существующих, разработка и внедрение новых технологий на предприятиях топливно-энергетического комплекса республики [1].

Охлаждение продуктов и различных технологических сред относится к важным технологическим процессам, характеризующимся непрерывностью, требованиями высокой надёжности, точности поддержания заданных температур, автоматизации, пожаро- и взрывобезопасности.

Развитие производительных сил всегда было связано с ростом потребления воды. В течение нашего столетия забор свежей воды из речных систем на нужды народного хозяйства возрос в 6-7 раз и тенденция такова, что к концу XXI века он значительно увеличится, а это связано с вмешательством в естественный природный режим речных систем и водоемов. Защита водной среды, а также реально обозначившийся дефицит пресной технологической воды требует рационального подхода к использованию водных ресурсов или полное исключение её из технологических процессов как охлаждающей среды в теплообменной аппаратуре.

Учитывая, что расход воды на охлаждение в промышленности очень велик, увеличение потребления, особенно в летнее время, крайне нежелательно. Охлаждение оборотной воды также требует дополнительных энергозатрат, связанных с её потерями. Поэтому актуальное значение в настоящее время приобретает применение аппаратов воздушного охлаждения (АВО), предназначенных для охлаждения и конденсации парообразных, жидких и газообразных сред в технологических процессах нефтехимической, химической, нефтеперерабатывающей, газовой и других отраслях промышленности.

В этой связи совершенствование процесса воздушно-водоиспарительного охлаждения за счёт применения форсунок является наиболее предпочтительным и экономичным.

2. Экспериментальное исследование теплоотдачи при воздушно – водоиспарительном охлаждении. Применение воздушно-водоиспарительного охлаждения в аво имеет большие преимущества и перспективы. анализ литературных данных по тепло и массоотдаче в двухфазных потоках показывает, что даже незначительное количество распыленной, в воздушном потоке, влаги позволяет увеличить теплоотдачу поверхности теплообмена, благодаря чему становится возможным без особых затрат и усложнений повысить эффективность поверхности теплообмена.

Авторами на универсальном экспериментальном стенде, схема которого приведена в [2], были проведены исследования изменения теплоотдачи аминного раствора, при его охлаждении. Целью проведения экспериментов было решение следующих задач:

1. Создание конструкции диспергирующего устройства, которое обеспечит: высокую степень диспергирования воды, определяющую возможность полного испарения; минимальный расход воды; простоту конструкции диспергирующего устройства; полный унос дисперсной фазы.

2. Обеспечить полное испарение дисперсной фазы, гарантирующее максимальное понижение температуры воздуха до температуры мокрого термометра.

3. Обеспечить максимальный теплосъём с единицы оребренной поверхности теплообмена.

Для решения этих вопросов рассчитано и сконструировано диспергирующее устройство, учитывающее реальные условия испарения в АВО, т.е. скорость воздушного потока, время испарения и степень дисперсности. Степень дисперсности должна обеспечить за предоставленное время полное испарение капель. Новая конструкция форсунки испытана на универсальном экспериментальном стенде, моделирующем работу АВО. Проведены испытания форсунки в потоке восходящего воздуха летних параметров, для исследования адиабатического процесса воздушно – водоиспарительного охлаждения воздуха.

Оценкой эффективности форсунок являлись начальная и конечная температура воздуха и его влагосодержание, учитывая количество распыленной воды.

Сущность процесса адиабатического охлаждения воздуха заключается в распыле воды с помощью форсунки и в испарении некоторого количества подаваемой воды. На испарение затрачивается энергия, которая поглощается из самого воздуха, воздух при этом охлаждается. Такой принцип увлажнения – распылительного типа, широко применяют в различных отраслях промышленности. Адиабатическое увлажнение происходит при постоянном количестве тепла ($\Delta Q = 0$). При увеличении относительной влажности воздуха его температура понижается. В обычных системах увлажнения и охлаждения воздуха максимальная относительная влажность воздуха составляет $\varphi = 85 - 95 \%$ и быстро убывает при осуществлении процессов нагрева. Путем диспергирования определенного количества воды можно регулировать влажность воздуха.

Исследовано влияние на эффективность охлаждения 20% и 30% водного раствора моноэтаноламина (МЭА) в АВО, с использованием центробежной форсунки новой конструкции.

Эксперименты были проведены в следующем интервале изменения параметров: концентрация моноэтаноламина $C_p = 20\%, 30\%$; число Рейнольдса аминного раствора $Re_m = 1000 \div 8500$; начальная температура раствора $t'_1 = 40^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}, 80^\circ\text{C}$; давление воды, подаваемой на форсунку $P_\phi = 1-5$ атм; скорость воздуха $W_y = 0,5 - 7,0$ м/с; степень орошения воздуха $\rho = 0,0013-0,004$ кг/кг.

На рис. 1 представлено изменение теплоотдачи при охлаждении 20% водного раствора МЭА. Построены графики зависимости для различных значений степени орошения охлаждающего воздуха « ρ » в виде $\alpha_m = f(Re_m)$. Каждой величине « ρ » соответствует своя характеристическая кривая. Анализ полученных данных показывает прямую зависимость теплоотдачи раствора от скорости охлаждающего воздуха « W_y » и степени орошения охлаждающего воздуха « ρ ». С увеличением числа Рейнольдса раствора, скорости и степени орошения воздушного потока увеличиваются значения коэффициента теплоотдачи.

Воздушно – водоиспарительное охлаждение обладает существенными достоинствами, сохраняет относительную простоту воздушного охлаждения и намного повышает эффективность, что согласуется с [3].

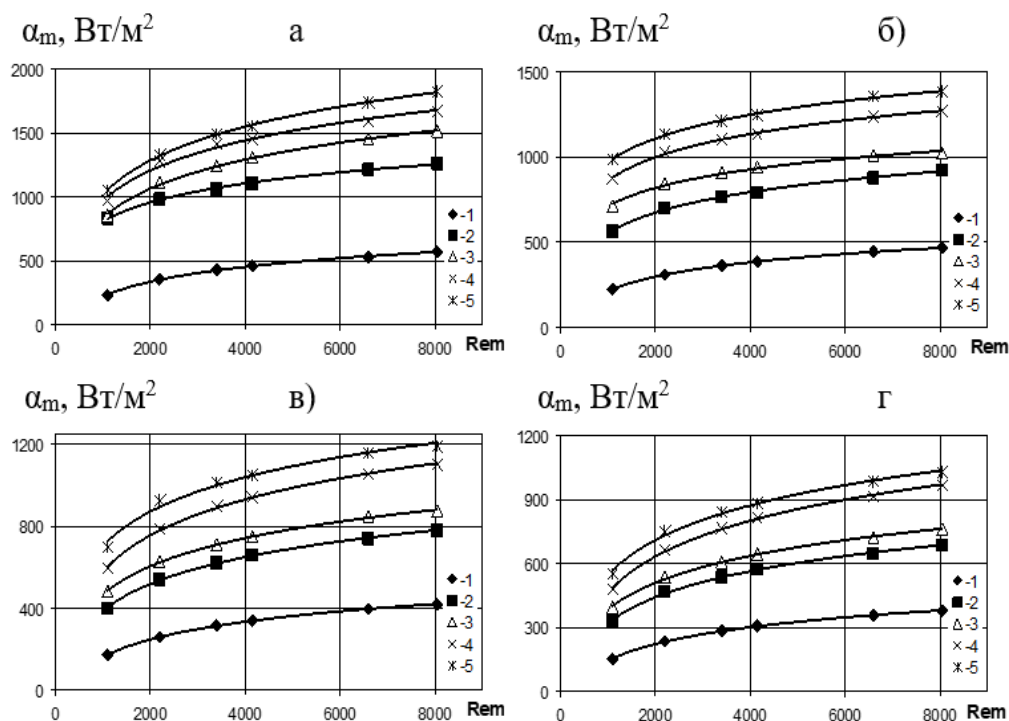


Рис. 1. Зависимость интенсивности теплоотдачи аминокислотного раствора от числа Рейнольдса раствора в виде $\alpha_m = f(Re_m)$, $C_p = 20\%$, $t'_r = 60^\circ\text{C}$.

1 - «сухое» охлаждение; 2 - $\rho = 0,0013$ кг/кг; 3 - $\rho = 0,0027$ кг/кг;

4 - $\rho = 0,0033$ кг/кг; 5 - $\rho = 0,004$ кг/кг;

а) $W_y = 6,13$ м/с; б) $W_y = 4,12$ м/с; в) $W_y = 2,46$ м/с; г) $W_y = 1,29$ м/с

Заключение. Возрастающие требования защиты окружающей среды от тепловых и химических загрязнений, развитие современной техники и технологии сопровождаются широким применением аппаратов воздушного охлаждения (АВО), при этом обеспечивается сокращение водопотребления на технические цели, оптимальное размещение установок вне зависимости от источников технического водоснабжения [4].

Дефицит химически очищенной воды вынуждает заменять водяные холодильники аппаратами воздушного охлаждения, при этом упрощается обслуживание, сокращаются эксплуатационные затраты на охлаждение, исключается потребление технической воды в больших количествах. Развитие современных высокотехнологичных производств и внедрение эффективных аппаратов воздушного охлаждения, связано с необходимостью создания процесса адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха. При этом температура воздуха понижается, относительная влажность и влагосодержание растут, теплосодержание и температура воды остаются неизменными [5]. Полученные результаты показывают, при различных значениях степени орошения в интервале 0,0013-0,004 кг/кг, температура

охлаждающего воздуха снижается на 8-15°C и существенно возрастает интенсивность теплоотдачи, что позволяет судить о высокой эффективности новой конструкции форсунки.

Литература

1. Аллаева Г.Ж. Энергосбережение как фактор повышения эффективности при внедрении инновационных технологий на предприятиях ТЭК // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2014. -№4. - С. 212-215.
2. Агзамов Ш.К., Абсадилов Б.А., Рашидов К.Ю. Исследование адиабатического охлаждения воздуха и интенсификация работы АВО / Третья Российская национальная конференция по теплообмену «РНКТ-III». 2002.
3. Системы кондиционирования воздуха для чистых помещений / О.Я. Кокорин, Ф. И. Андронов //Холодильная техника. 2002. -№2. -С.7-10.
4. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. -М.: Химия. 1983.
5. Кремнев О.А., Сатановский А.Л. «Воздушно- водоиспарительное охлаждение оборудования», -М.: Машиностроение, 1967 .- С. 55-66.

*Представлено АО «UZLITINEFTGAZ»
и ООО «UZLITI ENGINEERING», Ташкент*

УДК 553.981.2

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛАН**Ш.К. Орипова, Б.З. Адизов, Б.Ш. Акрамов**

Ушбу мақолада Алан газоконденсат конининг маҳсулдор горизонтлари параметрлари натижаларини таҳлил қилиш ҳақида баён этилган. Алан газоконденсат кони ётқизиқларининг литологик ва стратиграфик хусусиятлари, шу жумладан, палеозой ётқизиқлари, юра тизими, ўрта келловий-қуйи киммериж остки босқичлари, киммериж-титоний босқичлари, бўр тизими, палеоген тизими, неоген ва тўртламчи даврлари тизимлари ҳақида баён қилинган. Шунингдек, Алан газоконденсат кони қудуқларини геофизик тадқиқотлаш, керн бўйича маҳсулдор қатлам параметрлари ва маҳсулдор қатлам қалинлиги ҳақида баён этилган.

Калим сўзлар: Газоконденсат конлари, ётқизиқлар, босқичлар, риф, маҳсулдор горизонт, маҳсулдор горизонтлар қалинлиги, тектоника, ангидрит, сув билан тўйинганлик, газ билан тўйинганлик, ўтказувчанлик, говаклик.

В данной работе рассмотрены анализ результатов параметры продуктивных горизонтов газоконденсатных месторождения Алан. Рассмотрены литолого-стратиграфическая характеристика отложений газоконденсатных месторождения Алан, включающих палеозойские отложения, юрскую систему, среднекембрийско-нижнекембрийские ярусы, кембрийско-титонские ярусы, меловую систему, палеогеновую систему, неогеновую систему и четвертичные системы. А также рассмотрены геофизические исследования скважин, параметры продуктивных пластов по керну и толщины продуктивных горизонтов газоконденсатных месторождения Алан.

Ключевые слова: Газоконденсатных месторождения, отложения, ярусы, риф, продуктивных горизонт, толщины продуктивных горизонтов, тектоника, ангидрит, водонасыщенность, газонасыщенность, проницаемость, пористость.

In this article, the analysis of the results of the parameters of the productive horizons of the Alan gas condensate field is considered. Lithological and stratigraphic characteristics of the deposits of the Alan gas condensate field, including the Paleozoic deposits, the Jurassic system, the middle Callovian-Lower Cimmerian stages, the Cimmerian-Tithonian stages, the Cretaceous system, the Paleogene system, the Neogene system, and the Quaternary systems, are considered. And also geophysical studies of wells, parameters of productive formations by core and thickness of productive horizons of the Alan gas condensate field are considered.

Key words: Gas condensate fields, sediments, stages, reef, productive horizon, thicknesses of productive horizons, tectonics, anhydrite, water saturation, gas saturation, permeability, porosity.

Введение. Месторождения углеводородов Юго-Западного Узбекистана находятся в пределах Чарджоуской и Бухарской ступеней, их большая часть связана с антиклинальными складками [1]. Диапазон промышленной газоносности меняется от нижней юры до верхнего мела. В общем разрезе рассматриваемой территории выделяются четыре главные формации: нижнесреднеюрская терригенная, средне-верхнеюрская карбонатная, верхнеюрская эвапоритовая и меловая терригенная. В них выделяются следующие продуктивные горизонты: VII – сенон; VIII, VIIIa, VIIIб – турон; IX и X – сеноман; XI, XIa – альб; XII – апт; XIII, XIV1 – неоком; XIV2 – киммеридж-титон; XV, XV1, XV2, XV3, XVa, XVHP (надрифовый), XVPP (подрифовый), XVI – келловей-оксфорд; XVII, XVIII – средняя юра [2].

Литолого-стратиграфическая характеристика. В геологическом строении месторождения Алан принимают участие палеозойские, юрские, меловые, палеогеновые, неогеновые, четвертичные отложения.

Палеозойские отложения – Pz. Максимально вскрытая толщина осадочного чехла на месторождении составляет 3271 м (скважина 5, забой которой находится в терригенных отложениях нижнего келловей). Палеозойские и пермотриасовые отложения не вскрыты разведочными скважинами.

Юрская система – J. В составе юрских отложений Аланского месторождения выделяются три толщи, резко отличающихся друг от друга как по литологическому составу, так и по условиям образования: терригенная (нижней келловей), карбонатная (средний келловей – нижний кеммеридж) и соляно-ангидритовая (киммеридж-титон). Терригенные отложения вскрыты скважиной 5 на глубине 3246 м, вскрытая толщина 25 м.

Среднекелловейский-нижнекиммериджский подъярусы. Карбонатная толща представлена комплексом взаимосвязанных пород, толщина которых изменяется от 240 до 520 м. По характеру размещения коллекторов в разрезе и ряду генетических признаков она делится на две части: нижнюю, относительно выдержанную по толщине (200-205 м) включающую отложения фаций открытого шельфа, и верхнюю, представленную рифогенным комплексом толщиной до 310 м, а за пределами контура рифового массива – депрессионными фациями толщиной 4-5 м (рис.1).

XVI горизонт вскрыт лишь скважиной 5, где его толщина составляет 57 м. Представлен тёмно-серыми плотными глинистыми афанитовыми известняками. XV-a2 горизонт на полную толщину вскрыт скважинами 5 и 9. Представлен, в основном, серыми и светло-серыми афанитовыми известняками с прослоями и линзами водорослевых и комковатых известняков. Общая толщина горизонта 45-78 м. Выше залегает 8 - 17 метровая пачка плотных известняков, выделяемая по аналогии с Култаским месторождением как репер «Z». XV-PP горизонт по литологическим и коллекторским свойствам подразделяется на 2 пачки. Нижняя представлена чередованием пористых и плотных разностей как XV-a1 горизонт. Верхняя пачка толщиной от 5 до 54 м сложена темно-серыми, плотными, глинистыми известняками.

XV-a1 горизонт представлен комковато-водорослевыми и комковато-органогенными разностями. Пористые и плотные известняки неравномерно

Киммериджский – титонский ярусы. Заканчивается разрез юрских отложений соляно-ангидритовой толщей киммеридж-титона, которая подразделяется на 5 пачек. Непосредственно на карбонатных отложениях залегает пачка ангидритов, называемая на практике геологоразведочных работ «нижними» ангидритами. Толщина пачки «нижних» ангидритов колеблется от 18 до 151 м.

Меловая система. Меловые отложения представлены нижним и верхним отделами. Осадки нижнего мела представлены красноцветными терригенными отложениями неокома (толщиной 391-413 м), сероцветными терригенными отложениями апта (толщиной 72-73 м) и альба (толщиной 332-345 м). В составе верхнемелового отдела выделяются отложения сеноманского (толщиной 232-250 м), туронского (толщиной 343-353 м) ярусов и сенонского (толщиной 515-535 м) надъяруса, представленных морскими терригенными осадками с редкими маломощными прослоями известняков-ракушняков (IX и X горизонты сеномана). Общая толщина меловых отложений составляет 1919 – 1953 м.

Палеогеновая система. Отложения палеогена несогласно залегают на осадках верхнего мела и представлены 130-147 метровой толщей известняков бухарских слоев палеоцена и 15-44 метровой пачки глин сузакских слоев эоцена. Общая толщина палеогеновых отложений 150-190 м.

Неогеновая и четвертичная системы. На размытой поверхности эоценовых глин залегает толща неогеновых и четвертичных отложений, представленных чередованием глин, алевролитов, песчаников и песков. Общая толщина неоген-четвертичных осадков 129-215 м.

Основная часть. В тектоническом отношении площадь Алан [3-5] располагается в пределах Чарджоуской ступени, осложняющей северо-восточную часть Амударьинской впадины. В описываемом районе выделяются Денгизкульское и Испанли-Чандырское валообразные поднятия, разделенные Каракульским прогибом; с юго-востока к ним примыкает Бешкентский прогиб. Площадь Алан расположена в юго-восточной части Денгизкульского поднятия между локальными складками Култак, Зеварды и Памук. В строении платформенного чехла района, включающего юрско-кайнозойский комплекс осадков, выделяются два этажа, разделенных между собой киммеридж-титонской соленосной толщей, и отличающихся друг от друга, в той или иной степени.

Наиболее представительная информация, характеризующая структурный план надсолевого этажа, получена по кровле бухарских слоев палеогена и кровле XIII горизонта. По надсолевым комплексам оцениваемая площадь представляет собой меридионально-вытянутый структурный нос, осложняющий Култакскую куполовидную структуру. С другой стороны, ее можно рассматривать как структурную перемышку между Култакской и Зевардинской складками.

Структурный план поверхности подсолевого карбонатного комплекса осложнен наличием рифовой постройки в верхней части комплекса, морфологически контрастно выделяющейся относительно поверхности маломощных синхронных отложений депрессионных фаций (рисунки 2, 3, 4).

Перекрывающие их "нижние" ангидриты в пределах большей части контура рифа характеризуются выдержанной и сокращенной толщиной (10-30 м) с резким увеличением ее в узкой полосе (0,3-0,5 км), соответствующей рифовому склону, что свидетельствует о плосковершинной форме и большой крутизне склонов рифа; зона увеличенной толщины "нижних" ангидритов (до 150-180 м) охватывает сопряженную с рифовым массивом область распространения депрессионных фаций, образуя кольцевое обрамление разной ширины и сложной конфигурации.

Согласно приведенным геологическим материалам, верхнеюрский резервуар на ГКМ Алан представляет собой атоллоподобный рифовый массив с крутыми (40-45°) склонами, вытянутый в меридиональном направлении, длиной 6,3 км и шириной 3,5 км. Тело рифовой постройки слагается из двух отличающихся между собой по физико-коллекторским свойствам и фациальным условиям формирования толщ, из которых нижняя (XV-Р горизонт) характеризуется высокой пористостью, массивным строением и слабой расчлененностью каротажных диаграмм; верхняя - (XV-НР горизонт) чередованием пористых и уплотненных разностей карбонатов, значительной расчлененности каротажных диаграмм.

Характерной особенностью разреза XV-НР горизонта является частое чередование пород-коллекторов и неколлекторов. Открытая пористость пород XV-НР горизонта изучена на 107 образцах. Диапазон изменения пористости здесь составляет от долей процента до 33 %. В том числе для пород-коллекторов – от 3 до 33 %. Среднее значение пористости составило 13 %.

Остаточная водонасыщенность (коэффициент газонасыщенности) пород изучена по 49 образцам, из которых 45 – учтенные. Значения остаточной водонасыщенности изменяются от 8 до 80 %. При этом для пород-коллекторов это изменение составило 8 до 64 %. Среднее значение остаточной водонасыщенности пород-коллекторов составило 26,7 % ($K_r = 0,73$).

Проницаемость пород-коллекторов XV-НР горизонта изучена на 26 образцах. Диапазон изменения проницаемости составил от 0,0001 до 3,2 мкм² (0,1 - 3200 мД). Среднее значение проницаемости составило 0,285 мкм² (285 мД).

В разрезе XV-Р горизонта, в отличие от XV-НР горизонта, преобладают породы-коллекторы. Из 851 образца керна, отобранного из этого горизонта, долевое участие пород-коллекторов составило до 93,7 %, неколлекторов - 6,3 %. Значение открытой пористости здесь изменяются от долей процента до 27 %. При этом для пород-коллекторов это изменение составило от 2 до 27 %. Среднее значение пористости пород-коллекторов составило 18,0 %.

Остаточная водонасыщенность (коэффициент газонасыщенности) пород рассматриваемого горизонта изучена по 798 образцам, из которых: 767 учтены. Значения остаточной водонасыщенности изменяются от 4 до 92 %. При этом для пород-коллекторов это изменение составило от 4 до 68 %. Среднее значение остаточной водонасыщенности пород-коллекторов составляет 26,7 % ($K_r = 0,73$).

Проницаемость пород XV-Р горизонта изучена на 741 образце, из них учтено 693, в том числе 5 образцов перпендикулярно напластованию. Диапазон изменения проницаемости составил от 0,0001 до 32 мкм² (0,1 - 32000 мД). Максимальное

НЕФТЬ И ГАЗ. ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

количество образцов имеет проницаемость от 0,1 до 0,32 мкм² (100-320 мД). Среднее значение проницаемости параллельно напластованию составило 0,4002 мкм² (400,2 мД), перпендикулярно - 0,0479 мкм² (47,9 мД).

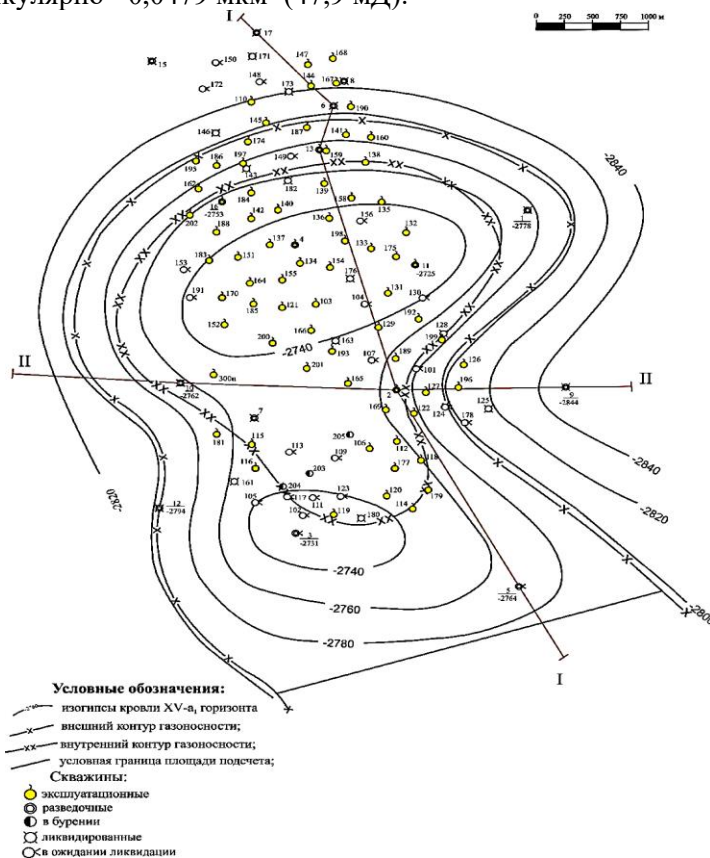


Рис. 2. Структурная карта по кровле XV-а горизонта ГКМ Алан

Пористость пород XV-ПР + XV-aI + XV-a2 горизонтов изучена на 276 образцах, из них 61 образец характеризуют породы-коллекторы и 195 - неколлекторы. Значения пористости изменяются от долей процента до 18 %. При этом для пород-коллекторов это изменение составило от 5 до 18 %. Для коллекторов максимальное количество (15) образцов имеет пористость 12–13 %. Среднее значение пористости здесь составило 11 %. Остаточная водонасыщенность (коэффициент газонасыщенности) пород изучена на 171 образце, из которых 77 образцов характеризуют породы-коллекторы и 94 - неколлекторы. Значения остаточной водонасыщенности изменяется от 8 до 96 %, при этом для пород-коллекторов это изменение составило от 8 до 68 %. Среднее значение остаточной водонасыщенности пород-коллекторов достигает 44,5 % ($K_r = 0,55$).

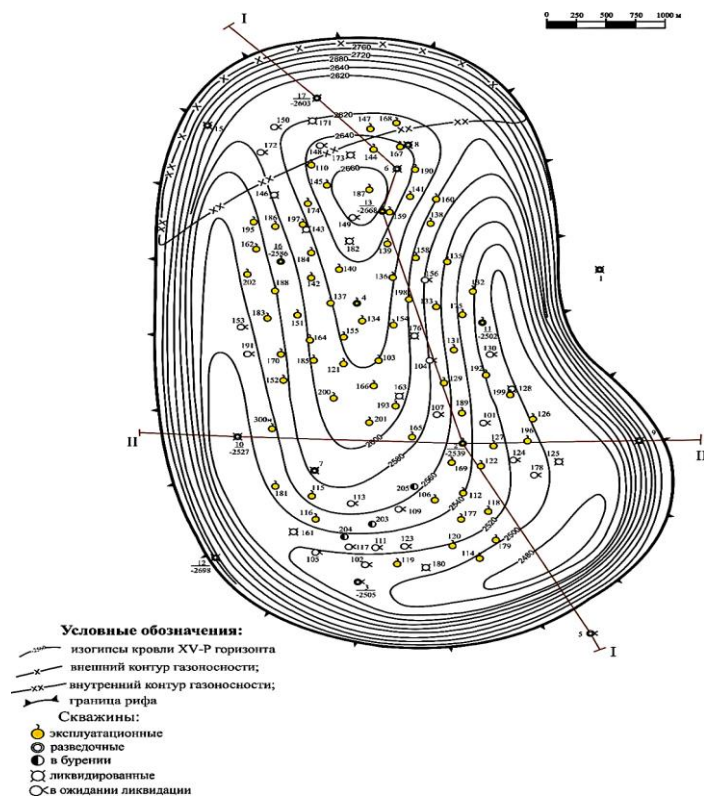


Рис. 3. Структурная карта по кровле XV-Р горизонта ГКМ Алан

В процессе разведки и разработки газоконденсатных месторождений (залежей) для оценки газодинамических характеристик пластов проводятся газодинамические исследования (ГДИ) [10-16].

Анализ определения величины $K_{п}$ по данным геофизических методов (НГК, ГГК, АК) показал, что наиболее полно по площади и по разрезу пористость пород охарактеризована по данным АК. Проницаемость пород рассматриваемой части разреза изучена на 203 образцах, из них учтено 95. Диапазон изменения проницаемости составил от 0,0001 до 0,32 мкм² (0,1-320 мД). Максимальное количество образцов имеет проницаемость от 0,00032 до 0,0032 мкм². Среднее значение проницаемости здесь составило 0,0116 мкм² (11,6 мД). Для газонасыщенных коллекторов XV-НР горизонта средняя пористость, определенная по керну, составляет 12,0 %. С учетом поправки на влияние термобарических условий $K_{п}^{кern} = 10,7 \%$, Средняя пористость, определенная по данным, ГИС, $K_{п}^{ак}$ составляет 12,8 %, т.е., превышает $K_{п}^{кern}$ на 2,1 %. Керна из отложений XV-НР горизонта отобран только в скважине 2, где $K_{п}^{ак} = 10,1\%$, т.е. практически $K_{п}^{кern}$ и $K_{п}^{ак}$ для коллекторов XV-НР горизонта совпадают, что подтверждает надежность определений по ГИС.

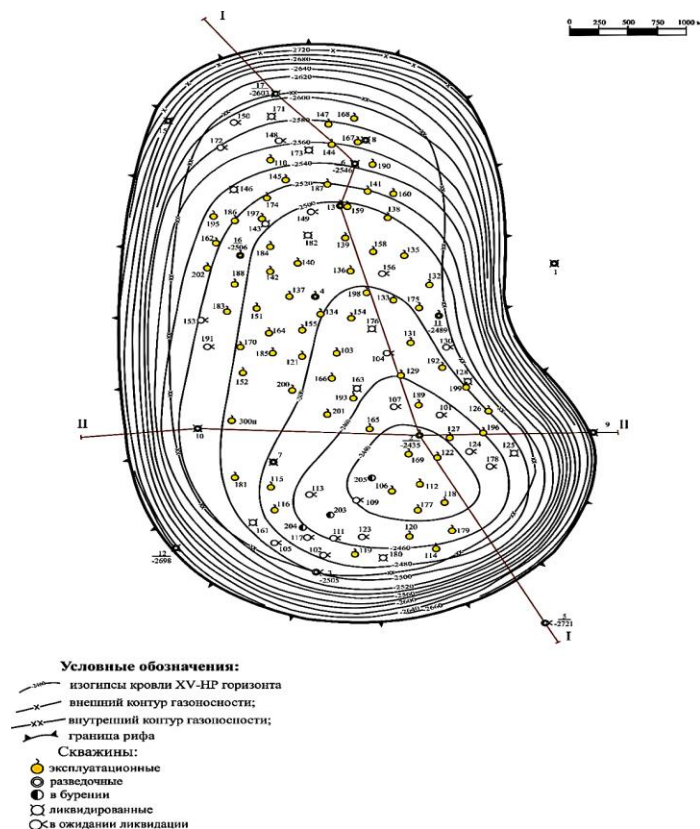


Рис. 4. Структурная карта по кровле XV-HP горизонта ГКМ Алан

Для газонасыщенных пород XV-Р горизонта средняя пористость, определенная по керну 13,0 %, а с учетом поправки на термобарические условия $K_{п\text{кern}} = 11,4$ %. В отложениях XV-Р горизонта широко развита кавернозность пород, доля которой составляет 15,7 % (относительных) и требует введения поправки в определяемую величину $\Delta K_{п} = 1,8$ %. С учетом поправки на кавернозность средняя пористость коллекторов по ГИС составляет 18,3 %.

Сравнение $K_{п\text{ак}}$ и $K_{п\text{кern}}$ по пластам, достаточно охарактеризованным керном, показывает, что $K_{п\text{ак}} \approx K_{п\text{кern}}$, что подтверждает надежность выполненных по ГИС определений. По газонасыщенным пластам XV-a1 горизонта исследования керна выполнены только в скважине 3, где наблюдается хорошая сходимость $K_{п\text{ак}}$ и $K_{п\text{кern}}$ ($K_{п\text{ак}} - 11,3$ %; $K_{п\text{кern}} = 12,3 - 1,6 = 10,7$ %), их расхождения не выходят за пределы точности выполненных определений.

Таким образом, представительными по количеству выполненных и достаточно надежных определений являются $K_{п\text{ак}}$, которое и рекомендовано принять для подсчета запасов. Средние значения $K_{п\text{ак}}$ по горизонтам: XV-HP горизонт $K_{п\text{ак}} = 12,8$ %; XV-Р горизонт $K_{п\text{ак}} = 18,3$ %; XV-a1 горизонт (газоносные пласты) $K_{п\text{ак}} = 10,8$ %.

Наиболее массовыми на месторождении Алан являются определения коэффициента газонасыщенности (K_r) по данным БК. Величины $K_r^{БК}$ хорошо сопоставляются со значениями K_r , определенными по БКЗ для единичных пластов достаточной мощности. Сопоставление величин $K_r^{БК}$ с $K_r^{кern}$ по пластам, достаточно охарактеризованным керном, показывает, что наблюдается занижение $K_r^{кern}$ по сравнению с $K_r^{БК}$. Причем $K_r^{кern}$ определен методом центрифугирования.

При оценке K_r необходимо исключить содержание битумов в поровом пространстве путем введения в величину $K_r^{БК}$ поправки ΔK_r , равной 0,053, с учетом которой величины $K_r^{БК}$ по горизонтам составляют: XV-HP горизонт $K_r^{БК} = 0,39 - 0,05 = 0,84$; XV-P горизонт $K_r^{БК} = 0,92 - 0,05 = 0,87$; XV-a1 горизонт $K_r^{БК} = 0,65 - 0,05 = 0,60$.

Выводы. В заключение можно сказать, по литологическим признакам и промыслово-геофизической характеристике на площади газоконденсатного месторождения Алан четко выделяются два типа разреза, вскрытого разведочными скважинами: рифовый и безрифовый. В карбонатной формации, слагающей продуктивный разрез месторождения, выделяются следующие горизонты: XVI, XV подрифовый, XV рифовый и XV надрифовый. Анализ определения величины K_r по данным геофизических методов (НГК, ГГК, АК) показал, что наиболее полно по площади и по разрезу пористость пород охарактеризована по данным АК. Среднее значение остаточной водонасыщенности пород-коллекторов достигает 44,5 % ($K_r = 0,55$). Для газонасыщенных коллекторов XV-HP горизонта средняя пористость, определенная по керну, составляет 12,0 %, XV-P горизонта средняя пористость, определенная по керну 13,0 %.

Литература

1. Газовые и газоконденсатные месторождения: Справочник / Под ред. И.П. Жабрева, Изд. 2-е, перераб. и доп. -М., 1983.
2. Чернов И.В. Геологическая изученность месторождений Юго-Западного Узбекистана // «Территория Нефтегаз», июнь 2016. № 6, -С. 40-47
3. Орипова Ш.К., Адизов Б.З. «Химический состав пластовых вод верхнеюрских карбонатных отложений ГКМ Алан» // «Наука и инновации» Международная научная конференция Молодых учёных. Ташкент. 20 октября 2022. 422-423 с.
4. Мирмухамедов С.С., Рустамов Ш.З., Адизов Б.З., Орипова Ш.К. «Актуальность предотвращения самоглушения газовых скважин химическими методами» // “Kimyo va kimyo ta’limi muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami, Qo’qon 2022-yil 20-sentabr. 68-69 b.
5. Орипова Ш.К., Адизов Б.З. «Технологические и технико-экономические показатели доработки газовых и газоконденсатных месторождений» // «Экспериментал тадқиқотлар» илмий-амалий журналли. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7696222>. № 3 (2023) 1-7 б.

6. Орипова Ш.К. «Удаление жидкости из газовых скважин» // «The journal of integrated education and research» Volume 1, Issue 3, August 2022. 53-59 p.
7. Oripova Sh.K., Xujamurodov S.B., Adizov B.Z., Akramov B.Sh. “Innovative technique and technology for the reconstruction of gas wells without damping them with their subsequent operation in concentric lift columns” // “Eurasian journal of academic research” Volume 2 Issue 13, December 2022. 249-252 p.
8. Oripova Sh.K., Xujamurodov S.B., Adizov B.Z., Akramov B.Sh. Innovative technique and technology for the reconstruction of gas wells without damping them with their subsequent operation in concentric lift columns // “Eurasian journal of academic research” Volume 2 Issue 13, December 2022. 249-252 p.
9. Xujamurodov S.B., Oripova Sh.K., Adizov B.Z. Complications in the operation of gas and gas condensate wells // Международная конференция академических наук. Russia. 42-48 p.
10. Березовский Д.А., Очерedyкo Т.Б., Геологические основы для проектирования доразработки неkrасовского газоконденсатного месторождения // Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле. Т. 1. 2020 74-93 с.
11. Полянский А.П. Эксплуатация газовых скважин / А.П. Полянский, Ю.П. Коротаев. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 231 с.
12. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин / под ред. Ю.П. Коротаева, Г.А. Зотова, З.С. Алиева. – М.: Недра, 1971. – 208 с.
13. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева. – М.: Недра, 1980. – 301 с.
14. Гриценко А.И. Руководство по исследованию скважин / А.И. Гриценко, З.С. Алиев, О.М. Ермилов и др. – М.: Наука, 1995. – 523 с.
15. Карнаухов М.Л. Современные методы гидродинамических исследований скважин: справочник инженеров по исследованию скважин / М.Л. Карнаухов, Е.М. Пьянкова. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 432 с.
16. Лапшин В.И. Интерпретация результатов газодинамических исследований скважин (при установившемся режиме фильтрации) / В.И. Лапшин, И.И. Минаков, Д.П. Уваров // Вести газовой науки: Проблемы разработки и эксплуатации газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. № 3 (23). – С. 36–41.

*Представлено Каршинским инженерно-экономическим институтом,
лабораторией «Нефтехимия» ИОНХ АН РУз и
филиалом РГУ Нефти и газа в Ташкенте*

УДК 669.18.046.5

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ПЛАВКИ СТАЛИ**И.У. Рахмонов, Б.Б. Холихматов**

Ушбу мақола ҳарорат майдони носимметриясининг эритиш печларида пўлат эритиш жараёнига таъсирини ўрганади. Носимметрия таъсирининг иккита асосий жиҳати кўриб чиқилади - ҳарорат майдони ва пўлатнинг кимёвий таркиби. Носимметрияни келтириб чиқарадиган омиллар тавсифланади ва унинг салбий таъсирини камайтириш усуллари кўриб чиқилади. Носимметриянинг пўлат ишлаб чиқариш жараёнига таъсирини яхшироқ тушуниш учун маълумотлар мисоллари ва мос келадиган формулалар келтирилган.

Калит сўзлар: носимметрия, пўлат эритиш, эритувчи печлар, ҳарорат майдони, кимёвий таркиби, техник хизмат кўрсатиш, назорат қилиш.

Данная статья исследует влияние асимметрии температурного поля на процесс плавки стали в плавильных печах. Рассматриваются два основных аспекта влияния асимметрии - температурное поле и химический состав стали. Описываются факторы, вызывающие асимметрию, и рассматриваются методы для снижения ее негативного влияния. Представлены примеры данных и соответствующие формулы для лучшего понимания влияния асимметрии на процесс плавки стали.

Ключевые слова: асимметрия, плавка стали, плавильные печи, температурное поле, химический состав, техническое обслуживание, контроль.

This article investigates the effect of temperature field asymmetry on the process of steel melting in melting furnaces. Two main aspects of the influence of asymmetry are considered - the temperature field and the chemical composition of steel. The factors that cause asymmetry are described, and methods are considered to reduce its negative impact. Data examples and corresponding formulas are presented to better understand the effect of asymmetry on the steelmaking process.

Keywords: asymmetry, steel melting, melting furnaces, temperature field, chemical composition, maintenance, control.

Введение. Процесс плавки стали является одним из ключевых этапов в сталеплавильной промышленности. В нем тепловая энергия применяется для расплавления сырья и получения расплавленной стали. Однако асимметрия в плавильных печах может оказывать значительное влияние на этот процесс. В данной статье мы исследуем влияние асимметрии на процесс плавки стали, представим примеры данных и рассмотрим соответствующие формулы.

Влияние асимметрии на температурное поле. Температурное поле в плавильной печи является одним из ключевых параметров, определяющих процесс плавки, стали. Асимметрия в печи может вызывать неоднородное распределение температуры внутри неё. Такая асимметрия может быть обусловлена различными факторами, такими как неравномерное размещение нагревательных элементов, неправильная конструкция печи или несоответствие мощностей нагревателей.

Для более глубокого понимания влияния асимметрии на температурное поле, можно использовать математическую модель и соответствующие уравнения. Одним из распространенных подходов является решение уравнения теплопроводности в плавильной печи [1,6].

Уравнение теплопроводности для нестационарного случая может быть записано следующим образом:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \nabla^2 T;$$

где T - температура в плавильной печи, t - время, α - коэффициент теплопроводности, ∇^2 - оператор Лапласа.

Для упрощения рассмотрим одномерный случай, когда температура зависит только от координаты x вдоль печи. В этом случае уравнение теплопроводности может быть переписано следующим образом [4,5]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}.$$

При асимметрии в печи, например, из-за различной мощности нагревателей на разных сторонах печи, уравнение теплопроводности будет иметь различные коэффициенты для каждой стороны. Таким образом, система уравнений будет некомпенсированной и приведет к неоднородному распределению температуры внутри печи.

Асимметрия в плавильной печи может вызывать неоднородное распределение температуры внутри печи. Это может быть вызвано различными факторами, такими как неравномерное размещение нагревательных элементов, неправильная конструкция печи или несоответствие мощностей нагревателей. Рассмотрим пример, где печь имеет асимметрию в нагревательных элементах, вызывающую различное распределение тепла. Предположим, что плавильная печь имеет два нагревательных элемента, один мощностью 100 кВт, расположенный слева, и другой мощностью 120 кВт, расположенный справа [2,3].

Формула для расчета распределения температуры $T(x)$ в зависимости от координаты x в печи может быть представлена следующим образом:

$$T(x) = T_0 + P \cdot \frac{2 \cdot x - L}{2 \cdot k};$$

где T_0 - начальная температура; P - разность мощностей нагревательных элементов (в данном случае 20 кВт); L - длина печи; k - коэффициент теплопроводности.

С использованием данной формулы мы можем рассчитать распределение температуры в печи. Например, если L равна 5 метрам, начальная температура T_0

равна 300°C , а коэффициент теплопроводности k равен $0,5$, то можно рассчитать температуру в различных точках печи.

Таким образом, при $x = 0$ (середина печи), температура будет равна $T_0 = 300^{\circ}\text{C}$. При $x = -2,5$ (левый конец печи), температура будет равна:

$$T(x) = 300 + 20 \cdot \frac{2 \cdot (-2,5) - 5}{2 \cdot 0,5} = 280^{\circ}\text{C}.$$

А при $x = 2,5$ (правый конец печи), температура будет равна:

$$T(x) = 300 + 20 \cdot \frac{2 \cdot (2,5) - 5}{2 \cdot 0,5} = 320^{\circ}\text{C}.$$

Таким образом, асимметрия в распределении мощностей нагревательных элементов вызывает различное температурное поле внутри печи, что может привести к неоднородному плавлению, стали.

Влияние асимметрии подачи легирующих элементов на химический состав стали. Химический состав стали играет ключевую роль в определении ее механических свойств и применимости в различных областях. Асимметрия в плавильной печи может влиять на химический состав стали из-за неоднородного смешивания добавок и расплавленной стали внутри печи.

Представим ситуацию, когда в плавильную печь добавляется легирующий элемент, такой как хром, с помощью двух различных систем подачи: одна справа, другая слева. Каждая система имеет свой массовый расход легирующего элемента.

Пусть массовый расход легирующего элемента в системе подачи справа равен M_1 (кг/с), а в системе подачи слева - M_2 (кг/с). Таким образом, в каждую секунду в печь поступает M_1 кг хрома справа и M_2 кг хрома слева. С учетом массового баланса можно рассчитать конечный химический состав стали. Предположим, что масса расплавленной стали за секунду равна M (кг). Тогда доля хрома (w_{Cr}) в стали будет равна [7]:

$$w_{\text{Cr}} = \frac{(M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2)}{M};$$

где X_1 и X_2 - концентрации хрома в подаваемых системах.

Видно, что асимметрия в подаче легирующего элемента, выраженная различием массового расхода M_1 и M_2 , приводит к неоднородности химического состава стали. Если x_1 и x_2 одинаковы, то есть концентрации хрома в обеих системах равны, то влияние асимметрии на химический состав стали будет незначительным. Однако, если x_1 и x_2 различаются, то асимметрия может привести к значительным изменениям в химическом составе стали.

Один из подходов для снижения влияния асимметрии на химический состав стали - это использование высокоточных систем контроля и измерений. Такие системы позволяют своевременно обнаружить асимметрию и принимать меры для ее коррекции, например, регулировать расход легирующих элементов или позиционирование систем подачи.

Асимметрия в потоках и течениях расплавленной стали в плавильной печи может также влиять на химический состав стали. Рассмотрим пример, где

асимметрия вызывает неоднородное смешивание добавок и расплавленной стали. Предположим, что в плавильную печь добавляется легирующий элемент, такой как хром, с помощью двух различных систем подачи: одна справа, другая слева.

Пусть массовый расход легирующего элемента в системе подачи справа равен 2 кг/с, а в системе подачи слева – 1,5 кг/с. Таким образом, на каждую секунду в печь поступает 2 кг хрома справа и 1,5 кг хрома слева.

С учетом массового баланса можно рассчитать конечный химический состав стали. Предположим, что масса расплавленной стали за секунду равна 10 кг. Тогда доля хрома (w_{Cr}) в стали будет равна:

$$w_{Cr} = \frac{2 \cdot 2 + 1,5 \cdot 1,5}{10} = 0,35$$

Таким образом, асимметрия в подаче легирующего элемента приводит к неоднородности химического состава стали, что может отрицательно сказаться на ее механических свойствах.

Меры для снижения влияния асимметрии. Для снижения влияния асимметрии на процесс плавки стали можно предпринять следующие меры [8]:

1. Регулярная проверка и обслуживание плавильных печей позволяют выявлять и устранять возможные причины асимметрии, такие как дефекты в системах нагрева или подаче топлива.

2. Использование современных систем контроля и измерений температуры [9], потоков и химического состава стали позволяет своевременно выявлять асимметрию и принимать меры для ее коррекции.

3. Использование математического моделирования позволяет прогнозировать и анализировать влияние асимметрии на процесс плавки стали. Оптимизация параметров плавки, учитывая асимметрию, может привести к более равномерному распределению температуры и потоков в плавильной печи.

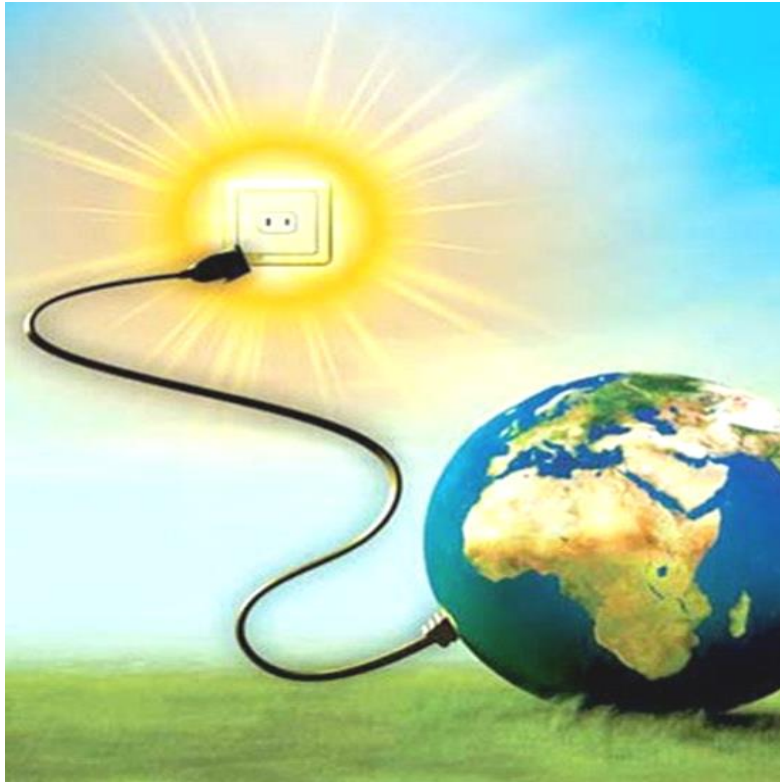
Заключение. Асимметрия в плавильных печах может оказывать существенное влияние на процесс плавки стали, влияя на температурное поле и химический состав материала. Регулярное техническое обслуживание, контроль и моделирование процесса являются важными инструментами для снижения негативного влияния асимметрии. Более глубокие исследования в этой области могут способствовать улучшению качества и эффективности процесса плавки стали.

Литература

1. Ghosh, A., & Chatterjee, A. (2008). Ironmaking and Steelmaking: Theory and Practice. PHI Learning Pvt. Ltd.
2. Ghosh, D. (2012). Principles of Steelmaking. PHI Learning Pvt. Ltd.
3. Saxena, A., & Kuppuraio, T. P. (2008). Modelling and simulation of metallurgical processes. CRC Press.
4. Lindberg, R. A. (2004). Mathematical modeling of steel making processes. CRC Press.

5. González, F., & López, M. F. (2006). Modelling of the steelmaking process. *Ironmaking and Steelmaking*, 33(1), 44-49.
6. Zhang, Y., & Yuan, B. (2017). The study of temperature field distribution in the tundish during continuous casting process. *Journal of Iron and Steel Research International*, 24(6), 564-570.
7. Li, G., Wei, D., & Qi, X. (2015). Study on the temperature field distribution of slab continuous casting tundish based on FLUENT. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 26(2), 022017.
8. Wang, C., Cheng, Y., Li, Y., & Yang, J. (2018). Numerical simulation of molten steel flow and temperature field in a continuous casting tundish. *Metallurgical Research & Technology*, 115(2), 207.
9. Xolixmatov B. B., Kodirov Zh. U., & Rakhimzhonov Zh. S. (2022). Application of thyristor voltage stabilizers at metallurgical enterprises. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 06 (110), 289-292. Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-06-110-49> Doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.06.110.49>.

*Представлено Ташкентским государственным
техническим университетом*



ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ЭНЕРГИЕЙ СОЛНЦА!



Индекс 1070

БУДУЩЕЕ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

